

网络出版时间:2012-12-21 17:30

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20121221.1730.017.html>

高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)种质资源研究进展

陈冰嫻,李继洪,王 阳,李淑杰,胡喜连,李 伟,马英慧,高 鸣,高士杰

(吉林省农业科学院 作物资源研究所,吉林 公主岭 136100)

[摘 要] 高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)是世界上主要的旱粮作物,也是全球 5 亿多人口的主要粮食。文章对高粱的起源与分类、高粱种质资源收集、保存和利用以及遗传多样性研究与核心种质的构建等方面的研究进行了综述,最后对我国高粱种质资源的研究方向进行了展望。

[关键词] 高粱;种质资源;核心种质;遗传多样性

[中图分类号] S514

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2013)01-0067-06

Advances in germplasm resources of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

CHEN Bing-xu, LI Ji-hong, WANG Yang, LI Shu-jie, HU Xi-lian, LI Wei,

MA Ying-hui, GAO Ming, GAO Shi-jie

(Institute of Crop Resources, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling, JiLin 136100, China)

Abstract: Sorghum(*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is an important upland crop and is the staple food of 0.5 billion people in the world. Studies on germplasm resources of sorghum were summarized in this paper, including origins, classification, collection, preservation, researches on genetic diversity and the construction of core germplasms. We provided suggestions for the future studies on sorghum germplasm resources in China.

Key words: sorghum; germplasm resources; core collection; genetic diversity

高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench, $2n = 2x = 20$)属于禾本科(Gramineae)高粱族(Andropogoneae)高粱属(*Sorghum*),是全球重要的旱粮作物之一,在非洲、亚洲、大洋洲和美洲的 105 个国家和地区均有种植,每年大约种植 $4.2 \times 10^7 \text{ hm}^2$,其主产国有美国、尼日利亚、印度、墨西哥、苏丹、中国、澳大利亚和阿根廷^[1]。高粱对世界干旱和半干旱地区的粮食及饲料安全起着举足轻重的作用。目前,全世界面临着能源极度短缺和生态安全双重危机,生物质能源是重要的可再生清洁能源,而高粱的一个

变种——甜高粱被认为是最具潜力的能源植物之一^[2],这引起了人们对高粱研究的高度重视。本文系统阐述了高粱的起源与分类、种质资源的收集与保存情况、核心种质构建与遗传多样性分析的研究进展,期望能为广大高粱研究者提供参考。

1 高粱的起源与分类

1.1 高粱的起源

栽培高粱是从野生高粱经过自然和人工选择进化而来的,而且是较早受到人工选择进化影响的作

[收稿日期] 2012-04-27

[基金项目] 国家高粱产业技术体系建设专项(CARS-06-01-03);吉林省财政厅育种专项(吉财农指[2010]838号-5)

[作者简介] 陈冰嫻(1979—),女,陕西泾阳人,助理研究员,硕士,主要从事高粱种质资源与遗传育种研究。
E-mail: chenbingxu2008@126.com

[通信作者] 高士杰(1956—),男,辽宁铁岭人,研究员,博士,主要从事高粱遗传育种和作物高产理论研究。
E-mail: gsj5678@163.com

物之一^[3]。1882 年,Condolle 首次提出高粱起源于非洲,因为非洲是高粱种变异最多的地方^[4]。根据埃塞俄比亚存在的野生高粱、高粱栽培类型及生态型推断,埃塞俄比亚是高粱首要的起源中心,也是其多样性中心^[5]。

