



## 西洋参种质资源及品种选育技术研究进展

李春莲<sup>1</sup>, 万楚军<sup>1</sup>, 龚雪<sup>1</sup>, 赵方杰<sup>2</sup>, 陈荣信<sup>3</sup>, 胡小平<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 农学院/旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 植物保护学院/旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西杨凌 712100; 3. 陕西省留坝县农业技术推广中心, 陕西留坝 724100)

**摘要** 西洋参(*Panax quinquefolius* L.)作为药食同源特色植物越来越多地出现在人们的日常消费中,具有极高的药用和经济价值。西洋参为常异交植物,生产周期长,目前农家栽培西洋参多为异质混杂群体,商品参品质退化极其严重,且西洋参多年生草本生长习性致使常规育种困难重重,难以选育出优良品种,造成目前西洋参品种资源极为缺乏。因此,培育出优良西洋参新品种,已成为当前西洋参生产中亟待解决的关键问题。本文拟从西洋参遗传特性、种质资源收集及品种选育技术等方面进行研究总结,探索西洋参品种选育的关键技术及瓶颈,以期为西洋参品种选育及改良提供新思路。

**关键词** 西洋参;种质资源;遗传特性;品种选育

**中图分类号** Q945;S330

**文献标志码** A

**文章编号** 1004-1389(2021)03-0321-12

西洋参为五加科(Araliaceae)人参属(*Panax*)西洋参种(*Panax quinquefolius*)植物,为多年生半阴性宿根草本植物,是一种名贵中药材,其根可入药,地上植株亦可入药。西洋参又名花旗参、洋参、美国参、五叶人参等,原产于北美洲。20世纪70年代开始,西洋参在中国东北、华北、华中、西北部分省市地区引种栽培成功。《中国药典》2000版收载了西洋参为原药材,认为西洋参具有补气养阴,清热生津的功效,可用于缓解和治疗气虚阴亏,虚热烦倦,咳喘痰血,内热消渴,口燥咽干等病症。2020年1月2日,国家卫健委、国家市场监督管理总局发布《关于对党参等9种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知》中,将西洋参的干燥根纳入食药物质目录管理,至此,西洋参作为“药食同源”特色植物将更加普遍地出现在人们的日常消费中,充分发挥其“空腹食之为食物,患者食之为药物”的功能。然而,长期以来,中国西洋参种植多为引种栽培,由于西洋参为常异交多年生植物,生产周期长,造成农家栽培西洋参多为异质混杂群体,商品参品质退化极其严重。此外,西洋参多年生草本生长习性致使常规育种困难重重,难以选育出优

良品种,造成目前西洋参品种资源极为缺乏,因此,培育出优良西洋参新品种,已成为当前西洋参生产中亟待解决的关键问题。本文拟从西洋参遗传特性、种质资源收集及品种选育技术等方面进行研究总结,探索西洋参品种选育的关键技术及瓶颈,以期为西洋参品种选育及改良提供新思路。

### 1 西洋参遗传特性

#### 1.1 西洋参染色体核型分析

染色体核型是指一个物种体细胞中所有染色体特征的总称,包括物种细胞染色体数目、组成、大小、着丝粒位置及随体有无等特征。核型具有物种相对稳定性,通过核型分析可以为细胞遗传分类、物种间亲缘的关系以及染色体数目和结构变异的研究提供重要依据,同时,核型分析也是生物遗传育种研究的理论基础。学术界对于西洋参染色体数目曾有争议,早在1967年Taylor<sup>[1]</sup>鉴定来自加拿大的西洋参材料染色体为 $2n=44$ ,Blair<sup>[2]</sup>报道来自美国弗吉尼亚州的西洋参染色体为 $2n=48$ 。Hu等<sup>[3]</sup>经过西洋参花芽染色体数目鉴定,认为西洋参为异源四倍体,其体细胞染色体数目 $2n=48$ 。杨涤清<sup>[4]</sup>对4种人参属植物的体

收稿日期:2020-11-30 修回日期:2020-12-12

基金项目:陕西省农业科技创新转化项目-省级农业专项资金项目(NYKJ-2019-YL27);陕西省技术创新引导专项(S2020-YD-QFY-0016);秦巴生物资源与生态环境省部共建国家重点实验室开放基金(SLGPT2019KF04-03)。

第一作者:李春莲,女,副教授,主要从事农业生物技术及作物遗传育种研究。E-mail:lclian@163.com

通信作者:胡小平,男,教授,主要从事植物病理学研究。E-mail:xphu@nwsuaf.edu.cn

细胞染色体数目分析发现:竹节参(*P. japonicus*)  $2n=24$ ,三七(*P. notoginseng*)  $2n=24$ ,人参(*P. ginseng*)  $2n=44$ ,西洋参(*P. quinquefolius*)为四倍体, $2n=48$ ,并认为竹节参是人参属中较为原始的类群,人参和西洋参是较进化的类群。任跃英等<sup>[5]</sup>对西洋参进行根尖染色体计数及染色体核型,认为西洋参染色体数目为48条,染色体长度变化在3.06%~5.04%,平均相对长度为4.16%,平均臂比为1.88,属于2B型,其核型公式为 $2n=48=20m+26sm+2st$ ,并根据st染色体只有两条的结果推测西洋参可能为异源四倍体(双二倍体)植物。梁韶<sup>[6]</sup>对3种人参属植物(人参、西洋参和三七)组培材料进行染色体核型分析,表明三七染色体数目为24条,人参和西洋参均为48条,其中西洋参染色体长度范围为2.87%~5.33%,除端粒染色体外,臂比值变化范围为1.28~3.48,臂比均值为1.95,其核型公式为 $2n=4x=48=22m+22sm+2st+2T$ ,属于2A型。核型似近系数聚类分析及rDNA分布位点特征表明西洋参与人参亲缘关系较近,而与三七亲缘关系较远。这些研究公认西洋参为异源四倍体植物,其染色体数目 $2n=48$ ,但其物种来源及进化途径仍不明确,需做进一步追踪研究。

## 1.2 西洋参主要农艺性状变异类型

西洋参为常异花授粉植物,自然异交率45.72%<sup>[7]</sup>。目前栽培西洋参多为异质混杂群体,不同群体间或同一群体不同个体间均存在较大的表型差异和丰富的遗传多样性。不同产地西洋参在特定的生态环境下长期适应而形成较为稳定的品系(不同生态型)及不同的变异类型,并在基因表达、生化等表型上表现出差异。变异性状主要包括:(1)株高变异:4a生西洋参株高变异范围在20~70 cm,多为40~60 cm,同一群体株高表现参差不齐,一致性差。(2)花梗长度变异:4a生植株花梗长度在12~24 cm。大多数西洋参株高是其花梗长度的1~3倍。(3)叶型变异:长叶型(长宽比小于1:0.45)、圆叶型(长宽比大于1:0.60)、普通叶型(长宽比为1:0.45~0.60);直立型(叶展角度 $<40^\circ$ )、平展型(叶展角度 $>70^\circ$ )。(4)熟性变异(果实红熟期):早熟型、中熟型、晚熟型。(5)根长变异:长枝型、短枝型。(6)根型变异:长形型、短粗型、枝杈型、疙瘩型。(7)穗型变异:紧穗型(果穗紧凑)、散穗型(果穗松散)。(8)果实变异:单籽果、双籽果、三籽果。(9)

果实颜色变异:红果、黄果(隐性突变)。赵亚会等<sup>[8]</sup>通过对西洋参不同类型种质资源的形态特征、特性研究,对西洋参品种遗传资源特性进行了总结,认为:西洋参根部高产和果实丰产类型的遗传资源是非常丰富的,分布于多种类型中,其中长枝类型、长叶类型、中叶类型、果实晚熟类型和散穗类型等都蕴藏着高产遗传基础,是宝贵的西洋参种质类型;晚熟类型和圆叶类型是西洋参地上部分繁茂型遗传资源;紧穗、早熟和短枝等类型中存在着矮秆遗传资源;不同类型西洋参的人参皂甙含量和总糖含量差异不大。

