

内蒙古糜黍资源DNA分子身份证的构建

冯智尊¹, 辛旭霞¹, 曹越¹, 郭娟¹, 王晓丹¹, 曹晓宁², Santra Dipak K³,
陈凌², 乔治军², 王瑞云^{1,2}

(¹山西农业大学农学院, 太谷 030801; ²山西农业大学农业基因资源研究中心/农业农村部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室/
杂粮种质资源发掘与遗传改良山西省重点实验室, 太原 030031; ³内布拉斯加大学林肯分校农艺系小宗粮豆研究与推广中心,
美国内布拉斯加州斯科茨布拉夫 69361)

摘要: 糜黍 (*Panicum miliaceum* L.) 是一种品种资源多样的古老作物, 采用荧光 SSR 标记, 对糜黍资源进行数字化的管理与分类, 可将众多资源合理高效应用。本研究以 258 份内蒙古糜黍资源为材料, 基于本课题组前期开发的 85 个常规 SSR 标记, 经多次扩增筛选、优化、加工 (引物 5' 端添加荧光基团) 获得 12 个荧光 SSR 核心标记。利用 MapChart 2.32 绘制标记的染色体定位图, 利用 ID Analysis 4.0 检测标记对材料的区分度, 用 PowerMarker 3.25 和 PopGen 1.32 进行遗传多样性分析, 用 MEGA 11.0.10 和 NTSYSpc2.11a 分别绘制聚类图和主成分分析图, 最终应用草料二维码生成器构建材料的 DNA 分子身份证。遗传多样性分析发现, 利用 7 个标记扩增 258 份材料, 共有 123 个等位基因, 平均每个标记有 17.5714 个; 有效等位基因数、Shannon 多样性指数、观测杂合度、期望观测杂合度、Nei's 基因多样性指数和多态性信息含量均值分别为 7.4622、2.2270、0.8021、0.8372、0.8353 和 0.8994。将毛细管电泳结果以特定方式进行编码处理, 最终仅用 7 个荧光标记 (RYW6、RYW8、RYW37、RYW40、RYW67、RYW124 和 RYW125) 组合在一起生成全部材料的字符串和二维码 DNA 分子身份证, 为内蒙古糜黍种质资源的分类管理及快速鉴定提供了分子检测工具和理论依据。

关键词: 糜黍; 内蒙古; 荧光 SSR 标记; 毛细管电泳; 分子身份证

Construction of DNA Molecular Identity Card of Broomcorn Millet Resources in Inner Mongolia

FENG Zhizun¹, XIN Xuxia¹, CAO Yue¹, GUO Juan¹, WANG Xiaodan¹, CAO Xiaoning², SANTRA Dipak K³,
CHEN Ling², QIAO Zhijun², WANG Ruiyun^{1,2}

(¹College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801; ²Center for Agricultural Genetic Resources Research, Shanxi Agricultural University/Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement on Loess Plateau, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Shanxi Key Laboratory of Genetic Resources and Genetic Improvement of Minor Crops, Taiyuan 030031; ³Panhandle Research & Extension Center, Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska-Lincoln, Scottsbluff 69361, Nebraska, USA)

Abstract: Broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) is a diverse and ancient crop with rich germplasm resources. The use of fluorescent SSR markers enables the digital management and classification of these

收稿日期: 2024-04-03 网络出版日期: 2024-10-08

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240403002>

第一作者研究方向为种质创新与遗传工程, E-mail: f164138146@163.com

通信作者: 王瑞云, 研究方向为糜子分子育种、种质创新与遗传工程, E-mail: wry925@126.com

乔治军, 研究方向为旱作栽培与作物生理、种质资源创新与利用, E-mail: nkypzs@126.com

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-06-14.5-A16); 山西省现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (2024CYJSTX03-12); 山西省重点研发项目 (2022ZDYF110); 山西省“1331”工程—作物学一流学科建设项目; 山西农业大学农学院研究生教育改革与质量提升工程项目 (2023YCX33, 2023YCX48, 2023YCX45, 2023YDT05)