中国高粱农艺性状有别于非洲起源的高粱,有自己独特的表型,因此中国高粱的起源问题一直处于争论之中,归纳起来主要有 2 种看法:一是非洲起源,二是中国本土起源。一些国外学者如原苏联植物学家瓦维洛夫(Vavilov NI)和很多中国学者都支持后者^[6-8]。但是,Li 等^[9]于 2009 年利用叶绿体基因组 SSR 标记分析了 185 个中国高粱地方品种和 70 个分别来自非洲、东亚、北美洲代表着不同类型的国外高粱种质资源的遗传多样性,聚类分析表明,中国高粱与国外高粱不能清楚地区分开来。这是首次从分子水平研究中国高粱的起源,初步证实了中国高粱不是本土起源而是非洲起源。2010 年 Zhang 等^[10]利用核基因组 SSR 标记分析了同样的材料,研究结果与之前的结果一致,支持中国高粱非洲起源学说。

1.2 高粱的分类

1.2.1 植物学分类 当前最实用的高粱分类是 Harlan 和 de Wet 的简易分类。根据高粱粒形、颖壳和穗的形态学特征,可将高粱分成了 5 个基本型和 10 个中间型,5 个基本型分别是双色族(Bicolor)、顶尖族(Caudatum)、都拉族(Durra)、几内亚族(Guinea)和卡佛尔族(Kafir),10 个中间型是 5 个基本型的任何 2 个之间的类型^[11]。

1.2.2 按地理来源分类 高粱按地理来源分为中国高粱(Kaoliang)、印度高粱(Shallu)、南非高粱(Kafir)、北非高粱(Durras)、西非高粱(Milo)、中非高粱(Feterita)、亨加利高粱(Hegari)^[12]。

1.2.3 按用途分类 高粱按用途可分为 4 类,分别是粒用高粱(Grain sorghum)、甜高粱(Sweet sorghum)、草高粱(Grass sorghum)和帚高粱(Broom sorghum)^[13]。这 4 类高粱没有生物学和分类学上的界限,它们都属于同一个种 *S. bicolor*,它们之间可以进行正常的杂交,不存在生殖障碍^[14-15]。粒用高粱即籽粒用高粱。目前,粒用高粱在美洲、欧洲主要用于畜禽饲料,在非洲和南亚部分国家主要用于口粮消费和制作传统饮料^[16],而在我国其主要用作酿造白酒、食用醋的原料,我国著名的茅台酒、五粮液、汾酒、泸州老窖等均是粒用高粱为主要原料。甜高粱是高粱的一个变种,最早使用其茎秆中的糖

汁生产糖浆和结晶糖;近年来,由于甜高粱是一种理想的生物质能源作物而受到全世界的广泛重视。草高粱是苏丹草(*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf)与粒用高粱的杂交种,主要用于制作畜禽的青贮饲料^[17]。帚高粱主要用于编制清洁用具和工艺品。

1.2.4 甜高粱的分类学地位 随着甜高粱作为能源植物研究的兴起,研究者对甜高粱的分类学地位重新进行了整理。甜高粱属于禾本科(Gramineae)高粱族(Andropogoneae)高粱属(*Sorghum*)高粱种(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)亚种(*Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. *bicolor*)^[18]。

Ritter 等^[14]在利用 AFLP 标记研究甜高粱与粒用高粱的遗传关系时发现,所研究的 31 个甜高粱中有 17 个属于卡佛尔族(Kafir),其选用的甜高粱品系主要来自南非。因此,推测甜高粱散布于粒用高粱所分的 5 个基本型中,且是多元起源。

2 高粱种质资源的收集与保存及研究概况

2.1 高粱种质资源收集与保存

植物种质资源是新品种选育的物质基础,是新世纪全人类粮食安全的保障,在植物遗传改良及生产发展中起着重要作用。截至 2006 年,全世界收集和保存的高粱种质资源有 168 500 份^[19],分别具有粒用、饲用、糖用、草用、能源用、工艺用等多种用途,而且还具有各种优良的农艺性状、生物学性状和抗逆性等特性,表现出丰富的遗传多样性,为高粱品种改良提供了宝贵的种质资源。位于印度南部城市海德拉巴的国际半干旱热带作物研究所(ICRISAT),作为国际粮农组织的八大机构之一,截至 2012-03 保存有来自全球 94 个国家的 37 904 份高粱种质^[20],该机构对这些高粱种质资源进行了鉴定、保存和有效的管理与研究利用。美国国家植物种质系统(NPGS)收集和保存了 42 221 份高粱种质资源,其中 2 180 份为甜高粱资源^[19]。埃塞俄比亚生物多样性保存与研究机构(IBCR)截至 2000 年收集和保存了 8 000 份高粱资源^[5]。