笔者对陕西留坝的200份西洋参单株地上部分农艺性状进行了统计分析,结果(表1)表明,株高均值为29.9 cm,变异幅度18.1~40.5 cm;主茎长均值为17.5 cm,变异幅度7.0~25.0 cm;花梗长度均值为12.4 cm,变异幅度5.8~22.3 cm;叶长均值11.5 cm,变异幅度7.2~15.0 cm;叶宽均值为6.3 cm,变异幅度4.1~8.5 cm;叶面积均值为73.3 cm<sup>2</sup>,变异幅度30.1~125.2 cm<sup>2</sup>;叶宽长比均值为0.6 cm,变异幅度0.4~0.8 cm。其中普通叶型较多,圆叶型和长叶型较少;紧穗型、株型紧凑、中熟类型较多。相关性分析(表2)表明,株高、主茎长、花梗长度、叶宽、叶面积和叶宽长比互为极显著正相关,表明这些农艺性状之间在西洋参地上部分生物产量上存在正向选择作用。叶型与叶宽呈显著负相关,与叶面积呈极显著正相关;株型与叶宽呈极显著正相关,与叶型呈显著负相关,这些表明株型紧凑、长叶型类型有利于增加叶面积,提高光合效率。因此,在育种中应注重高株、宽叶、大叶、花茎较长的类型及株型紧凑和长叶类型的选择。

## 2 西洋参适生区及种质资源

### 2.1 地理起源及种植区域

五加科人参属目前在中国有12个种或变种,常见用于药用的人参属植物有人参(*P. ginseng* C. A. Meyer)、西洋参(*P. quinquefolius* Linn)和三七(*P. notoginseng* F. H. Chen)。对于人参属的起源学术界颇有争议,杨涤清<sup>[4]</sup>认为中国西南地区是人参属的现代分布中心,也是最大的变异中心,很可能是人参属的始生中心;人参、西洋参可能是本属较进化的类群,三七是中国西南现代变异中心近期分化和发展起来的种群。鲁歧等<sup>[9]</sup>根据人参属植物化石资料及被子植物起源理

论,认为人参属植物起源于白垩纪中期,中国太行山脉及辽东为人参属起源的中心地区,长白山系、朝鲜及前苏联远东地区是进一步扩展的高纬度人参分布区,中国西南是人参属的现代变异中心;中国野生人参和西洋参是人参属古老类群中比较原始的种类,而现代栽培人参和三七是古老类群中相对较进化的种类。在人参属进化类群亲缘关系上,徐克学等<sup>[10]</sup>在大量形态数据的基础上,综合

植物化学、细胞学和地理分布等多方面结果进行聚类分析,认为人参与西洋参亲缘关系最近。鲁岐等<sup>[9]</sup>运用分枝分类学对人参属进行较系统的数量分类学研究,结果显示西洋参与原始人参有共同祖源,三七与现代栽培人参为较进化种。这种人参属地理起源及亲缘关系的争论及不确定性表明了人参属植物种质资源的多样性和复杂性,加大了其遗传研究和品种选育的难度。

表 1 西洋参主要农艺性状平均值及变异幅度

Table 1 Mean value and variation range of main agronomic traits of *Panax quinquefolius*

性状 Trait	株高/cm Plant height	主茎长/cm Main stem length	花梗长度/cm Peduncle length	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	叶面积/cm <sup>2</sup> Leaf area	宽长比 Leaf width/length
平均值 Mean value	29.9	17.5	12.4	11.5	6.3	73.3	0.6
最小值 Minimum value	18.1	7.0	5.8	7.2	4.1	30.1	0.4
最大值 Maximum value	40.5	25.0	22.3	15.0	8.5	125.2	0.8

表 2 西洋参主要农艺性状相关性分析

Table 2 Correlation analysis of main agronomic traits of *Panax quinquefolius*

相关系数 Correlation coefficient	株高 Plant height	主茎高 Main stem height	花梗长 Peduncle length	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	叶面积 Leaf area	宽长比 Leaf width/ length	叶型 Leaf type	穗型 Ear type	熟性 Maturity	株型 Plant type
株高 Plant height	1										
主茎高 Main stem height	0.856 **	1									
花梗长 Peduncle length	0.822 **	0.409 **	1								
叶长 Leaf length	0.203	0.370 **	-0.048	1							
叶宽 Leaf width	0.628 **	0.359 **	0.710 **	-0.205	1						
叶面积 Leaf area	0.670 **	0.442 **	0.695 **	-0.207	0.754 **	1					
宽长比 Leaf width/length	0.694 **	0.436 **	0.743 **	-0.206	0.933 **	0.930 **	1				
叶型 Leaf type	0.040	0.098	-0.037	-0.031	-0.364 *	0.327 **	-0.029	1			
穗型 Ear type	0.042	0.102	-0.037	0.099	-0.051	0.028	-0.033	0.190	1		
熟性 Maturity	-0.197	-0.221	-0.104	-0.157	-0.075	-0.127	-0.107	-0.067	-0.155	1	
株型 Plant type	0.115	0.109	0.087	-0.069	0.313 **	0.083	0.192	-0.362 *	-0.213	-0.240	1

注: \* 代表  $P=0.05$  显著水平; \*\* 代表  $P=0.01$  显著水平。

Note: \* indicates significant level at  $P=0.05$ ; \*\* indicates significant level at  $P=0.01$ .

相对于人参和三七,西洋参种植区域较为广泛。从栽培起源来看,西洋参原产于美国东北部沿大西洋的缅因州和东南部沿大西洋的北卡罗来纳州、肯塔基州、密苏里州,纬度约北纬  $35^{\circ}$  到加拿大北纬  $50^{\circ}$  的魁北克省<sup>[11]</sup>。中国在 20 世纪 70 年代末成功引种西洋参,发展到现在已成为世界西洋参主产地和最大的消费国,西洋参产业得到迅猛发展。目前,中国西洋参栽培主要有东北、华北、华中和康滇 4 个生态栽培区<sup>[12]</sup>。随着长期栽培及生产实践,东北、北京、山东及陕西秦岭南部山区已成为中国西洋参的主产区,不同产地西洋参在特定生态环境下长期适应形成较为稳定的生态类型,不同的生态类型西洋参表现出较为显著

的农艺性状及品质变异<sup>[13]</sup>。西北农林科技大学留坝西洋参试验示范基地对来源于加拿大及中国陕西、山东和吉林的西洋参总皂甙含量、氨基酸种类及含量、还原糖含量及微量元素进行了对比分析,结果表明不同地区来源的西洋参各种成分含量存在较大差异。来自原产地加拿大西洋参各成分含量(超过 4.40%)远高于国内样品,国内不同地区来源的样品含量差异不明显,但来自陕西留坝样品含量最高。总氨基酸以及各种氨基酸含量在地区来源水平上无明显差异,但从富含氨基酸种类具有一定特点,以人体不能合成的赖氨酸和精氨酸为例,4 个不同地区来源的西洋参样品中均含量丰富,其中以加拿大来源西洋参含量最高,