Foundation projects: National Special Fund for Construction of Modern Agricultural Industrial Technology System (CARS-06-14.5-A16); The Special Fund for Construction of Modern Agricultural Industrial Technology System of Shanxi Province (2023CYJSTX03-12); The Key Research & Development Project of Shanxi Province (2022ZDYF110); Shanxi “1331” Project Crop Science First-Class Discipline Construction Project; Graduate Education Reform and Quality Improvement Project of College of Agronomy, Shanxi Agricultural University (2023YCX33, 2023YCX48, 2023YCX45, 2023YDT05)

resources, facilitating their rational and efficient utilization. In this study, 258 broomcorn millet accessions from Inner Mongolia, China, were used to develop 12 fluorescent SSR markers, based on 85 pairs of conventional SSR markers previously developed by our research group, through multiple rounds of amplification, selection, optimization and modification (adding fluorescent labels to the 5'-end of the primers). MapChart 2.32 was used to plot the chromosome location of these markers, ID Analysis 4.0 to assess the discriminating power of the markers, PowerMarker 3.25 and PopGen 1.32 for genetic diversity analysis, MEGA 11.0.10 for constructing the cluster diagram, and NTSYSpc2.11a for principal component analysis. A DNA molecular ID was created for the genotypes using a QR code generator. Genetic diversity analysis showed that there were 123 alleles in 258 materials amplified by 7 pairs of markers, with an average of 17.5714 alleles per marker. The mean values of effective alleles, Shannon diversity index, Observed heterozygosity, expected heterozygosity, Nei's gene diversity index and Polymorphism information content were 7.4622, 2.2270, 0.8021, 0.8372, 0.8353, and 0.8994. The results of capillary electrophoresis were encoded in a specific way, and only 7 pairs of fluorescent labels (RYW6, RYW8, RYW37, RYW40, RYW67, RYW124 and RYW125) were used to generate 258 strings and two-dimensional code DNA molecular identity cards of Inner Mongolia millet resources. This approach provided a molecular detection tool and theoretical basis for the classification management and rapid identification of the germplasm resources of Inner Mongolia broomcorn millet germplasm resources.

Key words: broomcorn millet; Inner Mongolia; fluorescent SSR markers; capillary electrophoresis; molecular identity card

糜黍(*Panicum miliaceum* L.)是起源于中国的古老粟类,又称黍稷、黍、稷和糜子,脱壳后称黄米^[1],属于禾本科黍属一年生草本,其生育期短(约为60~90 d),能适应多种逆境(生物和非生物)胁迫,水热资源利用高效,常作为自然灾害的补救作物以及盐碱地、开荒沙漠的先锋作物^[2-5]。目前,全球糜黍种植面积有550~600万公顷,主要分布于亚欧地区,拥有种质资源2万余份,中国有1万余份^[6]。内蒙古自治区自新石器时代以来就有种植糜黍的历史,迄今已从10个市的多处考古遗址中发掘出炭化籽粒遗存,包括但不限于以下报道,兴安盟两家子堡址25粒^[7],锡林郭勒盟西关厢遗址164粒^[8];通辽市三家子^[9]、小奈林稿^[10]和哈民忙哈遗址^[11]分别有1、10和615粒;赤峰市的下田家营子遗址^[12]、巴彦塔拉遗址^[13]、小塘山遗址^[14]、热水汤遗址^[15]和二道井子遗址^[16]分别有20、205、95、35和41121粒。内蒙古自治区属于北方春播区,糜黍播种面积(718666.67 hm²)曾列全国首位^[17]。糜黍是该区主要的杂粮作物,是蒙古族喜食的炒米原料,小日期(种植面积小,生活周期短)糜黍也是重要的救灾作物。面对丰富的糜黍资源,需要从其遗传背景入手,才能实现资源的合理高效应用。因此,构建准确高效的分类鉴定体系是亟待解决的挑战^[18-24]。