我国自从 1951 年开展种质资源的收集和整理工作以来,先后进行了 4 次全国范围的高粱品种资源的征集、整理工作,期间许多高粱科研工作者付出了巨大的艰辛,使得我国高粱品种资源的类型更丰富、保存数量更可观。截至 2000 年编入《全国高粱品种资源目录》的高粱品种资源有 18 004 份,居世界第 3 位,其中国内高粱种质资源有 13 247 份,国

外引进的资源共有 4 757 份^[21-24];甜高粱种质资源 1 536 份,其中国内种质资源 384 份,从国外引入的种质资源 1 152 份^[25]。中国农业科学院对大部分种质资源完成了主要产量性状、品质性状、抗逆性等重

要农艺性状的鉴定,根据这些种质资源的评价数据,按照表 1 建立了高粱优异种质资源目录,被确定为优异种质资源的高粱品种(系)有 2 677 份,为高粱品种改良和亲本选育提供了参考依据。

表 1 我国高粱优异种质资源农艺性状的评价标准

Table 1 Evaluation criteria for agronomic characters of superior germplasm in sorghum

性状 Traits	标准 Standards	性状 Traits	标准 Standards
特矮秆 Special dwarf	株高≤100 cm Plant height≤100 cm	角质率 Vitreousness	≥85%
矮秆 Dwarf	株高≤150 cm Plant height≤150 cm	单宁含量 Tannin content	≤0.1%
单穗粒质量 Grain weight per spike	≥100 g	抗高粱丝黑穗病 Resistance sorghum head smut	0 级 Nero Grade
特大粒 Special big kernel	千粒质量≥35 g 1 000-grain weight≥35 g	抗高粱蚜虫 Resistance sorghum aphids	高抗 Highly resistance
特早熟 Special early maturing	生育期≤100 d growth period≤100 d	苗期抗旱 Seedling stage resistance drought	1 级 One grade
蛋白质含量 Protein content	≥14%	全生育期耐瘠 Whole growth period on Barren-tolerance	1 级 One grade

2.2 高粱种质资源研究概况

种质资源的鉴定与评价是育种研究工作的基础。我国首次大批量的高粱种质资源抗病性鉴定是在“七五”期间进行的^[26],历时 5 年,完成了 9 000 份高粱种质资源的抗高粱丝黑穗病鉴定、3 500 份资源的抗高粱蚜虫鉴定及 3 500 份资源的抗玉米螟鉴定。我国学者张桂香等^[27]在对收集的国内外 820 份高粱种质资源进行详细分析和鉴定之后,筛选出一批矮秆、高穗粒质量、大粒、抗病虫及抗逆性强的资源,并且为高粱育种者提供了这些资源在利用时的特性。中国农业科学院原作物品种资源研究所对“十五”期间存入国家种质库的 532 份高粱种质资源的粗蛋白、粗淀粉、赖氨酸、单宁含量等 4 个主要品质性状进行了鉴定,筛选出了一批多项、双项或单项品质优良的高粱种质资源^[28]。我国学者徐秀德等^[29]对所收集高粱资源的抗病虫性状进行了创新与利用研究,通过目的抗性基因转移及优良基因聚合创造,筛选出了抗高粱丝黑穗病菌 2 号和 3 号生理小种、抗蚜虫、抗靶斑病的新资源,并且在育种中加以应用,选育出了新的抗性恢复系、不育系和杂交组合。吉林省农业科学院利用收集的高粱优异资源,根据穗长的遗传特点,培育出了长穗型优良恢复系^[30-31]和新型不育系^[32],创制出了新型种质,其在我国春播早熟区高粱育种中发挥了重大作用。