陕西留坝次之。加拿大来源的西洋参还原糖含量最高,国内来源的西洋参还原糖含量间存在明显差异,其中陕西留坝县西洋参还原糖为 0.12 mg/g,为山东、吉林省的 3 倍以上。不同地区来源的西洋参各种微量元素含量存在较大差异,陕西留坝西洋参钙元素含量最高达到 3 800 mg/kg,其次为加拿大、吉林、山东;铜元素含量以加拿大来源西洋参含量最高,其次为陕西留坝、山东、吉林;锌元素含量以加拿大来源西洋参含量最高,其次为山东、陕西,吉林省来源西洋参锌元素含量最低;硒元素含量以山东省来源西洋参含量最高,其次为陕西、加拿大,吉林省来源西洋参硒元素含量最低;铁元素含量以山东省来源西洋参含量最高,其次为加拿大、陕西,吉林省来源西洋参铁元素含量最低;加拿大和陕西留坝县来源的西洋参钼元素含量接近,但明显高于山东和吉林省西洋参,为山东省的 28.5 倍,吉林省的 6.6 倍。该研究结果同样表明不同生态区西洋参品质存在较大的差异性,这种差异可能与不同生态区的气候因素、土壤条件及种植模式有关。

## 2.2 近缘野生资源

西洋参属于五加科人参属植物。人参属的植物特征为:多年生草本,根不膨大,纤维状,或膨大成纺锤形或圆柱形的肉质根。根茎肉质,纺锤状或竹节状至念珠状。茎单生、直立、基部有鳞片。叶为掌状复叶,3~5(7)枚,轮生于茎顶,边缘锯齿状。花两性或杂性异株,排列为顶生的伞形花序;小花梗先端具关节;花萼不明显的 5 齿裂;花瓣 5,覆瓦状排列;雄蕊 5,花丝短;子房下位,2~5 室,每室具胚珠 1 个,倒垂;花盘肉质环状;花柱 2~5,分离或基部连合。果为 1 核果状浆果,扁球状肾形,成熟时红色,有种子 2~3 粒,种子卵圆形至三角状卵形<sup>[9]</sup>。鲁歧等<sup>[9]</sup>根据人参属的植物特征,认为人参属在北美洲有 2 个种,在亚洲东部有 6 种 5 个变种,在中国有 6 个种 3 个变种,并根据人参属 8 种 3 变种形态分类研究,整理出人参属分种检索表。而李方元<sup>[11]</sup>认为中国人参属有 12 种或变种类型,并对人参属植物在中国的分布地区进行了总结,其中西洋参在全国不同地区均有栽培(表 3)。在人参属分类中,人参、西洋参和三七是常见的 3 种人参属药用植物,根据人参属植物所含的皂甙类型,这 3 种植物主要含达玛烷型,归为古老类群。杨涤清<sup>[4]</sup>根据体细胞染色体数目及地理分布认为中国西南地区可能是人参属的始

生中心。西洋参作为与始生中心洲际间断的物种很早就迁移至美洲,后来进一步发展形成四倍体类群。鲁歧等<sup>[9]</sup>通过分枝分类学分析认为中国西南地区是人参属的现代变异中心。综合植物化学、细胞学和地理分布等多方面结果进行聚类分析,认为人参与西洋参亲缘关系最近<sup>[10]</sup>。Choi 等<sup>[14]</sup>通过基因组原位杂交(GISH)揭示西洋参和人参同源性最高。同样,梁韶<sup>[6]</sup>根据人参、西洋参和三七似近系数聚类分析得出西洋参与人参的似近系数为 0.944 0,亲缘关系最近,与三七的似近系数为 0.729 2,亲缘关系较远。此外,研究表明,西洋参与人参杂交结实率高,杂种一代花粉母细胞减数分裂时,多数染色体能配对,只有少数单价体(2~4 个),这两种植物嫁接也易成活,且它们的化学成分、形态特征、生长习性等也相近,说明它们的亲缘关系相近,是同一个祖先<sup>[11]</sup>。这些亲缘关系相近的野生资源为西洋参的遗传改良及品种选育提供可用的种质和基因资源。

## 2.3 西洋参遗传多样性

种质资源的遗传多样性是种质创新与品种选育的基础。西洋参种内种外在形态特征、细胞学特征、生理特征、基因位点及 DNA 序列等方面均存在遗传多样性,这为西洋参遗传变异研究和育种工作提供了丰富的物质基础。DNA 分子标记能够直接反应生物个体间或种群间基因组差异,因此,DNA 分子标记技术被广泛应用于鉴别生物多样性。马小军<sup>[15]</sup>用 RAPD 标记对 5 个人参农家类型大马牙、二马牙、长脖、圆膀圆芦、黄果共 40 个个体进行遗传多样性检测,发现 RAPD 多态位点为 56.9%,表明现有人参农家类型中存在较丰富的遗传多样性,这些遗传变异构成选育优良品种的物质基础,农家类型内的个体选择育种极具潜力。Bai 等<sup>[16]</sup>采用 RAPD 标记对加拿大安大略省栽培西洋参进行多态性分析,发现 RAPD 标记多态性达到 78.8%,表明西洋参栽培群体存在较高的遗传多样性。类似的研究同样表明不同来源和类型的西洋参均有较丰富的多样性,且西洋参栽培群体相较野生群体具有更高的遗传多样性<sup>[17-19]</sup>。杨天天<sup>[20]</sup>采用 SSR 和 RAPD 标记对栽培人参和西洋参种质资源进行遗传多样性分析,结果表明两种标记的多态性分别达到 87.5%和 90.35%;魏晓雨等<sup>[21]</sup>采用 RAPD 和 ISSR 标记对中国 10 个产地的西洋参进行遗传多样性分析,发现两种标记的多态性分别达到 85.51%和

64.65%,且西洋参与人参之间的遗传多样性存在较大差异。这些研究表明不同产地西洋参存在丰富的遗传多样性,且西洋参种属间存在更大的遗传变异,这极大地拓展了西洋参的遗传基础,为西洋参品种选育提供了丰富的物质基础。