SSR分子标记广泛存在于多数作物的基因序列中,就糜黍资源而言,SSR已成为分析其遗传多样性

的常用工具^[25]。Cho等^[26]通过构建糜黍基因组DNA的基因文库,首次开发出25个SSR标记,分析了50份材料的遗传差异。Hunt等^[27]基于Cho等^[26]开发的特异性SSR分子标记,利用16个糜黍特异SSR对来自中国、俄罗斯、土耳其和巴基斯坦等欧亚大陆的98份资源进行遗传多样性分析,将其划归为6个类群。Hu等^[28]最早利用种间SSR标记分析了我国糜黍的遗传差异特性。刘笑瑜^[29]利用筛选出的85个高基元SSR,对来自我国6大糜黍生态区15个省区的96份资源进行遗传差异分析,发现糜黍品种间差异由糜黍自身遗传特性和环境差异引起。DNA条形码由加拿大学者于2003年首次提出,利用生物体DNA中一段保守序列对物种进行准确高效鉴定。DNA分子身份证通过提取DNA遗传信息、加入相关的品种特性信息,建立分辨不同生物的有效凭证,可对资源进行数字化信息管理^[6,30]。赵海娟等^[31]以杏(*Prunus armeniaca* L.)为材料,利用12个李属(*Prunus* L.)多态性SSR,构建了50份中国杏资源的分子身份证,各材料的遗传分子身份证具有唯一性、易读性,可以精确区分种质资源。安苗等^[32]以52个马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)品种(系)为材料,依据最少引物区分最多种质的原则,利用C59、S25、C33和S151共4对引物组合区分全部供试品种,构建了基于SSR的数字化指纹图谱及分子身份证。王宇卓等^[33]发现20个核心SSR可区

分 272 份糜黍材料, 构建糜黍分子身份证。陈小红等^[34]利用 30 个核心 SSR 检测 130 份糜黍, 发现 17 个 SSR 可区分全部材料, 构建了材料的分子身份证。丁艺冰等^[35]利用 8 个 SSR 区分了 190 份东北春播区糜黍核心种质, 生成了东北糜黍核心种质的分子身份证。传统的聚丙烯酰胺凝胶电泳前期需要制作凝胶, 后期需要染胶, 操作繁琐, 难以准确读取电泳片段大小, 特别是对于多位点、差异小的片段, 准确性会大幅降低。荧光标记毛细管电泳不仅省去制胶、染胶的操作, 省时省力, 还实现了数据自动化处理, 降低人为误差, 能准确给出扩增片段大小, 不同批次的反应数据也可以统一处理; 并可以进行样品和位点高通量鉴定^[36-37]。郑德波等^[38]采用荧光 SSR 毛细管电泳, 对广西及其周边不同生态环境的 25 份天门冬 [*Asparagus cochinchinensis* (Lour.) Merr.] 材料进行了遗传多样性分析, 结果发现荧光 SSR 分子标记毛细管电泳技术适合分析天门冬的遗传多样性, 广西天门冬遗传多样性丰富。唐玉娟等^[39]利用荧光 SSR 标记检测 145 份杧果 (*Mangifera indica* L.) 地方品种、育成品种及其近缘野生种的遗传差异和分子身份证构建, 结果发现在杧果种质鉴定上荧光 SSR 标记检测比 SSR 聚丙烯酰胺凝胶电泳检测技术更具优势。王瑞云等^[40]利用 15 个糜黍特异性荧光 SSR 标记评估 11 个省区的 132 份糜黍资源, 发现我国糜黍资源源自东北、西北、北方、黄土高原 4 个地区, 同聚类分析结果相符, 均和材料的地理来源相关。薛亚鹏等^[30]利用 15 个荧光 SSR 扩增 235 份中国糜黍核心种质 (来源于山西、黑龙江、广东、新疆、甘肃、河北、陕西和宁夏等), 发现 7 个引物组合可将全部材料区分开。糜黍作为小杂粮, 基础研究薄弱, 目前糜黍分子身份证构建涉及到的省份、地区有陕西、甘肃、宁夏^[30,34]、山西^[6,25,33]、东北^[35]等, 关于内蒙古自治区的研究缺乏。本研究基于 7 个荧光 SSR 标记, 生成 258 份内蒙古自治区糜黍资源的分子身份证, 为糜黍资源的高效精确鉴定、合理分类应用及育种亲本的选配提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

所用材料为 258 份内蒙古自治区 (呼和浩特市 22 份、包头市 8 份、赤峰市 44 份、通辽市 29 份、鄂尔多斯市 70 份、呼伦贝尔市 10 份、巴彦淖尔市 29 份、乌兰察布市 41 份、东三盟 1 份、锡林郭勒盟 4 份) 糜黍资源, 均来自中国农业科学院作物科学

研究所 (详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jjgr.20240403002>, 附表 1)。糜黍种子材料按照编号依次播种于育苗盘 (32 孔) 中, 每孔放置 1 份材料, 每份材料播种 10~15 粒种子, 最终放入人工气候培养箱中培育, 设定温度 25 °C, 光照 8 h, 黑暗 16 h, 湿度 60 %。

