

现代技术在剑麻育种上的应用前景

郭朝铭^{1, 2} 易克贤²

(1、华南热带农业大学农学院 儋州 571737 2、中国热带农业科学院南亚热带作物研究所)

摘要：本文阐述目前栽培剑麻的主要类型及其特点，总结了国内外剑麻选育种的概况及经验。从常规育种、基因工程育种方面评述了剑麻育种研究进展，分析了影响剑麻选育种工作快速进展的几个主要因素。根据剑麻本身遗传特点以及育种工作中存在的问题，提出了剑麻近远期育种目标及今后育种工作的主要方向和途径。

关键词：龙舌兰科 遗传育种 基因工程育种

中图分类号：S563.803

文献标识码：A

文章编号：1006—2327—(2006)01—0036—05

龙舌兰科(Agavaceae)植物共有21个属，约670个种^[1]。分布美洲、非洲、亚洲、太平洋以及大西洋、印度洋的一些岛屿等热带、亚热带地区，其中以墨西哥和美国西南部，尤以两国交界处的索诺拉(Sonora)荒漠种类最多。龙舌兰麻类系龙舌兰科所属单子叶植物的统称，俗称剑麻^[2]。剑麻叶片呈剑形，硬而狭长，叶片一般长为100-140cm，宽13-15cm，灰绿至蓝绿色。剑麻具有喜温、耐旱的特点，适于热带、亚热带广大地区栽培。剑麻叶片内含丰富的纤维，纤维细胞呈长形结构，细胞腔大而长，壁厚，具有纤维长、色泽洁白、质地坚韧、富有弹性、拉力强、耐磨擦、耐酸碱、耐腐蚀，不易打滑等特点，广泛应用于渔业、航海、工矿、运输、油田等行业，以及用于编织剑麻地毯、剑麻布、造纸、过滤器、工艺品等^[3]。目前，环境污染问题日益严重，使得人们把目光转向更加环保、更加有利可持续发展的原材料，剑麻产业将以此为契机，得到前所未有的发展。然而，当前剑麻产业却受到生产品种单一、病虫害等多个方面的制约，产量及品质难以提高。

1 国内外育种研究现状

国外剑麻育种工作始于二十世纪30年代，东非坦桑尼亚、肯尼亚和巴西、墨西哥等国家的科研机构曾进行过深入的研究，并获得了显著的成就。如培育出了高产抗寒品种 H.11648，抗病杂种 H.67041，选育出了比普通剑麻产量更高的剑麻希氏新变种等。同时还选出了一些具有优良性状的杂交亲本和杂交品系，如抗斑马纹病的莱氏龙舌兰麻，纤维率很高的维里迪斯麻等，并基本摸清了剑麻的生物学和遗传学特性。但剑麻的病害问题始终制约着国外剑麻的发展，坦桑尼亚曾推广种植高产良种 H.11648，由于斑马纹病的影响，至今推广面

积不超过植麻面积的5%；在病区推广种植其培育出的抗病杂种 H.67041 时，因病原菌发生了变异，而且寄生的抗性发生了变化，多年后也变成了严重感病的品种。目前，国外剑麻栽培品种主要以普通剑麻和灰叶剑麻为主，自二十世纪70年代以来其育种工作停滞不前。

我国剑麻育种工作起步较晚，但成果十分显著。H.11648 引种试种成功及大面积推广，大幅度提高了剑麻产量，为我国剑麻产业跃居世界前列奠定了基础。但 H.11648 易感斑马纹病，不抗剑麻茎腐病，使我国剑麻生产始终潜在着风险。二十世纪70年代开始，我国转入抗病育种研究，经过二十多年的努力，培育出了一些较抗病的品种如粤西 114、广西 76416、东 16 等，供剑麻病区选择利用。近年来，利用回交法对杂种 F₁ 代进行回交，对改良杂种 F₁ 代不良性状的研究获得了进展，如剑麻粤西 114 与 H.11648 回交培育出的南亚 1 号，叶片产量、抗性和叶片性状等均优于粤西 114，但与生产麻 H.11648 相比，生产周期短，叶片大，纤维率偏低，尚未达到理想的培育目的。我国几十年的剑麻育种实践，主要以常规方法培育新品种，虽然获得了一定成效，但还没有从根本上解决国内剑麻生产品种缺乏的现状。近年培育出来的几个抗病品种，其抗性与产量、纤维率等因素难以高度统一，与生产要求相距甚远，总的来说育种效率不高。近年来，我国剑麻生产不断扩展，生产上对抗病及纤维率高、品质好的剑麻品种的需求极为迫切。但由于剑麻生长周期长，且品种多为多倍体，F₁ 代可育的不多，新品种的培育难度较大。因此，应打破常规育种手段，引入新技术育种，才能加快剑麻育种进程。