表 3 人参属植物的种类、主要特征及在中国的分布地区

Table 3 Species, main characteristics, and distribution of *Panax* in China

种类 Species	主要特征 Main characteristics	分布地区 Distribution
1 人参 <i>P. ginseng</i> C. A. Mey	根状茎较短,直立或斜上,肉质根肥大,纺锤形或圆柱形;小叶有柄,椭圆形或长圆形;上面脉上疏生长约 1mm 的刚毛,下面无毛 Rhizomes shorter, erect or oblique, fleshy root hypertrophy, spindle or cylindrical; leaflets stipitate, elliptic or oblong; upper vein sparsely covered with ca. 1 mm setae, lower part glabrous.	东北 Northeast
1.1 黄果变种 <i>P. ginseng</i> var. <i>xanthocarpus</i>	—	东北 Northeast
1.2 紫茎变种 <i>P. ginseng</i> var. <i>ropurpureacaulo</i>	—	东北 Northeast
2 西洋参 <i>P. quinquefolium</i> Linn	种子两侧压扁,种皮紧贴,长 5~8 mm,厚 2~2.5 mm;小叶片椭圆形至长圆形或倒卵形;叶柄基部具托叶状附属物或无;伞形花序有花 20~50 朵,花柱 2 枚,近分离至基部;总花梗与叶柄等长或近等长,小叶片脉上刚毛疏少或无毛,锯齿不规则而稍粗大 The seed is compressed on both sides, the seed coat is close, 5-8 mm long and 2-2.5 mm thick; leaflets elliptic to oblong or obovate; petiole base with stipular appendages or absent; the umbel has 20-50 flowers, 2 styles, nearly separated to the base; pedicel as long as petiole or nearly as long, setae on venules of leaflets sparse or glabrous, serrate irregular and slightly thick.	全国栽培 Cultivated countrywide
3 三七 <i>P. notoginseng</i> (Burk.) F. H. Chen	种子卵圆形,微三棱,种皮肿胀,长 5~8 mm,厚 5~6 mm;小叶片倒卵形至倒卵状长圆形,叶柄基部具有托叶状附属物;伞形花序有花 80~100 朵或更多,花柱 2 枚,合生至中部或以上 The seed is ovoid, trigonous, the seed coat is swollen, 5-8 mm long and 5-6 mm thick; leaflets obovate to obovate oblong, petiole base with stipule like appendages; umbels have 80-100 or more flowers, 2 styles, united to the middle or above.	云南省 Yunnan province
4 假人参 <i>P. pseudoginseng</i> Wall	宿根纤维状,有时肉质,为圆柱形或纺锤形;叶表面沿脉密生 1.5~2 mm 的刚毛,背面无毛,先端长尾状渐尖,边缘具重锯齿,叶柄及小叶柄基部均具多数披针形的托叶状附属物,花柄较长,光滑,肉质根 2~5 条,簇生 Ratoon fibrous, sometimes fleshy, cylindrical or spindle; leaf surface is densely covered with 1.5-2 mm bristles along veins, the back is glabrous, the apex is long tailed acuminate, the edge is double serrated, the petiole and petiole base have many lanceolate stipule like appendages, the petiole is long, smooth, fleshy root 2-5, clustered.	西藏 Tibet
4.1 假人参(原变种) <i>P. pseudoginseng</i> var.	根状茎在幼龄期较短,有肥大的肉质主根;叶柄基部有微小卵形或披针形的托叶。小叶片上面脉上密生刚毛,下面无毛,伞形花序有 20~50 朵花,花梗无毛 The rhizome is short in the young stage and has a large fleshy main root; stipules ovate or lanceolate at the base of petiole; leaflets with dense setae on the veins, glabrous below, umbels with 20-50 flowers, pedicels glabrous.	—
4.2 栽培三七 <i>P. pseudoginseng</i> var. <i>notoginseng</i> (Burkill) Hoo&. Tseng	根状茎在幼龄期较短,有肥大的肉质主根;叶柄基部有微小卵形或披针形的托叶。小叶片两面脉上密生刚毛,下面较稀,伞形花序有 80~100 朵或更多的花,花梗有微柔毛 The rhizome is short in the young stage and has a large fleshy main root; stipules ovate or lanceolate at the base of petiole; leaflets densely setose on veins on both sides, sparsely below; umbels with 80-100 or more flowers, pedicels puberulent.	—
4.3 狭叶假人参 <i>P. pseudoginseng</i> var. <i>angustifolius</i> (Burkill) Li	根状茎细长,竹鞭状或串珠状主根不发育,有时也有肥大的肉质根;小叶片不分裂,稀有缺刻状;叶柄基部无托叶;中央小叶片披针形或线状披针形,长为宽的 5 倍以上,最宽处在基部或接近基部 The rhizome is long and thin, the main root is not developed, sometimes there are fat fleshy roots; leaflets undivided, rarely notched; petiole base without stipules; central leaflet lanceolate or linear lanceolate, more than 5 times as long as wide, widest at or near base.	四川、云南 Sichuan and Yunnan
4.4 秀丽假人参 <i>P. pseudoginseng</i> var. <i>elegantior</i> (Burkill) Hoo&. Tseng	根状茎细长,竹鞭状或串珠状,主根不发育,有时也有肥大的肉质根;小叶片不分裂,稀有缺刻状;叶柄基部无托叶;中央小叶片倒披针形、倒卵状椭圆形、稀倒卵形,较小,最宽处在中部以上,基部狭尖,两边直 The rhizome is slender, bamboo whip or beaded, the main root is not developed, sometimes there are fat fleshy roots; leaflets undivided, rarely notched; petiole base without stipules; central leaflet oblanceolate, obovate elliptic, thin obovate, smaller, widest above middle, base narrowly pointed, both sides straight.	—

(续表 3 Continued table 3)

种类 Species	主要特征 Main characteristics	分布地区 Distribution
4.5 大叶三七 <i>P. pseudongin-seng</i> var. <i>japonicus</i> (C. A. Meyer) Hoo& Tseng	根状茎细长,竹鞭状或串珠状,主根不发育,有时也有肥大的肉质根;小叶片不分裂,稀有缺刻状;叶柄基部无托叶;中央小叶片扩椭圆形、椭圆形、长圆形、稀倒卵状椭圆形,较大,最宽处常在中部,基部非常狭小,两边多少呈弧形 The rhizome is slender, bamboo whip or beaded, the main root is not developed, sometimes there are fat fleshy roots; leaflets undivided, rarely notched; central leaflet is oblong, elliptic, oblong, thin obovate elliptic, larger, the widest part is often in the middle, the base is very narrow, and both sides are more or less arc-shaped.	—
4.6 羽状三七 <i>P. pseudongin-seng</i> var. <i>bipinnatifidus</i> (Seem.) Li	根状茎细长,竹鞭状或串珠状,主根不发育,有时也有肥大的肉质根;小叶片二回羽状分裂,稀为一回羽状分裂,托叶偶残存 The rhizome is slender, bamboo whip or beaded, the main root is not developed, sometimes there are fat fleshy roots; leaflets are bipinnately divided and rarely bipinnately divided, with stipules remaining.	长江以北黄河以南和西藏、云南 Tibet, Yunnan, and between the North of Yangze river and the South of Yellow river
5 姜状三七 <i>P. zingiberensis</i> C. Y. Wu & K. M. Feng	肉质根肥厚成姜块状,小叶片无柄或近无柄,通常 5 枚,长圆状倒卵形,先端长尾状渐尖,基部小叶显著偏斜,两面脉上疏生刚毛;小叶并及叶柄基部无托叶状附属物;伞形花序密生苞片,有花 80~100 朵或更多,花柄微糙;花柱 2 枚,合生至近中部 The fleshy root is thick and massive, the leaflets are sessile or nearly sessile, usually 5, oblong obovate, apex long caudate acuminate, the basal leaflets are significantly skewed, and the veins on both sides are sparsely setose; leaflet and petiole base without stipular appendages; umbels densely bracted 80—100 or more flowers, petiole coarse; style 2, connate to near middle.	云南 Yunnan
6 竹节参 <i>P. japonicus</i> C. A. Mey	根状茎节间短缩而增厚,节不膨大,有时肉质根;叶片长椭圆形至阔倒卵形,长为宽的 4 倍以下,最宽处在中部或中部以上,宽 3~5 cm,先端长尖;果熟时红色或半红半黑,或黑色 The internodes of rhizome are short and thick, the internodes are not enlarged, sometimes fleshy; leaf is oblong to broad obovate, the length is less than 4 times of the width, the widest is in the middle or above the middle, the width is 3—5 cm, and the apex is long pointed; fruit is red or half red, half black or black when ripe.	长江流域 Yangze river basin
6.1 狭叶竹节参 <i>P. japonicus</i> var. <i>angustifolius</i> (Burk.) C. Y. Cheng et Chu	叶片窄披针形,长为宽的 5 倍以上,最宽处在中部以下,宽不到 3 cm,先端长尾状渐尖;果熟时红色 The leaf blade is narrow lanceolate, its length is more than 5 times of its width, its widest is below the middle, its width is less than 3 cm, and its apex is long caudate and acuminate; fruit is red when ripe.	—
6.2 珠子参 <i>P. japonicus</i> var. <i>major</i> (Burk.) C. Y. Wu et K. M. Feng	根状茎节间伸延而纤细,节膨大为球形,通常不具肉质根;叶缘为规则的细锯齿,少有重锯齿,沿脉具少数刺毛或卷曲短毛,个别的连小叶柄,叶柄均具刺毛 The internodes of rhizome are elongated and slender, the internodes are spherical, usually without fleshy roots; leaf margin is regular serrulate, few double serrulate, with a few bristles or curly short hairs along the veins, some connected with petioles, petioles with bristles.	长江以北黄河以南和西藏、云南 Tibet, Yunnan, and area between the North of Yangze river and the South of Yellow river
6.3 疙瘩七 <i>P. japonicus</i> var. <i>bipinnatifidus</i> (Seem.) C. Y. Wu et K. M. Feng	根状茎节间伸延而纤细,节膨大为球形或有时节间缩短增厚而具肉质根;叶一至二回羽状浅裂至深裂,表面沿脉及有时背面沿中脉疏生细刺毛,叶柄基部不具托叶状附属物;花序较叶为长;萼片三角形,花柱 2~4,花柄微糙;果熟时红色或上黑下红至黑色 The internodes of rhizome are elongated and slender, the internodes are spherical or sometimes shortened and thickened with fleshy roots; leaves one to two pinnately lobed to deeply lobed, sparsely spiny along veins on the surface and sometimes along midvein on the back, without stipule like appendages at the base of petiole; sepals triangular, style 2—4, petiole scabrous; fruit red or, black in the upper part and red in the down part when ripe.	—
7 屏边三七 <i>P. stipuleanatus</i> H. T. Tsai et K. M. Feng	根状茎节间短缩而增厚,节不膨大,常具肉质根;叶不裂至羽状半裂,仅在表面脉上疏生较长刺毛,基部小叶显著偏斜,叶柄基部具少数卵圆形托叶状附属物;花序较叶为短;萼片扁圆形至扁三角形,花柱 2,花梗微糙或近无毛;果熟时深红色 The internodes of rhizome are short and thick, the internodes are not enlarged, and they often have fleshy roots; leaves undivided to pinnatifid, only sparsely long spines on surface veins, basal leaflets significantly skewed, petiole base with a few oval stipule like appendages; inflorescence is shorter than the leaf; sepals oblate to oblate triangular, style 2, pedicel scabrous or subglabrous; fruit is dark red when ripe.	云南 Yunnan