1.2 DNA 提取

采用 CTAB 改良法^[41]提取 258 份糜黍三叶时期 (播种后 15~20 d) 叶片 DNA, DNA 提取质量 (纯度、浓度、完整性) 的检测方法同何杰丽等^[42]。使用的仪器为 NanoDrop 2000 [赛默飞世尔科技 (中国) 有限公司, 上海]。

1.3 引物筛选

从 258 份糜黍材料中挑选 24 份地理来源存在差异的材料 (表 1), 利用本课题组前期开发的 85 个 SSR 标记^[42-43]进行扩增, 初步筛选出扩增条带整洁

表 1 24 份地理来源存在差异的糜黍资源 (地方品种)
Table 1 24 accessions of broomcorn millet with different geographical sources (Landrace)

材料编号 Serial number	统一编号 Unicode	名称 Name	来源 Source
A1	00000478	黄旗糜子	呼盟莫旗
A7	00000488	左中旗红粘糜	哲盟左中旗
A21	00000520	阿旗白黍子	昭盟阿旗
A39	00000557	兴和玉米黍	乌盟兴和
A49	00000595	杭后大红黍	巴盟杭后
A56	00000621	包头大白黍	包头市郊
A67	00000668	伊旗黑黍子	伊盟伊旗
B8	00002127	多伦灰糜子	锡盟多伦
B18	00002143	农西 1 号一点红糜	乌盟达茂旗
B35	00002186	钱旗紫秸秆糜	巴盟前旗
B54	00002353	托县小红糜子	呼市托县
B59	00002360	土右大黄糜子	包头市土右旗
B73	00002462	乌审旗小黄糜	伊盟乌审旗
B80	00004266	大枝黄	哲盟开鲁
B86	00004862	70 黍 238 小青糜子	呼和浩特
B93	00004878	双粒糜	内蒙农业厅
B100	00004899	二黄糜	伊盟东胜
C9	00005926	红疙塔黍	翁旗
C14	00005937	小红黍	郊区
C15	00005939	小红黍	敖汉
C18	00006656	8303-8-5-2	伊盟
C22	00006688	黄糜	内蒙达旗
C33	00007235	黄糜子	科左后旗
C38	00007242	红糜子	东三盟

清晰、多态性高的标记,用上述筛选的标记扩增随机挑选的96份材料,再次筛选出12个条带清晰、多态性好、胶面整洁、扩增稳定的标记,并在其5'端添加荧光基团(FAM/蓝色或HEX/绿色)生成荧光标记(表2)。PCR扩增体系(共20 μL):2×MasterMix 10 μL、上下游引物各0.8 μL(终浓度为0.4 μmol/L)、

ddH₂O 7.4 μL、DNA模板1 μL(浓度:30~80 ng/μL)。PCR反应程序:94℃预变性5 min;94℃变性40 s,不同退火温度40 s(表2),72℃延伸1 min,循环36次;72℃终延伸10 min^[44]。由生工生物工程(上海)股份有限公司合成荧光标记并完成毛细管电泳检测。

表2 12个荧光SSR标记

Table 2 12 pairs of fluorescent SSR markers

标记 Markers	正向引物(5'-3') Forward primer (5'-3')	反向引物(5'-3') Reverse primer (5'-3')	5'端修饰 5' modify	退火温度 (℃) T _m
RYW3	GGAGGCGTGACAATAAAAC	GGCGTGAGGTGTTGTTTT	FAM	48.90
RYW6	AGCCGATTTGCTGTGGAGT	CTGCCTCCGATGAGTTGGT	FAM	52.15
RYW8	GGGTCAGAGAATACACAGCG	GTAGGGAAGGAGAAGTGGGT	FAM	53.80
RYW37	CATTCCGTTCTTGTCTTCC	CAGTCTCACTCTGCGATGT	FAM	52.80
RYW40	TGCTCTTCGGCTCTTCTCC	ATCAGCTCATCGTGACCCC	FAM	53.20
RYW43	GGAGATGCTTGCTTGGTTG	CAGGAATCGCAAGGAACAG	HEX	54.00
RYW62	GTTTAGAGAGCAGGAGGCG	AGCCCTGTCCACCCTAATC	FAM	51.40
RYW67	GAAGGAAACGCACCAGAGT	TTGGGTTTGTGCTTGGAGT	HEX	55.25
RYW99	CGGAGTTCTTGGTGGCTT	GCGTTCGCCAAAGAGCAT	FAM	56.05
RYW124	CCACAAAGCGAAAGAACC	GAGTCCAAGCCCTCATCC	FAM	53.65
RYW125	TTGACGACGACTGTGTGC	TGTTGGTGGAGTTGAGGAC	FAM	55.10
RYW146	TGATGCTTCTTGGGTTCG	CGCCGTCCACTTCTGTAT	FAM	53.60