2 剑麻育种主要目标性状遗传

东非遗传学家道蒂先生(L.R.Doughty)的研究

工作指出：龙舌兰属的染色体基数 $n=30$ ，这一属包括许多具有两组以上染色体的多倍体品种。他描述剑麻 (*A.sisalana* Perr.) 约有染色体138，相当于染色体基数的五倍，为五倍体 ($5n$)；灰叶剑麻 (*A.fourcroydes* Len) 染色体140，亦为五倍体，马盖麻 $3n=90$ 为三倍体；蓝剑麻 $2n=60$ ，假菠萝麻 $2n=60$ ，均为二倍体。由于染色体数目的多倍性，配偶子容易含有不同数量的染色体使其遗传潜力有很大的不同。格兰尼克 (E.B.Granik) 等用蓝剑麻或假菠萝麻等体细胞染色体数目为偶数的两倍体作亲本进行杂交，其后代 F_1 具有可育性，可用马盖麻 (三倍体) 或剑麻 (五倍体)，体细胞染色体为奇数的作亲本，后代 F_1 具不可育性，从而减少了有性杂交的盲目性。

在产量方面，据湛江龙门剑麻研究所报道：产叶数量这一性状是显性的，亲本产量高，杂种后代具有较多产叶量。据调查，在H.11648 × 剑麻组合中， F_1 代的叶片数、叶长、叶宽、单叶重、单叶纤维重、纤维率及拉力等性状均接近两个亲本的平均数，受数量性状遗传的支配。如番麻 × H.11648 组合 F_1 代的增叶数比番麻多29%-43%；比H.11648少32%-37%。同一组合内的个体间也有很大差异，子代的变异，将为育种工作提供丰富的材料。

在抗病方面，亲本抗病 (指抗斑马纹病)，子代会出现部分抗病植株，番麻 × H.11648 杂交组合中，番麻是抗病亲本， F_1 代中有23.00%-43.59%植株表现为抗斑马纹病；亲本不抗病，其后代也不抗病。据广西亚热带作物研究所接种119个组合和辐射处理(Co_{60} 、激光、快中子等)，抗病植株占9.74%。在表现抗病的植株中都有番麻亲本的组合，番麻是抗斑马纹病的抗亲本。在灰叶剑麻 × 剑麻杂交组合中其双亲都不具抗病基因，因此在 F_1 代没有表现抗斑马纹病的植株。

叶缘有无刺，也是生产过程中要考虑的重要问题，所以育种工作也同样要考虑到这个问题。叶缘有刺，也是显性性状，亲本之一叶缘有刺， F_1 代大部分植株的叶缘有刺。据调查，H.11648叶缘 (无刺) × 假菠萝麻 (有刺)， F_1 代叶缘有刺的占64.52%，叶缘无边刺占35.48%。反交的假菠萝麻 × H.11648， F_1 代叶缘有刺占93.46%。番麻叶缘 (有刺) × H.11648 (无刺)， F_1 代叶缘有刺占99.83%。杂交的结果显示：母本叶缘有刺，后代表现有刺类