3 高粱种质资源遗传多样性分析和核心种质构建

3.1 遗传多样性分析

3.1.1 高粱种质资源农艺性状的遗传多样性

Ayana 等^[33]分析了来自埃塞俄比亚和厄立特里亚的 415 份高粱地方品种的表型多样性,发现在该地区高粱有高度的表型变异。Appa 等^[34]研究了保存在 ICRISAT 的 2 343 份印度高粱地方品种,发现也存在高度的遗传变异。Li 等^[35]研究了保存在我国国家基因库的 10 386 份中国高粱地方品种的农艺性状,也发现存在高度的遗传多样性。

3.1.2 用 DNA 分子标记分析高粱种质资源的遗传多样性 Djè 等^[36]利用 SSR 标记分析了来自世界各地分别代表 5 个不同族的 25 个栽培高粱种质资源的遗传多样性,发现双色族、顶尖族、都拉族、几内亚族和卡佛尔族 5 个族的多态性位点指数分别为 64.0,72.0,56.0,80.0,68.0,东非、西非、南非和亚洲种质的多态性位点指数分别是 88.6,72.0,57.5,50.0,25 份种质资源总的多态性位点是 68.0,结果显示,不同分类、不同地理来源的高粱种质资源存在着不同的多样性,其中来自东非的双色族高粱资源存在着最多的遗传变异,应该重点收集这类资源。Manzelli 等^[37]利用 5 个 SSR 标记分析了索马里西北地区不同区域的 9 个高粱地方品种的遗传多样性,结果表明,种质之间存在着较高水平的变异,对索马里西北地区贫瘠的土地有较强的适应性。

Li 等^[9]利用叶绿体基因组 SSR 标记分析了 185 个中国高粱地方品种的遗传多样性,结果表明,中国高粱的等位基因和连锁群具有较低的遗传多样性。Nemera 等^[38]分别用 AFLP、SSR 标记和形态学特征评价了埃塞俄比亚东部高原高粱种质资源多样性,结果发现该地区高粱均表现出了较高的遗传变异性。Zhang 等^[10]以 69 个国外高粱品种为对

照,利用 32 个高粱核基因组 SSR 标记研究了 184 份中国高粱地方品种的遗传多样性,认为中国高粱的平均基因多样性为 0.629,而东非、南非、北美、南亚高粱种质的平均基因多样性分别是 0.732,0.609,0.707,0.712,表明中国高粱的遗传多样性明显低于东非、北美、南亚高粱,与南非高粱相当。中国高粱具有较低的遗传多样性的结论与前人研究结果一致^[39-40]。此外,还有研究指出,吉林省的高粱种质遗传多样性显著高于我国其他省份^[10]。

在抗性种质资源方面,Kamala 等^[41]从保存在 ICRISAT 的 130 份抗霜霉病高粱种质资源中随机选择了 36 份(分别来自东非、西非、中非、南非、东亚和北美不同地区,属于顶尖族、都拉族、几内亚族、都拉-顶尖族、几内亚-顶尖族、顶尖-双色族、几内亚-双色族和都拉-双色族),采用 SSR 标记对其遗传多样性进行了评价,结果表明,10 个 SSR 位点均表现出高水平的多态性,其平均基因多样性为 0.81,并且不同地区的高粱种质资源比不同族有更多的变异。

在甜高粱方面,Wang 等^[15]利用 SSR 标记研究了 96 份美国历史上重要的甜高粱种质资源的遗传多样性与群体结构,结果显示,平均多态信息含量为 0.54,平均遗传多样性指数为 0.58。在国内,赵香娜等^[25]研究了国内外 206 份甜高粱种质资源的 16 个农艺性状的遗传多样性,结果表明,各性状多样数指数均较大,平均多样数指数为 1.937 1,出汁率多样性指数最小为 1.595 4,株高多样性指数最大为 2.100 6,说明 206 份甜高粱资源具有丰富的遗传多样性。