1.4 DNA分子身份证的生成

根据毛细管电泳结果,采用特定数字编码记录各标记对应每份材料的扩增情况,相同位置扩增出条带的标为“1”,否则标为“0”。利用ID Analysis 4.0检测标记对材料的区分情况,以此获得核心标记;基于NCBI(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)的BLAST序列比对信息,利用MapChart 2.32绘制核心标记的染色体定位图。利用PowerMarker 3.25和PopGen 1.32进行遗传多样性分析,使用MEGA 11.0.10绘制聚类图,使用NTSYSpc2.11a绘制主成分分析图^[45-47];同样采用特定数字编码(01、02、03.....10、11、12等)并按分子量从小到大的排序对电泳片段带型依次编号,将核心标记的编号进行组合生成资源的字符串分子身份证。整合字符串和资源的基本信息(序号、统一编号、字符串、品种名称、品种来源等),导入草料二维码生成器(<https://cli.im/>)完成二维码DNA分子身份证的构建。

2 结果与分析

2.1 利用核心引物分析258份资源的遗传多样性

将258份资源用12个荧光标记进行扩增,发现7个核心标记(RYW6、RYW8、RYW37、RYW40、RYW67、RYW124和RYW125)组合在一起即能区分全部资源。绘制7个核心标记的染色体定位图(图1),RYW37定位在Chr.2的0.84 Mb处;RYW8定位在Chr.3的9.88 Mb处;RYW125、RYW40分别定位在Chr.4的10.42 Mb和42.11 Mb处;RYW6定位在Chr.5的53.19 Mb处;RYW124定位在Chr.12的7.84 Mb处;RYW67定位在Chr.14的6.14 Mb处。

采用荧光毛细管电泳检测,用7个荧光SSR核心标记扩增258份资源,部分扩增结果见图2(RYW124),本研究采用的荧光标记分别是FAM(蓝色)和HEX(绿色)。7个荧光标记的电泳带型数目及带型编码见表3,共扩增出393个多态性条带,平均每个标记扩增56.14个。