型更多。

除这几个重要的经济性状外，育种方面还有很多要考虑的因素，如早晚花、植物抗性等，育种工作者在选育过程中都要进一步的考虑。

3 几种育种方式在剑麻育种上的运用

3.1 常规的育种方式

3.1.1 有性杂交

有性杂交是龙舌兰麻育种的最主要方法。它是用人工的方法，把一个优良的品种或多个品种的花粉授到另一个品种的柱头上，使其授精结实，产生杂种，再通过培育选择获得新品种。

早在1931年东非坦噶尼喀剑麻研究站就开展龙舌兰麻选育种工作，经过22年的努力，育成丰产且较耐寒的H.11648。1961-1971年东非坦桑尼亚和肯尼亚剑麻试验站用具有抗斑马纹病能力的莱氏龙舌兰麻 (*Agave lespinassei* Trel) 为母本，以多叶片的H.11648为父本，进行杂交育成抗斑马纹病的新杂种H.67041。巴西花了16年的时间(1958-1974)进行了蓝剑麻与假菠萝麻杂交，选育出比剑麻具有更多叶片的新杂种。我国在这方面也取得相当可喜的成绩，如H.11648 × 剑麻，通过有性杂交选育出剑麻新品种粤西114号，抗病性较强，这个品种已在斑马纹病和剑麻茎腐病区补植和种植，取得较好的经济效益。H.11648 × 剑麻这一组合选出的还有较好苗头的如东16号。番麻 × H.11648 组合初选具有一些较好性状的如东368号、广西76416号^[4]，剑麻粤西114号 × H.11648，经多年筛选和培育获得具有优良性状较为理想的南亚1号、南亚2号剑麻新品种等。

3.1.2 我国现有剑麻杂交育种亲本及其遗传特点

龙舌兰杂种第11648号 (*Agave hybrid* NO.11648)，俗称H.11648。由东非洲坦噶尼喀剑麻研究站育成，适宜年平均气温在16 以上 (最适为22-24)，日温差10 左右，年降雨量1000-1500mm 地区生长，耐-3.5 的辐射低温。但易染斑马纹病和茎腐病，亦易遭“红蜘蛛”为害。体细胞染色体数60，为二倍体，后代可育，可作杂交亲本。

普通剑麻 (*Agavesisa lana* Perr) 英文名Sisals，纤维名称西沙尔麻 (Sisal hemp) 或巴哈马麻 (Bahama hemp)，原产中美洲，叶狭长，直立呈剑状，周期纤维产量比H.11648 麻低。耐寒力比H.11648 麻差，易发生生理性叶斑病。体细胞染色体数为135、

147、和149三种，约为n的5倍，系5倍体，减数分裂后染色体不配对，自交不亲和。

番麻(*Agave americana* L)英文名Blue aloe(蓝色芦荟), Mexican maguey (墨西哥马盖)。别名世纪树、宽叶龙舌兰、百年兰。原产于中美洲, 番麻叶片少而宽, 叶缘有钩齿, 是目前栽培龙舌兰麻中产量最低、拉力最差的一个种, 但耐寒力、抗病虫害力强, 一般温差和零下低温均不受害, 在我国北纬30°以南地区都有番麻的分布。体细胞染色体数目为60、120、180、240, 分别为二、四、六、八倍体, 后代可育, 可作杂交亲本。

假菠萝麻(*Agave angustifolia* Hew.) 别名短叶龙舌兰。因叶片短, 叶缘有刺而没有集约栽培价值。但由于叶片特多, 可作杂交亲本。体细胞染色体数目为60、120, 为二、四倍体, 后代可育, 可作杂交亲本^[5]。

3.1.3 无性选种

龙舌兰麻是无性繁殖作物, 无性繁殖采用吸芽、珠芽和地下茎作为繁殖材料。无性后代的遗传性一般是比较稳定的, 但在不同外界条件下, 常有芽变现象发生。例如: 1964年英国人伦辛(F.H.G.Lensing)在肯尼亚的洛莫洛(Lomolo)麻园的剑麻中选出植株高大, 叶片特多的新变种。广东省国营东方红农场在长期栽培的番麻中选出了无刺番的变种, 火炬农场从剑麻园中选出了叶片数多的剑麻单株, 都为后来的育种工作提供了很好的材料。因此, 用单株选择的方法, 选出优良的植株, 可以培育成新品种。但由于工作量比较大, 在剑麻园中筛选比较困难, 一般的科研单位没有足够的人力投入, 而生产单位也没有把其作为一项重点工作来抓, 所以在这方面一直没有实质性的突破。

3.2 现代技术在剑麻育种中的运用

3.2.1 诱变育种

诱变育种作为一种新的育种方法, 历史较短、起步较晚, 但由于其具有方法简便易行、育种年限较短等特点, 取得的研究成果与进展都相当显著。诱变育种在改良生育期、抗性(抗病、耐寒、耐旱)、结实性(高产)与植株矮化等综合性状方面均取得重大进展。诱变育种是利用各种放射线, 如 α 射线、 γ 射线、 β 射线、中子和激光等处理种子、珠芽、吸芽和地下茎切段, 促使它们的遗传性发生变异, 从中选育新的品种。辐射育种的特点是: 可以