3.2 核心种质构建

随着种质资源的不断收集和交换,造成了各资源保存机构对数目众多的资源难以进行描述、评价、保存和合理利用^[42]。自 1984 年 Frankel 首次提出了“核心种质(Core collection)”的概念以来,构建核心种质成为各资源管理机构研究的重要课题。核心种质不仅可以最大范围地保存作物种质遗传多样性,而且可明显提高资源利用率。在高粱种质资源方面,Grenier 等^[43]采用对数取样策略从 2 247 份种质资源中选取了 225 份构建了核心种质库,其入选比例为 10%。Folkertsma 等^[44]从这个核心种质资源中选了 100 份,应用 SSR 标记对其遗传多样性进行了分析。Dahlberg 等^[45]利用保存在美国 NPGS 的高粱种质构建了高粱核心种质库,其分别从全球 77 个国家按 10%的入选比例进行随机选择,核心种质库共包含 3 011 份种质资源。日本学者 Tariq

等^[46]从 320 份高粱种质资源基础群体中根据 SSR 数据选择了 107 份构建了一个核心种质,该核心种质与基础群体在多态性、基因多样性、相似系数方面没有显著差异。而在我国,目前还没有关于构建高粱核心种质库的相关报道。

4 展 望

高粱在我国种植历史悠久,但是近年来我国高粱研究却进展缓慢,尤其在遗传多样性研究、核心种质构建、分子遗传学等基础研究方面未有较大进展,在能源植物甜高粱研究方面存在较多问题^[18]。国家高粱产业技术体系的启动与运行及目前国家对高粱研究的大力支持,为我国高粱产业的发展带来了良好契机,希望高粱工作者把握机会,针对高粱生产和基础研究中存在的问题联合攻关,推动我国高粱产业发展。

4.1 加强中国高粱起源与分类研究

中国高粱的起源问题已经争论了百余年,但仍旧没有明确的答案。当代生物技术高度发达,希望能借助 SSR、SNP 等生物技术手段对中国高粱与非洲起源的高粱类型进行比较,对中国高粱起源与分类进行系统研究。

4.2 加强我国高粱种质资源遗传多样性和核心种质研究

目前,我国收集和保存有大量的高粱种质资源,但对其遗传多样性研究较少,其中能够有效利用的资源更少,应该根据育种方向的需要对高粱资源的多样性进行深入研究,比如进行总体资源和目标性状的多样性分析。同时,研究取样策略,构建不同地区或目标性状的核心种质库,比如春播早熟区核心种质、高淀粉核心种质,以提高高粱资源的利用效率。

4.3 加强我国高粱现有资源亲缘关系的研究

高粱因为来源地不同而存在多种类型。多年来,我国各育种单位从非洲各国、美国、印度等国家引入了较多的高粱种质,它们与中国高粱资源杂交可以产生强大的杂种优势。但是经过多年的杂交,目前我国正在使用的大部分高粱资源亲缘关系不明确,为高粱杂种优势利用带来了较多的不便。因此,研究人员应该借助分子标记技术对我国高粱资源的亲缘关系进行研究,以便为高粱育种提供有效的帮助。

4.4 加强分子标记在高粱研究上的应用

分子标记技术在我国高粱研究中的应用落后于水稻、玉米等其他农作物,所检索的关于高粱分子标记技术的应用大部分是国外的研究结果。我国最近

一篇研究报告是 2011 年中国科学院植物研究所利用 SNP 标记技术对 2 个甜高粱和 1 个中国粒用高粱品系基因组进行测序,比较分析了甜高粱与粒用高粱基因组序列与结构的差异^[47]。随着生物技术的继续发展,分子标记技术将会成为农作物研究更有效的工具,高粱研究者应该最大限度地将其应用于高粱研究中,期望最终实现高粱资源的有效利用、优异基因的发掘和分子标记辅助选择育种。