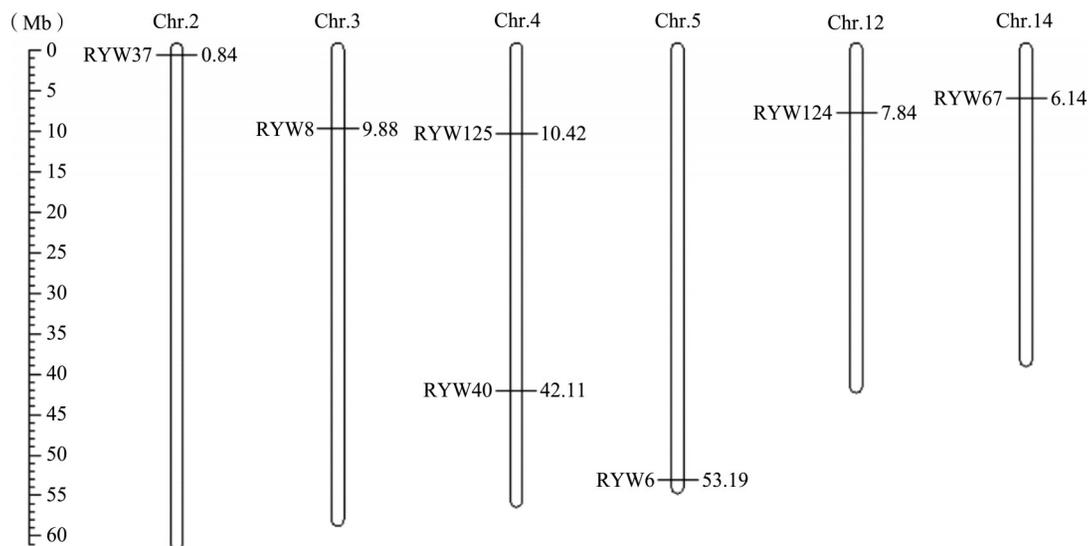


图1 7个对核心标记的染色体定位

Fig. 1 Chromosomal localization of 7 core markers

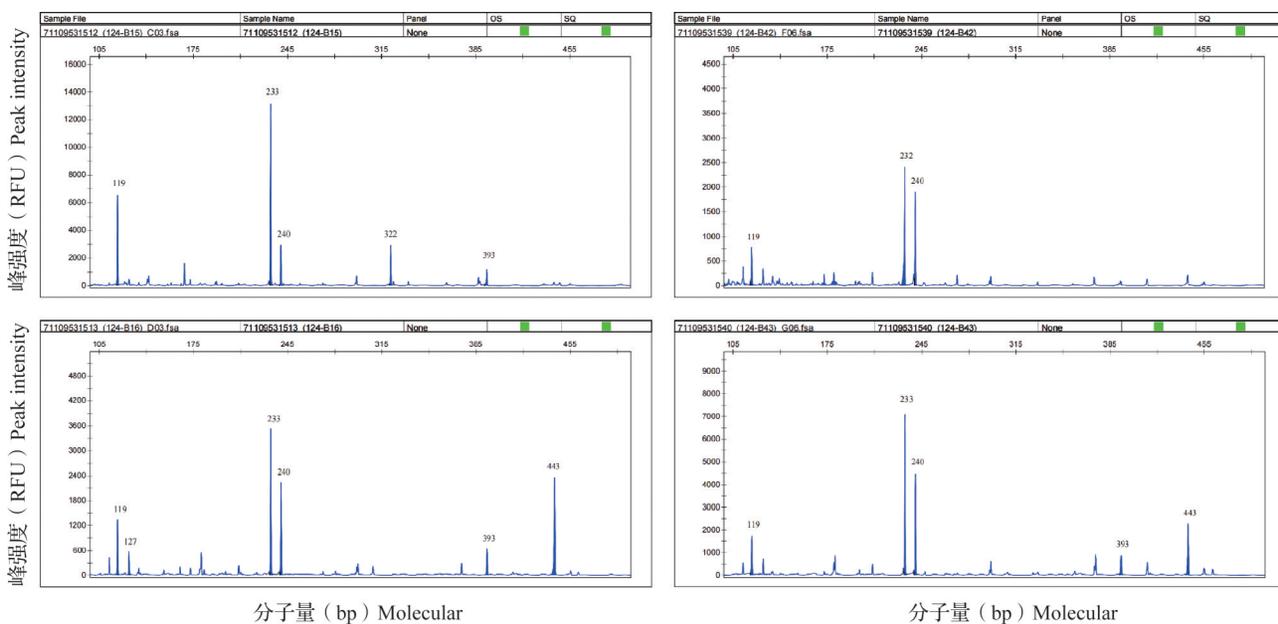


图2 部分糜黍资源的毛细管电泳结果(RYW124)

Fig. 2 Capillary electrophoresis results of some broomcorn millet accessions (RYW124)

表 3 7个核心标记毛细管电泳结果的数字化编码

Table 3 Digital coding of 7 core-labeled capillary electrophoresis results

标记 Markers	荧光基团 Fluorescent group	电泳条带数目 Polymorphism bands	电泳片段长度及编码 (bp) Length and code of electrophoresis fragments
RYW6	FAM	106	109(01), 114(02), 208(03), 242(04), 269(05), 109/129/195/242/282/307/386/426/471/486(06), 109/129/195/242/282/307/426/471/486(07), 109/134/187/242/269/282/307/471/486(08), 109/167/208/282/449/459(09), 109/195/242/282/307/426/471/486(10), 109/195/242/282/307/426/486(11), 109/195/242/282/307/471/486(12), 109/195/242/282/426/486(13), 109/195/242/307/426/471/486(14), 109/195/242/307/426/486(15), 109/195/242/426/471/486(16), 109/208(17), 109/208/269/282(18), 109/208/269/307/459(19), 109/208/269/459(20), 109/208/459(21), 109/242/307/426/471/486(22), 114/134/154(23), 114/134/154/173(24), 114/134/154/173/187/208/242/486(25), 114/134/154

表3(续)