提高变异频率、扩大变异范围, 为选育新品种提供丰富的原始材料, 辐射产生的变异部分稳定较快, 可以在短期内选出新品种; 辐射处理的方法简便、易行, 有利于开展群众性的辐射育种工作。华南热作院等单位利用 γ 射线诱变育成了高产品种植辐四、金丰一号、金丰二号等高产抗病品种和银边东1号观赏品种^[6]。我国麻类诱变育种研究在 γ 射线应用方面研究较多, 但 γ 射线、快中子同样具有很好的诱变效果, 值得进一步加强这方面的研究。对于诱变育种, 大多数科学家注重植株后代表现结果, 对于诱变机理及基因突变的成因研究较少。今后应探索与基因工程等生物技术相结合, 进一步提高诱变育种的方向性与准确性。近年来, 迅速发展航天育种, 已成为诱变育种新的发展方向, 为诱变育种工作注入了新的活力。

3.2.2 体细胞杂交

近代的植物体细胞杂交研究起步于20世纪70年代, Power 等于1970年提出了体细胞杂交设想并进行了原生质体诱导融合的研究。1972年美国Carlson 等报道了首例粉蓝烟草与郎氏烟草两种不同的烟草原生质体融合并首先得到了种间体细胞杂种; 1978年Melchres 等第一次得到的番茄与马铃薯属间体细胞杂种; 随后Kasaka 和Kamega报告将番茄叶肉原生质与胡萝卜悬浮培养细胞原生质体进行电融合, 经选择获得科间杂种^[7]。这种方法可以克服远缘杂交受到杂交不亲和的限制, 它可以在种内、种间、属间乃至科间进行杂交, 使植物中不同科、属、种间的细胞原生质体融合, 经过培养而育成具有亲本优良特性的新杂种。近几年植物配子-体细胞杂交有迅速的发展, 特别是在用幼嫩花粉、成熟花粉原生质体与体细胞原生质体杂交相继成功。虽然这项技术在许多种类的植物上取得成功, 但是, 在剑麻选育种上, 尚未有关通过此技术取得优良新品种的报道。

3.2.3 组织培养技术

组织培养技术在其它的麻类上已经得到充分的应用。如苕麻, 从苕麻子叶、下胚轴、茎、叶、茎尖均培养出再生植株^[8]。目前由于栽培品种单一性比较严重, 品种优良性状退化日益严重, 加上茎腐病和斑马纹病等病害严重, 使剑麻减产甚至整个地区剑麻歉收, 而且剑麻一般采用母株钻心、腋芽繁殖种苗^[9], 易出现早花现象。通过组织培养技术

快速繁殖种苗,获得无菌苗,为提高品质及产量开辟新途径。现在已经有关于对一些出现在抗性和产量上有着明显优势的母株,通过器官发生、胚胎发生^[10-11]用剑麻组织培养技术把其优良性状保持下来,选育出新的品种研究的报道。目前,已经在某些品种上得到突破,但由于还有一些客观上的因素,新品种选育还需进一步的努力^[12]。

3.2.4 基因工程育种

利用植物基因工程技术,可以打破物种间的界限,从各种生物中提取有用的基因,通过基因转移改良现有品种,不但可以大大缩短育种周期,而且基因工程具有高效性、专一性等特点,可以对剑麻进行定向改良。随着生物技术水平的不断发展,越来越多的育种专家开始倾力于这方面的研究。基因工程在其它麻类作物上的应用研究,已经有相当多报道。1983年Hepburn等用根癌农杆菌感染亚麻上胚轴得到亚麻肿瘤株系,自此开始了麻类作物基因工程的育种研究。1989年AlanMcHugen等人采用农杆菌介导法将来自Arabidopsis的抗“绿黄隆”(chlorsulfuron)的突变乙酰乳酸合成酶(ALS)基因导入离体的亚麻细胞中,培育出完全能育的抗除草剂“绿黄隆”的转基因亚麻新品种。Zhan等(1990)的研究表明,用携带有Vir-induced tzs基因的根癌农杆菌介导,可使基因转化效率最大化。