4.5 加强高粱作为抗旱模式作物的研究

高粱是公认的抗旱性较强的栽培作物,但是关于高粱抗旱机理的系统性研究不够。在农业水资源日趋紧缺的情况下,更应该加强高粱抗旱性的生理生化机制、分子遗传等方面的研究,这不仅可以使高粱本身得到改良,而且利用其本身的高抗逆特性改良其他作物也将成为可能^[48]。

[参考文献]

[1] ICRISAT. Mandate crops; Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) [EB/OL]. [2012-04-20]. <http://www.icrisat.org/crop-sorghum.htm>

[2] Vermerris W. Survey of genomics approaches to improve bioenergy traits in maize, sorghum and sugarcane [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2011, 53: 105-119.

[3] 官华忠, 祁建民, 周元昌, 等. 浅析中国高粱的起源 [J]. 种子, 2005, 24(4): 76-79.

Guan H Z, Qi J M, Zhou Y C, et al. Analysis on origin of Chinese sorghum [J]. Seed, 2005, 24(4): 76-79. (in Chinese)

[4] 卢庆善. 高粱学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.

Lu Q S. Sorghum [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999. (in Chinese)

[5] Mekbib F. Genetic erosion of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the centre of diversity, Ethiopia [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2008, 55: 351-364.

[6] 朱绍新. 东北地区高粱栽培历史考证 [J]. 国外农学: 杂粮作物, 1995(5): 23-27.

Zhu S X. Textual research for cultivation history of sorghum in the area of Northeast [J]. Rain Fed Crops, 1995(5): 23-27. (in Chinese)

[7] 石玉学, 曹嘉颖. 中国高粱起源初探 [J]. 辽宁农业科学, 1995(4): 42-45.

Shi Y X, Cao J Y. Origin of Chinese sorghum [J]. Liaoning Agricultural Sciences, 1995(4): 42-45. (in Chinese)

[8] 高士杰, 刘晓辉. 中国高粱(kaoliang)的特点及利用 [J]. 国外农学: 杂粮作物, 1996(4): 13-14.

Gao S J, Liu X H. Characters and utilization of Kaoliang [J]. Rain Fed Crops, 1996(4): 13-14. (in Chinese)

[9] Li R Y, Zhang H, Zhou X C, et al. Genetic diversity in Chinese sorghum landraces revealed by chloroplast simple sequence repeats [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2010, 57: 1-

15.

[10] Zhang H, Wang J C, Wang D J, et al. Assessment of genetic diversity in Chinese sorghum landraces using SSR markers as compared with foreign accessions [J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(2): 224-234.

[11] Harlan J R, de Wet J M J. A simplified classification of cultivated sorghum [J]. Crop Science, 1972, 12: 172-176.

[12] 中国农业百科全书总编辑委员会. 中国农业百科全书: 农作物卷 [M]. 北京: 农业出版社, 1991

China Agriculture Encyclopedia Chief Editor. China agriculture encyclopedia: Crop volume [M]. Beijing: Agriculture Press, 1991. (in Chinese)

[13] 高士杰, 陈冰嫻. 旱地农业的主力军: 高粱种植管理综合知识 [M]. 北京: 台海出版社, 2011.

Gao S J, Chen B X. Main fore of dry land agriculture: Growing management comprehensive knowledge in sorghum [M]. Beijing: Taihai Press, 2011. (in Chinese)

[14] Ritter K B, McIntyre C L, Godwin I D, et al. An assessment of the genetic relation between sweet and grain sorghum within *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* (L.) Moench using AFLP [J]. Euphytica, 2007, 157: 161-176.

[15] Wang M L, Zhu C S, Barkley N A, et al. Genetic diversity and population structure analysis of accessions in the US historic sweet sorghum collection [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 9: 1155-1165.

[16] 陈冰嫻, 李继洪, 高士杰. 尼日利亚高粱生产、育种研究现状 [J]. 世界农业, 2010(4): 10-12.