标记 Markers	荧光基团 Fluorescent group	电泳条带数目 Polymorphism bands	电泳片段长度及编码 (bp) Length and code of electrophoresis fragments
RYW6	FAM		173/187/242/307/486(26), 114/134/154/173/195/208(27), 114/134/154/173/195/253/386(28), 114/134/154/173/208/242/486(29), 114/134/154/187/242/253/386/486(30), 114/134/154/253/386(31), 114/134/187/242/269/282/307/327(32), 114/134/269/282/327/386(33), 114/195/242/282/307(34), 114/208(35), 114/242/307/471/486(36), 129/195/242/253/282/386/426(37), 129/195/242/282/307/426/471/486(38), 129/208/242/269/282/307/471/486(39), 134/154/242/307/486(40), 134/167/208/242/282/386(41), 134/173/253/386(42), 134/173/253/386/486(43), 161/195/242/253/282/386/426(44), 167/173/208/242/269/386(45), 167/187/253/282/386(46), 167/195/242/253/386/421(47), 167/208/242/269/386/459(48), 167/208/242/282/386/449/459(49), 167/208/248/269/282/307/346/471(50), 167/208/248/282/307/346/421/471(51), 167/208/269/282/307/459(52), 167/208/269/282/459(53), 167/208/269/386(54), 167/208/282/307/459(55), 167/248/282/307/346/421/471(56), 173/195/242/253/282/386/426(57), 173/253/269/386(58), 187/195/242(59), 187/195/242/282/373(60), 187/195/242/373(61), 187/195/253/282(62), 187/208/253/282/386/416/486(63), 187/242(64), 187/242/253/282/386(65), 187/242/282/346/373(66), 187/242/346/373(67), 187/242/373(68), 187/242/373/426(69), 187/253/282/386(70), 187/253/282/386/426/486(71), 187/253/386(72), 195/208/242/282/386/486(73), 195/208/242/373/386/426/486(74), 195/242(75), 195/242/253/282/373/386(76), 195/242/253/282/373/386/426(77), 195/242/253/282/386(78), 195/242/253/282/386/426(79), 195/242/253/282/386/426/486(80), 195/242/253/386(81), 195/242/253/386/426(82), 195/242/253/386/486(83), 195/242/282/373/386/426(84), 195/242/282/373/386/426/486(85), 195/242/282/386/426/486(86), 195/242/373/386/426(87), 195/242/373/386/426/486(88), 195/242/373/426(89), 195/242/386/426(90), 195/253/282/386/426/486(91), 195/253/386(92), 195/253/386/426/449(93), 208/242/282/386/426/486(94), 208/253/282/386/459/486(95), 208/269/282(96), 208/269/307(97), 208/269/307/459(98), 208/269/307/459/471(99), 208/307(100), 208/459(101), 242/282/373/386/426(102), 242/282/386/426/486(103), 242/373(104), 253/282/386/426(105), 253/282/386/426/486(106)
RYW8	FAM	60	239(01), 107/112/192/215/239(02), 107/112/192/239(03), 107/112/192/239/247(04), 107/112/192/239/305(05), 107/112/192/239/305/381/465(06), 107/112/192/239/305/381/465/485(07), 107/112/192/239/305/465(08), 107/112/192/239/305/465/485(09), 107/112/192/239/357(10), 107/112/215/221/239(11), 107/112/215/221/239/357(12), 107/112/215/239(13), 107/112/221/239(14), 107/112/239(15), 107/112/239/305/381/465/485(16), 107/112/239/381/465(17), 107/112/239/465(18), 107/192/239(19), 107/192/239/305/465(20), 107/192/239/465(21), 107/215/233/239/357(22), 107/215/239/357(23), 107/239(24), 107/239/247(25), 112/143/192/215/247(26), 112/143/192/239/247(27), 112/143/192/247(28), 112/163/192/215/233/247(29), 112/163/215/233/247(30), 112/163/215/233/247/357(31), 112/163/215/233/357(32), 112/192/215(33), 112/192/215/233/247(34), 112/192/215/239(35), 112/192/215/239/247(36), 112/192/215/239/252(37), 112/192/215/247(38), 112/192/215/285(39), 112/192/239(40), 112/192/239/247(41), 112/192/239/305(42), 112/192/239/305/357(43), 112/192/239/357(44), 112/192/247(45), 112/215/233/239/357(46), 112/215/233/247(47), 112/215/239(48), 112/215/239/247(49), 112/215/239/285(50), 112/215/239/357(51), 112/239(52), 112/239/247(53), 112/239/357(54), 112/247(55), 155/239(56), 192/239(57), 192/239/247(58), 215/239/247(59), 239/247(60)
RYW37	FAM	43	205(01), 210(02), 258(03), 268(04), 287(05), 200/205(06), 200/205/210/268/287(07), 200/205/268/287(08), 200/205/287(09), 200/210(10), 200/210/258/268/287(11), 200/210/258/268/287/346(12), 200/210/258/287(13), 200/210/268/287(14), 200/210/268/287/346(15), 200/210/287(16), 200/268(17), 200/268/287(18), 200/268/287/346(19), 200/287(20), 205/210(21), 205/210/258/268/287/346(22), 205/210/268(23), 205/210/268/287(24), 205/210/268/287/346(25), 205/210/287(26), 205/258/268/287(27), 205/258/268/287/346(28), 205/268/287(29), 205/268/287/346(30), 205/287(31), 210/226/268/287/346(32), 210/258/268(33), 210/258/268/287(34), 210/258/268/287/346(35), 210/258/268/346(36), 210/268(37), 210/268/287(38), 210/268/287/346(39), 258/268(40), 258/268/287/346(41), 268/287(42), 268/287/346(43)