Anderson和Lawrence等(1995-1997)成功地将亚麻抗锈病基因L6克隆了出来。1996年湖南农业大学的陈德富等进行了苧麻转基因研究,把编码色氨酸单加氧酶和吲哚乙酸水解酶基因转入苧麻离体叶片中,为进一步进行苧麻基因工程育种打下了基础。中国农科院麻类研究所生物技术研究室近几年与国际黄麻组织(IJO)合作,进行了红麻转基因工程育种的探索,采用农杆菌介导法成功地将抗真菌病害基因(几丁质酶基因与-1,3-葡聚糖酶基因)和抗虫基因(Bt基因)导入红麻子叶细胞,并得到了转基因后代,正在进一步鉴定之中。在剑麻的遗传育种上,还没有相关的报道,但从这些其它麻类的研究情况来看,开辟剑麻基因工程育种的工作,将会给剑麻育种工作带来一次飞跃性的突破^[13]。

4 研究的前景

国内外开展龙舌兰麻育种研究已有70多年的历史,但育成的优良品种不多,进展缓慢。剑麻的主要育种方式是常规的有性杂交,而其生长周期较

长(一般10-15年),一生只开一次花;各品种的花期不一致;花粉贮藏不易等因素给育种工作带来很多的困难。针对这些问题,今后的育种工作更应该把握好以下几点:

4.1 明确剑麻育种与生产关系,确定近远期育种目标

根据现在剑麻生产实践中存在的问题,确定近期和长远的育种目标。剑麻育种目标总的要求是育成具有高产、优质、抗逆性强、皂素含量高等综合性状优良的品种。由于当前生产种植品种H.11648作为唯一当家品种,经几十年使用,其早花、早衰现象愈来愈明显。据剑麻植区的开花调查结果表明,每年剑麻早花占植株开花率的20%以上,而且纤维抽出率有逐年下降的趋势,影响麻园高产稳产。同时,H.11648麻虽然丰产,但不抗斑马纹病,每年高温多雨季节容易发病害流行,造成植麻区麻田早期大量缺株,严重影响剑麻生产的发展。所以我们近期的目标是要找到能够产量和H.11648相近,减少早花、增强抗病力(抗剑麻斑马纹病及剑麻茎腐病)的新品种;或者产量虽然不如H.11648(或产量接近),但相差不远,而在抗病能力或纤维品质方面有明显改进的品种。只有先解决当前面临的问题,才可能在此基础上进一步改进纤维含量和皂素含量及其它性状,这才是我们育种工作的目的。

4.2 积极搜集与引进新种质,加强各个科研单位之间的交流

龙舌兰麻原产地如墨西哥、坦桑尼亚等国拥有丰富的种质资源。世界龙舌兰科植物有21个属670种^[1,14],其中主要的是龙舌兰属257种,但具有重要经济价值的约有50种。龙舌兰麻种质资源中蕴藏着各种性状的遗传基因,是育种工作的基础和重要材料,国外育种成效较显著,主要是有丰富的龙舌兰野生植物和半野生植物的种质资源。因此,积极搜集、发现新种质并进行鉴定、筛选和利用^[15],对育种工作的发展相当重要。我国的剑麻的育种材料。都是从国外引进的,目前保存下来的有4属大约有40多个亚种,基本上都保留在广东和广西几个研究单位种质资源苗圃里。它们分别是龙舌兰属(Agave)的番麻(A.Americana)、金边龙舌兰(A.amertcanal Var marganata Frel)、普通剑麻(A.Sisalana Perr)、灰剑麻(A.fourcroydes Lomaine)、龙舌兰杂种第11648号(A.hybrid No.11648)、篮剑

麻(*A. amemenaio Enanell*)、丝状龙舌兰(*A. filiflora*)、亚洲马盖麻 (*A. cantala Roxb*) 和假菠萝麻 (*A. angustifolia Haw*)等10个种共15个亚种;中美兰属 (*Furcraea*) 的大叶兰 (*F.sp.*) 和毛里求斯麻 (*F. gigantea Vent*)两个种共3个亚种;虎尾兰属 (*Sansevieria*) 的柯克虎尾兰(*S. trifasciata Prain*)和虎尾兰2个亚种;丝兰属(*Yucca*)的丝兰(*Y. filamentosa L.*)、风尾兰(*Y. glomiosa L.*)和千寿兰等 (*Y. aloifolium L.*) 3个亚种^[16]。我国能栽培剑麻的地区,从事这个项目研究的单位并不多,应该加强各个科研单位之间的技术交流和种质资源交流,尽可能的达到信息共享,资源充分利用,有利于加快育种步伐。