Chen B X, Li J H, Gao S J. Research status on production and breeding of sorghum in Nigeria [J]. World Agriculture, 2010(4): 10-12. (in Chinese)

[17] 高士杰. 关于高粱与苏丹草间杂交种命名问题商榷 [J]. 国外农学: 杂粮作物, 2005, 25(5): 304.

Gao S J. Discussion on denomination for hybrid between sorghum and sudan grass [J]. Rain Fed Crops, 2005, 25(5): 304. (in Chinese)

[18] 刘公社, 周庆源, 宋松泉, 等. 能源植物甜高粱种质资源和分子生物学研究进展 [J]. 植物学报, 2009, 44(3): 253-261.

Liu G S, Zhou Q Y, Song S Q, et al. Research advances into germplasm resources and molecular biology of the energy plant sweet sorghum [J]. Chinese Bulletin Botany, 2009, 44(3): 253-261. (in Chinese)

[19] 卢庆善, 邹剑秋, 朱 凯, 等. 高粱种质资源的多样性和利用 [J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(6): 798-801.

Lu Q S, Zou J Q, Zhu K, et al. Diversity and utilization of sorghum germplasm [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(6): 798-801. (in Chinese)

[20] ICRISAT. Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] current status [EB/OL]. [2012-04-20]. <http://www.icrisat.org/what-we-do/crops/sorghum/Project1/pfirst.asp>

[21] 中国农业科学院作物品种资源研究所. 中国高粱品种资源目录: 1996—2000 [M]. 北京: 农业出版社, 1984.