注:资料来源自文献[11]。

Note: Source from reference [11].

### 3 西洋参品种选育技术

#### 3.1 引种栽培

野生西洋参自然分布于北纬 30°~48°、西经 67°~125°,海拔 300~500 m 的北美洲森林中,包括加拿大的东南部和美国东部。1885 年,Stanton 成功种植西洋参,开创了西洋参人工栽培的历史。目前,世界上引种栽培西洋参的国家主要有美国、加拿大、中国、朝鲜、俄罗斯、日本等,其中美国、加拿大和中国栽培面积较大。中国于 20 世纪 70 年代开始在北京、吉林、辽宁、黑龙江和陕西等地进行西洋参的引种栽培研究,1980 年 9 月在吉林省召开西洋参引种驯化成果鉴定会,对西洋参的栽培技术、生物学特性、药理学及组织胚胎学等进行成果交流,标志着中国西洋参引种成功<sup>[22]</sup>。中国的西洋参引种栽培目前已扩展至东北、华北、西北、华南及西南等地区<sup>[12,23]</sup>。西洋参原产地多为丘陵山区,气候冷凉潮湿,且多在山地阴坡生长,因此引种栽培要注重西洋参的生态特性与环境条件的适宜性。温度变化对西洋参的生长发育有着明显作用,如西洋参出苗温度要达到 10 °C 以上,正常生长温度为 20 °C 左右。西洋参喜湿润气候,生长季节相对湿度达 70% 以上,若水分不足则会导致生长不良,易遭病害,但参床不能积水,宜选择排水通风良好的坡地。西洋参自然生长在山林峡谷地带的阔叶林中,形成西洋参喜阴的特性,因此栽培西洋参需在林下种植或搭阴棚遮光。此外,土壤特性也是影响西洋参生长的主要因素<sup>[24-25]</sup>。

经过多年的引种实践,中国的西洋参种植逐步形成适宜于地区生态环境的栽培技术体系。例如,中国的西洋参适宜生长的区域集中在东北和华北地区,包括辽宁的宽甸、新宾、清源等地;黑龙江的东宁、穆棱、宁安;吉林的吉安、通化、抚松等地;北京的密云、怀柔、延庆等;山东的莱芜、诸城、文登等地<sup>[26]</sup>。东北栽培区位于北纬 40°~45°,海拔 200~800 m,属于温带湿润型气候,年平均气温 2~8 °C,年降雨量 600~900 mm,年日照时数 2 200~2 600 h,土壤为森林棕壤,pH 5.5~7.0。该区种植西洋参主要利用山地林下腐殖土栽培,需搭遮雨棚。华北栽培区位于北纬 35°~41°,海拔 200 m 以下,属于暖温带湿润和半湿润气候。年平均气温 8~12 °C,年降雨量 600~800 mm,年日照时数 2 600~2 800 h,土壤为农田土、砂质

壤土或壤土,pH 5.5~7.8。该区主要为农田土种植西洋参,因此宜采用施肥改土、搭遮阴遮雨棚、覆盖免耕的农田栽培技术。西北栽培区主要为秦岭山区,集中在陕西留坝、凤翔、陇县、新郑及汉中等地。地理位置为北纬 32°~35°,海拔 600~1 800 m,属于亚热带湿润型气候,年平均气温 10~14 °C,年降雨量 600~1 500 mm,年日照时数 1 400~1 800 h,土壤为棕壤、砂质壤土或粘壤土,pH 5.5~6.5。该区主要利用山地腐殖土或坡地农田土种植西洋参,多采用传统式遮阴遮雨棚直播法栽培技术。西南和华南低纬度高海拔地区也有少量西洋参引种栽培,包括云南昆明、丽江、贵州省的贵阳等地及福建的德化、大田县。该地区属于亚热带气候,年均气温较高,降雨量大,日照时数长,偏酸性土壤(pH 5.0~6.0)。西洋参种植多利用山地森林腐殖土,采用单透式传统矮棚。

然而,西洋参长期引种栽培,导致种子来源混杂,加之授粉方式混杂及栽培区生态环境的多样化,使得西洋参个体之间出现较为明显的差异,且形成复杂多样的天然混杂品种,农家自留种的多年应用又进一步加剧品种的退化问题。此外,西洋参为多年生宿根性植物,忌地性极强,不能重茬栽种,连作西洋参一般在第 2 年后会出现存苗率降至 30% 以下,严重的导致绝收。因此,改变传统栽种方式,培育抗病优质高产新品种是解决西洋参连作障碍和品种退化的最佳途径。

#### 3.2 常规系统选育

加强西洋参品种选育研究是生产优质高产西洋参的必由之路。目前,西洋参品种选育多采用常规系统选育方法,即通过多年连续不断的单株选择和收集,选择综合性状良好的单株,经系统选育或集团选育形成高产优质抗病且性状稳定的优良株系,育成品种加以生产利用。中国农科院特产研究所进行了西洋参系统选育研究,收集综合性状表现好的优良单株 461 份,集团种子 20 份,经多年田间比较筛选,培育出优良株系 6 个,其中 4 个优良株系的产量及人参皂甙和氨基酸含量均显著高于混杂群体<sup>[11]</sup>。吉林农业大学利用系统选育技术培育出‘中农洋参一号’是目前世界上第一个人工选育并通过审定的西洋参品种,该品种的培育成功结束中国引种西洋参的历史<sup>[27]</sup>。文登西洋参新品种——‘三抗 1 号’通过山东省科技厅鉴定,该品种抗逆性强、品质优、产量高。4 a 生

参株高 50~55 cm,掌状复叶轮生茎端,叶片广卵形或倒卵形。根短、粗且分枝少,茎粗壮、圆柱形。耐高温(40 °C)、耐旱、抗强光。总皂苷含量达 6.5%以上,人参皂苷 Rb1 含量为 1.4%。4 a 生文登西洋参平均产量为 670 kg/667m<sup>2</sup>[28]。

然而,常规系统选育依赖于现有遗传资源的收集和筛选,无法将优异基因有效地结合,在品种改良上难以有较大的突破和创新。如何挖掘优异基因,高效利用遗传资源创制和培育优良品种是西洋参育种的根本途径。