4.3 运用现代分子生物技术,提高育种效率

基因工程是在分子生物学和分子遗传学综合发展的基础上,于二十世纪七十年代诞生的一门崭新的生物技术科学。近三十多年来,生物技术研究得到了极其迅速的发展。生物技术在作物育种上的应用,扩展了育种范围,提高了育种的目性和可操作性,使作物品种改良方法现代化和高效化。迄今已获得转基因植株百余种,其中有涉及50多种,近千例转基因植物被批准进入田间试验,有的已进入或正在进入商业开发阶段。目前,一个完整的植物基因工程理论和技术体系已基本建立,已培育出一批优质、高产、抗逆性强的农作物新品种,显示出生物技术在作物育种领域的强大生命力。然而,现在剑麻育种仍以常规育种为主,国内外剑麻新品种绝大多数是常规方法育成。我们要在加强常规育种的同时,加强现代分子生物技术在育种上的运用,通过植株再生体系的研究、基因转化^[17-18]、分子标记辅助育种等方法,为剑麻的遗传育种注入新的活力,快速育成具有高产、优质、抗逆性强及皂素含量高等综合性状优良的品种,从根本上解决当前大面积种植单一品种H.11648,易发生剑麻斑马纹病、茎腐病等潜在危险。在利用常规育种材料(如杂交种子)和方法的基础上充分发挥现代分子生物技术,互相补充,综合利用,才能育成更多更好的剑麻新品种。

参考文献

- 1、林伯达.加速选育龙舌兰麻新良种[J].福建热作科技,1990(1):10-17
- 2、裴超群.龙舌兰科植物资源调查报告[J].广西热作科技,1997(1):15-21
- 3、钟文惠.世界剑麻产销概况及中国剑麻产业的发展前景[J].热带农业工程,2003(3):2-5
- 4、谢恩高,王东桃,周文钊.剑麻选育种工作的回顾与展望[J].中国麻作,1994.16(3):10-12
- 5、蔡东宏.中国剑麻业现状和发展对策[J].广西热作科技,2000(4):20-22
- 6、龚友才,粟建光.麻类作物诱变育种的现状与进展[J].中国麻作,2002,24(4):14-17
- 7、谢恩高.剑麻抗病高产新品种的选育及其探讨[J].中国麻作,1996,18(2):14-17,30
- 8、郭清泉,陈建荣,杨瑞芳等.苕麻叶片愈伤组织诱导与植株再生的研究[J].中国麻作,1998,20(2):1-5
- 9、李道和.剑麻栽培.北京:中国农业出版社[J].1998,75-79
- 10、T.D. Nikam,G.M. Bansude,K.C,Aneesh Kumar,Somatic embryogenesis in sisal Plant Cell Reports Volume 22, Number3 October 2003: 188 - 194
- 11、S.K. Hazra, Sudripta Das, A.K. Das Sisal plant regeneration via organogenesis Plant Cell, Tissue and Organ Culture Volume 70, Number 3 September 2002: 235 - 240
- 12、王泽云,林盛.无刺番麻组织培养快速繁殖种苗的研究[J].热带作物学报, 1994,15(增刊)
- 13、魏岳荣.生物技术在香蕉育种中的应用[J].果树学报,2003,20(5):393-398
- 14、陈叶海.东方龙舌兰麻种质资源圃的建立[J].热带农业科学,2000(5):12-15
- 15、谢恩高.剑麻种质改良与育种[J].中国麻作,1996,(1):11-13
- 16、陈叶海,胡乃盛.我国龙舌兰麻种质资源的研究现状及应用前景[J].福建热作科技, 2002,27(1):42-44
- 17、吕振岳,黄东东,周达民.AFLP标记及在植物中的应用.生物技术, 2001,11(6):40-43
- 18、陈建华,臧巩固,李育君等.植物基因工程研究成果及其在麻类作物育种上的应用前景.中国麻作,2000,22(4):1-4,11