Institute of Crop Germplasm Resources, Chinese Academy of

- Agricultural Sciences. National sorghum varieties resources directory;1996—2000 [M]. Beijing:China Agriculture Press, 1984. (in Chinese)
- [22] 中国农业科学院作物品种资源研究所. 中国高粱品种资源目录;1982—1989 [M]. 北京:农业出版社,1992.
Institute of Crop Germplasm Resources,Chinese Academy of Agricultural Sciences. National sorghum varieties resources directory;1982—1989 [M]. Beijing:China Agriculture Press, 1992. (in Chinese)
- [23] 中国农业科学院作物品种资源研究所. 全国高粱品种资源目录;1991—1995 [M]. 北京:中国农业出版社,1998.
Institute of Crop Germplasm Resources,Chinese Academy of Agricultural Sciences. National sorghum varieties resource directory;1991—1995 [M]. Beijing:China Agriculture Press, 1998. (in Chinese)
- [24] 中国农业科学院作物品种资源研究所. 全国高粱品种资源目录;1996—2000 [M]. 北京:农业出版社,2000.
Institute of Crop Germplasm Resources,Chinese Academy of Agricultural Sciences. National sorghum varieties resource directory;1996—2000 [M]. Beijing:China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [25] 赵香娜,李桂英,刘 洋,等. 国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析 [J]. 植物遗传资源学报,2008,9(3):302-307.
Zhao X N,Li G Y,Liu Y,et al. Genetic diversity and correlation analysis of main agronomic characters in domestic and foreign sweet sorghum germplasm [J]. Journal of Plant Genetic Resources,2008,9(3):302-307. (in Chinese)
- [26] 王富德,何富刚. 中国高粱种质资源抗病虫鉴定研究 [J]. 辽宁农业科学,1993(2):1-4.
Wang F D,He F G. Evaluation of Chinese sorghum germplasm resistance to diseases and insects [J]. Liaoning Agricultural Sciences,1993(2):1-4. (in Chinese)
- [27] 张桂香,高儒萍,宋旭东. 国内外优异高粱种质资源的综合评价 [J]. 国外农学:杂粮作物,2001,21(5):18-20.
Zhang G X,Gao R P,Song X D. Comprehensive evaluation of elite sorghum germplasms at home and abroad [J]. Rain Fed Crops,2001,21(5):18-20. (in Chinese)
- [28] 朱志华,李为喜,刘 方,等. 高粱种质资源主要品质性状鉴定与评价 [J]. 植物遗传资源学报,2003,4(4):326-330.
Zhu Z H,Li W X,Liu F,et al. Identification and evaluation of quality traits in sorghum germplasm [J]. Journal of Plant Genetic Resources,2003,4(4):326-330. (in Chinese)
- [29] 徐秀德,董怀玉,姜 钰,等. 高粱抗病虫资源创新与利用研究 [J]. 植物遗传资源学报,2004,5(4):360-363.
Xu X D,Dong H Y,Jiang Y,et al. On the development and utilization of sorghum germplasm with disease and insect resistance [J]. Journal of Plant Genetic Resources,2004,5(4):360-363. (in Chinese)
- [30] 高士杰,李继洪,李 伟. 高粱优良恢复系吉 R105 的选育与利用 [J]. 种子,2009,28(5):107-108
Gao S J,Li J H,Li W. Breeding and utilization of grain sorghum excellent restorer line JiR105 [J]. Seed,2009,28(5):107-108. (in Chinese)
- [31] 陈冰嫒,李继洪,高士杰. 高粱长穗型恢复系吉 R107 的选育与应用 [J]. 现代农业科技,2011(24):107-108.
Chen B X,Li J H,Gao S J. Breeding and utilization of sorghum long head type restorer line JiR107 [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology,2011(24):107-108. (in Chinese)
- [32] 李继洪,陈冰嫒,高士杰. 高粱不育系吉 2055A 特征特性与应用潜力分析 [J]. 安徽农业科学,2011,39(28):17192-17194.
Li J H,Chen B X,Gao S J. Characteristics and application potential analysis of sterile line sorghum Ji 2055A [J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences,2011,39(28):17192-17194. (in Chinese)
- [33] Ayana A,Bekele E. Multivariate analysis of morphological variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from Ethiopia and Eritrea [J]. Genetic Resources and Crop Evolution,1999,46:273-284.
- [34] Appa R S,Prasada Rao K E,Mengesha M H,et al. Morphological diversity in sorghum germplasm from India [J]. Genetic Resources and Crop Evolution,1996,43:559-567.
- [35] Li Y,Li C. Phenotypic diversity of sorghum landraces [C]. China International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet,1997:659-668.
- [36] Djè Y,Heuertz M,Lefèbvre C,et al. Assessment of genetic diversity within and among germplasm accessions in cultivated sorghum using microsatellite markers [J]. Theoretical and Applied Genetics,2000,100:918-925.
- [37] Manzelli M,Pileri L,Lacerenza N,et al. Genetic diversity assessment in Somali sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) accessions using microsatellite markers [J]. Biodiversity and Conservation,2007,16:1715-1730.
- [38] Nemera G,Maryke T L,Chris D V. Genetic diversity analysis in sorghum germplasm as estimated by AFLP,SSR and morpho-agronomical markers [J]. Biodiversity and Conservation,2006,15:3251-3265.
- [39] de Oliveira A C,Richter T,Bennetzen J L. Regional and racial specificities in sorghum germplasm assessed with DNA markers [J]. Genome,1996,39:579-587.
- [40] Deu M,Rattunde F,Chanterreau J. A global view of genetic diversity in cultivated sorghum using a core collection [J]. Genome,2006,49:168-280.
- [41] Kamala V,Bramel P J,Sivaramakrishnan S,et al. Genetic and phenotypic diversity in downy-mildew-resistant sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm [J]. Genetic Resources and Crop Evolution,2006,53:1243-1253.
- [42] 张恩来,张宗文,王天宇,等. 构建我国燕麦核心种质的取样策略研究 [J]. 植物遗传资源学报,2008,9(2):151-156.
Zhang E L,Zhang Z W,Wang T Y,et al. Studies on sampling strategies to develop core collection of hinese Oat germplasm [J]. Journal of Plant Genetic Resources,2008,9(2):151-156. (in Chinese)