### 3.3 常规杂交选育

常规杂交育种是品种选育和育种材料创制最主要和最直接的途径。该方法利用已有近源野生资源和品种资源,通过种属间远缘杂交或品种间杂交,杂种后代再经系统选育,最终筛选和培育出优良西洋参品种。然而,由于西洋参为异源四倍体的常异花授粉植物,且目前栽培西洋参多为引种的异质混杂群体,长期种植中不可避免地造成了西洋参遗传基础的复杂性和多样性,基因型丰富且高度杂合,从而使得西洋参常规杂交选育技术在实际应用中出现杂种性状分离幅度大、选择难度大、育种周期长等障碍,很难选育出生产上可以利用的优良品种。迄今为止还未见有西洋参品种间杂交选育出新品种的报道。但是育种工作者在西洋参和人参远缘杂交育种研究方面做了一些开创性的工作。早在 1959 年,宫泽洋一等[29]就开始了西洋参和人参、竹节参种间杂交和品系间杂交试验,获得了杂种,并发现 F<sub>1</sub> 有明显的杂种优势。胡桂珍等[30]采用人参和西洋参杂交结合杂种胚离体培养的方法,通过体细胞胚胎发生植株再生途径获得杂种植株。赵亚会等[31]利用黄果人参和西洋参进行远缘杂交,结果表明杂交一代的主根长和根鲜质量具有明显的杂种优势。但人参和西洋参的杂交因花期不遇、去雄技术繁杂,不易大量获得 F<sub>1</sub> 植株,且 F<sub>1</sub> 植株往往花器构造不正常,不能产生有生命力的雌雄配子,或配子虽有活力,但不能完成正常的受精过程或不能正常结籽,很难得到 F<sub>2</sub> 种子和植株,这对育种工作十分不利。此外,国家市场监督管理总局在 2018 年发布的《中药材生产质量管理规范(修订草案征求意见稿)》中明确提出,对于种间杂交品种原则上是禁止的,除非作为提取单体成分的原料开展的育种。由此可见利用常规杂交选育技术很难达到西洋参品种改良和选育的目的。

### 3.4 诱变育种

诱变育种是指用物理、化学因素诱导植物的遗传特性发生变异,再从变异群体中选择符合人们某种要求的单株,进而培育成新的品种或种质的育种方法。目前多种诱变技术已应用于作物的诱变育种中,促进了作物种质创新和品种改良进程。但是,迄今为止还没有任何诱变育种手段成功应用于西洋参育种当中,这可能与西洋参多年生生长特性、种子休眠期长及多倍体遗传特性有关,致使诱变技术很难获得突变性状或突变性状难以稳定遗传。庄文庆等[32]在人参辐射诱变育种中指出辐射诱变像人参、西洋参此类多年生植物种子时,其回复突变远高于 1 a 生植物,因此可选择高于半致死剂量的辐射量和延长照射时间,照射种子量加大,以增加突变率和突变量。诱变方法也可采用先将花粉照射,之后授粉在去雄的正常人参柱头上,收获种子,从其后代中选择变异植株。由于西洋参与人参有相似的遗传和生长特性,因此这些方法也可借鉴在西洋参诱变育种中。

此外,像人参、西洋参此类的根用植物,利用多倍体巨大性及抗逆性的特点,通过多倍体诱变技术育种培育高产抗病品种不失为一条有效的育种途径。李方元[33]用梯度浓度秋水仙碱对人参裂口种子和种栽芽孢进行梯度时间处理,发现裂口人参种子对秋水仙碱处理不敏感,而种栽芽孢经秋水仙碱梯度浓度和时间处理差异显著,植株变异与秋水仙碱处理浓度和时间成正相关,植株结实率与秋水仙碱处理浓度和时间呈负相关。任跃英等[34]开展了西洋参多倍体诱导研究,利用秋水仙素处理西洋参花序,以期得到染色体加倍了的幼苗,但多次尝试并未成功,这可能与西洋参的多年生生长特性及本身为多倍体植物有关。秋水仙素处理浓度和时间及作用部位的选择是多倍体诱导的关键,今后应加强这方面的研究。但药材育种的安全性要求致使人工诱变加倍育种技术选育的中药材品种在药材开发及应用方面受到一定的限制,因此应慎重对待人工诱变加倍育种技术在西洋参育种中的应用。

航天育种是一种新型诱变育种途径,即经过卫星搭载,生物在高真空、微重力、强辐射及其他因素的综合作用下产生变异,再经过地面选育,筛选和固定变异,培育新品种或创新新种质。在植物方面,国内外已利用该技术培育了粮食作物、经

济作物、花卉及菌类等高产优质新品种(系)。中国农科院特产所曾利用返回式卫星搭载人参种子,发现在太空中,宇宙射线、高真空和微重力环境可以诱发西洋参种子产生遗传变异,空间条件比常规的诱变条件对种子具有更好的诱变效果<sup>[31]</sup>。鉴于太空航天育种技术的优点和在其他作物上的成功应用,西北农林科技大学西洋参研究课题组与海南航天投资管理公司签订了2021年返回式卫星搭载西洋参种子试验,以期将航天技术优势与农业现代育种技术有效结合,为西洋参新品种选育和种质创新探索一条新的育种途径,从而促进和加快西洋参育种进程。

### 3.5 生物技术育种

3.5.1 花药单倍体育种技术 通过植物花药或花粉培养可以诱导花粉小孢子雄核发育产生单倍体植株,由此发展起来的植物花药单倍体育种技术及遗传修饰技术已成为现代植物育种的重要手段。目前已有来自茄科、十字花科和禾本科的200多种植物花药培养获得再生植株,而且有很多花药植株成功应用于作物育种中选育出优良品种,但五加科植物目前尚无花药单倍体育种应用的成功案例,尤其是西洋参花药培养方面的研究相对较少。孙国栋等<sup>[35]</sup>报道了西洋参花药培养在含有6-BA的培养基上,愈伤组织诱导率可达到22.2%,但无花粉愈伤的器官分化。张成国等<sup>[36]</sup>初步研究了不同浓度2,4-D、6-BA和蔗糖对西洋参花药愈伤组织诱导的影响,对花药愈伤组织诱导条件进行优化,使得西洋参花药愈伤组织的诱导率达到37.53%,但花药愈伤组织在分化培养基上仅形成绿色的畸形器官,很难发育成正常植株。尹红新<sup>[37]</sup>优化了西洋参花药愈伤组织诱导及分化条件,最终获得正常生长的试管苗。这些研究为西洋参花药培养再生体系的建立奠定了基础,花药单倍体育种技术有望应用于西洋参乃至五加科植物的性状改良和品种选育。

3.5.2 分子标记辅助选择育种技术 随着基因组学的发展,利用分子标记技术和基因组学进行品种分子改良的作物分子育种成为育种发展的主流。分子标记辅助选择即是将与育种目标性状紧密连锁的分子标记用来对目标性状进行快速准确选择,以提高育种效率,已广泛应用于各类作物育种中,是现代分子育种的重要组成部分。分子标记辅助选择育种技术应用的前提是开发和发展各种不同类型的分子标记。任跃英等<sup>[38]</sup>采用

RAPD技术对人参和西洋参基因组进行分析,发现14个RAPD标记在不同品种间出现差异条带,说明RAPD标记可以应用于人参和西洋参分类和品种鉴定中。陈子易等<sup>[39]</sup>利用人参DNA片段序列设计SSR引物,结果共有来自8个SSR位点的9对引物能扩增出可区分人参和西洋参的特异性片段,其中7对SSR引物在西洋参中能稳定地扩增出特异性条带,说明SSR标记可以简便、重复性高地鉴定人参和西洋参种质。魏晓雨等<sup>[21]</sup>采用RAPD和ISSR分子标记技术对中国10个产地的西洋参遗传多样性进行分析,其中13条RAPD标记的多态性百分率为85.51%,12条ISSR标记多态性为64.65%,且这两类标记构建的西洋参遗传分类总体趋势一致,说明RAPD和ISSR标记均可应用于人参种质资源遗传多样性分析。王戎博等<sup>[40]</sup>利用人参的unigene开发了人参和西洋参之间的内含子长度多态性标记,可以对人参和西洋参进行有效地区分和鉴定,为人参和西洋参的植物来源鉴定提供了理想的分子标记系统。尽管目前针对西洋参基因组信息开发了一些特异性标记,且随着分子标记技术的发展,各类分子标记开发也在不断发展和进步,但还未有真正用于育种选择的标记,今后应进一步加强西洋参重要性状基因位点的发掘与鉴定,利用先进的标记技术开发连锁标记,加快分子标记辅助选择在育种中的应用。

## 4 小结

西洋参为异源四倍体、常异花授粉植物。中国西洋参栽培主要有东北、华北、华中和康滇4个生态栽培区,不同产地西洋参存在丰富的遗传多样性。当前中国西洋参主要为引种栽培,但西洋参长期引种栽培,造成种子的来源混杂,加之授粉方式混杂及栽培区生态环境的多样化,使得西洋参个体之间出现较为明显的差异,且形成复杂多样的天然混杂品种,品种退化问题严重。因此,改变传统栽种方式,培育抗病优质高产新品种是解决西洋参连作障碍和品种退化的最佳途径。目前西洋参育种主要采用常规系统选育、常规杂交选育、诱变育种技术和生物技术育种等技术,其中常规系统选育依赖于现有遗传资源的收集和筛选,无法将优异基因有效地结合,在品种改良上难以有较大的突破和创新;常规杂交选育技术难度大,育种周期长,且受中药材杂交育种的安全性限制,

难以实现对西洋参品种的改良和选育;诱变育种技术是种质创制、品种改良的有效途径,但其应用中仍存在一些技术障碍和中药材育种的安全性限制;随着生物技术手段的不断进步以及研究的不断深入,花药单倍体育种技术、分子标记辅助选择育种技术将有望应用于西洋参乃至五加科植物的性状改良和品种选育之中。

#### 参考文献 Reference:

- [1] TAYLOR R. IOPB chromosome number reports XIV [J]. *Taxon*, 1967, 16: 552-571.
- [2] BLAIR A. Karyotypes of five plant species with disjunct distribution in Virginia and the Carolinas [J]. *American Journal of Botany*, 1975, 62(8): 833-837.
- [3] HU S Y, RDENBERG L, TREDICI P D. Studies of American ginsengs [J]. *Rhodora*, 1980, 82(832): 627-636.
- [4] 杨涤清. 几种人参属植物的细胞分类学研究[J]. 中国科学院大学学报, 1981, 19(3): 298-303.
- YANG D Q. Studies on the cytotaxonomy of several plants of the genus Ginseng [J]. *Journal of the university of Chinese Academy of Sciences*, 1981, 19(3): 298-303.
- [5] 任跃英, 孙佰超. 西洋参根尖染色体的核型分析[J]. 吉林农业大学学报, 1994, 16(3): 43-46.
- REN Y Y, SUN B CH. Karyotype analysis of the American Ginseng [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1994, 16(3): 43-46.
- [6] 梁 韶. 3 种人参属药用植物荧光原位杂交技术及核型分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- LIANG SH. Fluorescence in situ hybridization and karyotype analysis of three medicinal plants of *Panax* species [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2017.
- [7] 许子良. 西洋参自然异交率的测定[J]. 特产研究, 1986(3): 44.
- XU Z L. Determination of natural outcrossing rate of *Panax quinquefolius* L [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1986(3): 14.
- [8] 赵亚会, 吴连举, 魏云洁, 等. 西洋参部分种质资源形态特征、特性研究[C]//吉林: 低碳经济与科学发展—吉林省第六届科学技术学术年会论文集, 2010.
- ZHAO Y H, WU L J, WEI Y J, et al. Morphological characteristics and speciality of some germplasm resources of *Panax quinquefolium* L [C]//Jilin: Low Carbon Economy and Scientific Development—Proceedings of the Sixth Annual Conference of Science and Technology of Jilin Province, 2010.
- [9] 鲁 歧, 富 方, 李向高. 人参属植物分类学的研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 1992, 14(4): 107-111.
- LU Q, FU F, LI X G. A review on studies of *Panax* plant taxonomy [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1992, 14(4): 107-111.
- [10] 徐克学, 李德忠. 我国人参属数量分类研究初试[J]. 植物分类学报, 1983, 21(1): 34-43.
- XU K X, LI D ZH. A preliminary study on the quantitative classification of *Panax* genera in China [J]. *Acta Botanica Taxa*, 1983, 21(1): 34-43.
- [11] 李方元. 中国人参和西洋参[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002.
- LI F Y. Chinese Ginseng and American Ginseng [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002.
- [12] 辜旭辉, 于文涛, 栾春海, 等. 人参、西洋参种质资源的生态环境和分布[J]. 人参研究, 2006(2): 4-7.
- GU X H, YU W T, LUAN CH H, et al. The ecological environment and distribution of *Panax ginseng* C. A. Meyer and *P. quinquefolium* Linn germplasm resources [J]. *Ginseng Research*, 2006(2): 4-7.
- [13] 黄林芳, 索风梅, 宋经元, 等. 中国产西洋参品质变异及生态型划分[J]. 药学学报, 2013, 48(4): 580-589.
- HUANG L F, SUO F M, SONG J Y, et al. Quality variation and ecotype division of *Panax quinquefolium* in China [J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2013, 48(4): 580-589.
- [14] CHOI H W, KOO D H, BANG K H, et al. FISH and GISH analysis of the genomic relationships among *Panax* species [J]. *Genes & Genomics*, 2009, 31(1): 99-105.
- [15] 马小军. 人参种质资源及其 DNA 指纹的研究[D]. 北京: 中国协和医科大学, 1998.
- MA X J. A study on germplasm of *Panax ginseng* and its DNA fingerprinting [D]. Beijing: Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, 1998.
- [16] BAI D, BRANDLE J, REELEDER R. Genetic diversity in North American ginseng (*Panax quinquefolium* L.) grown in Ontario detected by RAPD analysis [J]. *Genome*, 1997, 40: 11-115.
- [17] OBAE S G. Genetic characterization, ginsenoside analysis and micropropagation of American ginseng (*Panax quinquefolium* L.) [D]. Davis College of Agriculture, Natural Resources and Design at West Virginia University, 2010.
- [18] CRUSE-SANDERS J M, HAMRICK J L. Genetic diversity in harvested and protected populations of wild American ginseng, *Panax quinquefolius* L. (Araliaceae) [J]. *American Journal of Botany*, 2004, 91(4): 540-548.
- [19] GRUBBS J H, CASE M A. Allozyme variation in American ginseng (*Panax quinquefolius* L.): Variation, breeding system, and implications for current conservation practice [J]. *Conservation Genetics*, 2004, 5: 13-23.
- [20] 杨天天. 栽培人参和西洋参种质资源遗传多样性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- YANG T T. Study on genetic diversity of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium* germplasm [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007.
- [21] 魏晓雨, 田义新, 赵智灵, 等. 不同产地西洋参种质遗传多样性的 RAPD 和 ISSR 分析[J]. 中草药, 2014, 45(21):

- 3153-3158.
- WEI X Y, TIAN Y X, ZHAO ZH L. RAPD and ISSR analyses of genetic diversity of American ginseng germplasm from different habitats in China [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2014, 45(21): 3153-3158.
- [22] 钱菊梅. 我国西洋参引种成功[J]. 植物杂志, 1980(6): 9.
- QIAN J M. *Panax quinquefolium* has been succeeded in introduction and cultivation in China [J]. *The Plant Journal*, 1980(6): 9.
- [23] 刘铁城. 我国西洋参引种栽培概况[J]. 中药材, 1990, 13(3): 42-45.
- LIU T CH. The overview on the introduction and cultivation of *Panax quinquefolium* in China [J]. *Traditional Chinese Medicinal Materials*, 1990, 13(3): 42-45.
- [24] ZHANG Q, WEN J, CHANG Z Q, et al. Evaluation and prediction of ecological suitability of medicinal plant American ginseng (*Panax quinquefolium*) [J]. *Chinese Herbal Medicines*, 2018, 10: 80-85.
- [25] SHEN L, LI X W, MENG X X, et al. Prediction of the globally ecological suitability of *Panax quinquefolius* by the geographic information system for global medicinal plants(GMPGIS) [J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2019, 17(7): 481-489.
- [26] 陈士林, 周应群, 谢彩香, 等. 基于 TCMGIS-I 的西洋参生态适宜性分析[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(7): 741-745.
- CHEN SH L, ZHOU Y Q, XIE C X, et al. Suitability evaluation of *Panax quinquefolium* producing area based on TCMGIS-I [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2008, 33(7): 741-745.
- [27] 李一文. 吉林育出非林地栽培人参新品种[J]. 农村百事通, 2013(7): 12.
- LI Y W. A new variety of ginseng cultivated in non-forest land has emerged in Jilin province [J]. *The Countryside Knows Everything*, 2013(7): 12.
- [28] 崔 贤, 鞠在华. 西洋参新品种一文登西洋参[J]. 农村百事通, 2018(16): 27.
- CUI X, JU Z H. A new variety of American ginseng—Wendeng American ginseng [J]. *The Countryside Knows Everything*, 2018(16): 27.
- [29] 官泽洋一, 孙 禄. 药用人参品种培育的研究[J]. 中药材科技, 1983(1): 40-41.
- GONG Z Y Y, SUN L. Research of the cultivation of medicinal ginseng varieties [J]. *Chinese Medicinal Materials Science and Technology*, 1983(1): 40-41.
- [30] 胡桂珍, 杜令阁, 杨振堂, 等. 人参、西洋参正、反交杂种胚培养高频率植株再生[J]. 特产研究, 1994(1): 1-3.
- HU G ZH, DU L G, YANG ZH T, et al. High frequency of plant regeneration in embryo culture of *Panax ginseng*, *Panax quinquefolium* and reverse hybridization [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1994(1): 1-3.
- [31] 赵亚会, 赵寿经, 李方元. 人参育种研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 1996, 18(增刊): 142-144.
- ZHAO Y H, ZHAO SH J, LI F Y. Progress of *Panax ginseng* breeding [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1996, 18(Suppl): 142-144.
- [32] 庄文庆, 任跃英. 人参育种展望[J]. 吉林农业大学学报, 1990, 12(1): 98-101.
- ZHUANG W Q, REN Y Y. Prospect of *Panax ginseng* breeding [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1990, 12(1): 98-101.
- [33] 李方元. 人参化学诱变育种方法探讨[J]. 特产研究, 1989(2): 5-6.
- LI F Y. Discussion on chemical mutagenesis breeding methods of *Panax ginseng* [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1989(2): 5-6.
- [34] 任跃英, 孟祥颖, 薛英林, 等. 西洋参多倍体诱变技术研究[J]. 人参研究, 1996(4): 20.
- REN Y Y, MENG X Y, XUE Y L, et al. Study on polyploid mutagenesis of *Panax quinquefolium* [J]. *Ginseng Research*, 1996(4): 20.
- [35] 孙国栋, 张 琪. 西洋参试管苗的诱导[J]. 植物学通报, 1983(1): 43-44.
- SUN G D, ZHANG Q. Inducement of *Panax quinquefolium* tube seedling [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1983(1): 43-44.
- [36] 张成国, 王英平, 姚春林, 等. 西洋参花药愈伤组织诱导培养条件的优化[J]. 特产研究, 2013(1): 41-45.
- ZHANG CH G, WANG Y P, YAO CH L, et al. Optimization of anther culture inducing conditions on callus from *Panax quinquefolium* L. [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2013(1): 41-45.
- [37] 尹红新. 西洋参花药及原生质体培养研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- YIN H X. Research on anther and protoplast culture of *Panax quinquefolius* L. [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.
- [38] 任跃英, 高 巍, 郭 影, 等. 黄果及红果人参、西洋参基因组的 RAPD 分子标记研究[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27: 39-42.
- REN Y Y, GAO W, GUO Y, et al. RAPD analysis of yellow fruit and red fruit *Panax ginseng* and *P. quinquefolius* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2005, 27: 39-42.
- [39] 陈子易, 吕旭楠, 程 舟, 等. 微卫星标记在人参和西洋参鉴别中的应用[J]. 复旦学报(自然科学版), 2011, 50(2): 185-191.
- CHEN Z Y, LÜ X N, CHEN ZH, et al. Application of microsatellite markers to differentiate *Panax ginseng* C. A. Meyer from *Panax quinquefolius* L. [J]. *Journal of Fudan University(Natural Science)*, 2011, 50(2): 185-191.
- [40] 王戎博, 田惠丽, 王洪涛, 等. 开发 indel 分子标记对人参和西洋参的鉴别研究[J]. 中国中药杂志, 2018(7): 1441-1445.

WANG R B, TIAN H L, WANG H T, *et al.* Development of indel markers for molecular authentication of *Panax*

*ginseng* and *P. quinquefolius* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2018(7):1441-1445.

## Advance of Research in Germplasm Resources and Breeding Techniques of American Ginseng

LI Chunlian<sup>1</sup>, WAN Chujun<sup>1</sup>, GONG Xue<sup>1</sup>, ZHAO Fangjie<sup>2</sup>,  
CHEN Rongxin<sup>3</sup> and HU Xiaoping<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Areas, College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Areas, College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China;  
3. Liuba County Agricultural Technology Extension Center, Liuba Shaanxi 724100, China)

**Abstract** As a medicinal and edible plant, American ginseng (*Panax quinquefolius* L.), appears more and more in people's daily consumption and has highly medicinal and economic value. American ginseng is an often cross-pollinated plants with long production cycle. Currently, the cultivated American ginseng is a more heterogeneous population and the quality degradation of commercial ginseng is very serious. It is difficult to breed good varieties with conventional breeding because the American ginseng is perennial herbaceous growth, so it likely to result in a shortage of variety resources. Therefore, the development of good American ginseng varieties has become a key problem to be solved in current American ginseng production. In this paper, the genetic characteristics, collection of germplasm resources and breeding techniques were summarized to explore the key technologies and to provide new ideas for American ginseng breeding and cultivar's improvement.

**Key words** American ginseng (*Panax quinquefolius* L.); Germplasm sources; Genetic characteristics; Variety breeding

**Received** 2020-11-30

**Returned** 2020-12-12

**Foundation item** Special Project of Shaanxi Department of Agriculture (No. NYKJ-2019-YL27); Special Project of Technology Innovation of Shaanxi Province (No. S2020-YD-QFY-0016); Open Fund of National Key Laboratory of Qinba Biological Resources and Ecological Environment (No. SLG-PT2019KF04-03).

**First author** LI Chunlian, female, associate professor. Research area: crop genetics and breeding. E-mail: lclian@163.com

**Corresponding author** HU Xiaoping, male, professor. Research area: plant pathology. E-mail: xphu@nwsuaf.edu.cn

(责任编辑:郭柏寿 Responsible editor: GUO Baishou)