表 3 (续)

标记 Markers	荧光基团 Fluorescent group	电泳条带数目 Polymorphism bands	电泳片段长度及编码 (bp) Length and code of electrophoresis fragments
RYW40	FAM	49	112(01), 125(02), 153(03), 210(04), 380(05), 112/135/162/239/321(06), 112/162/228/321(07), 112/162/239/321(08), 112/168/239/321(09), 112/187/228/321(10), 112/187/239/321(11), 112/202/239/321(12), 112/202/321(13), 112/228/239/321(14), 112/239/321(15), 119/125(16), 119/153/210/380(17), 119/153/380(18), 125/153(19), 125/153/210(20), 125/153/210/380(21), 125/153/326/380(22), 125/153/380/394(23), 125/162/210(24), 125/162/210/380(25), 125/210(26), 125/210/326/380(27), 125/210/380(28), 153/168/182(29), 153/210/326/380(30), 153/210/380(31), 153/326/380(32), 162/187/239/321(33), 162/210(34), 162/228/239/321(35), 168/202/228/239(36), 187/202/228/321(37), 187/228/239/321(38), 187/228/251/321(39), 187/239/321(40), 202/228/239/251/321(41), 202/228/239/321(42), 202/228/251/321(43), 202/228/321(44), 210/380(45), 228/239/251/321(46), 228/239/264/321(47), 228/239/321(48), 228/251/321(49)
RYW67	HEX	50	99(01), 120(02), 149(03), 105/149/221(04), 105/185(05), 120/149(06), 120/149/161/214(07), 120/149/161/214/263(08), 120/149/169/214/263(09), 120/149/214(10), 120/149/214/244(11), 120/149/214/244/263(12), 120/149/214/263(13), 120/149/214/263/281(14), 120/149/214/281(15), 120/149/263(16), 120/149/281(17), 125/149/169/214/263(18), 149/161(19), 149/161/169(20), 149/161/169/214(21), 149/161/169/214/253(22), 149/161/169/214/263(23), 149/161/169/263(24), 149/161/214(25), 149/161/214/263(26), 149/169/214(27), 149/169/214/253(28), 149/169/214/263(29), 149/191/221(30), 149/214(31), 149/214/263(32), 149/214/263/355(33), 149/214/281(34), 149/221(35), 99/105/185/361(36), 99/125/191/361(37), 99/149/161/221(38), 99/149/214(39), 99/149/221(40), 99/149/221/464/484(41), 99/149/221/484(42), 99/149/484(43), 99/155/191/269(44), 99/155/191/361(45), 99/185/191(46), 99/191(47), 99/221(48), 99/221/484(49), 99/484(50)
RYW124	FAM	25	233(01), 240(02), 113/233/240/393/443(03), 113/233/240/393/443/455(04), 119/127/233/240/393/443(05), 119/127/233/240/443(06), 119/233/240(07), 119/233/240/322/393(08), 119/233/240/374/393/443(09), 119/233/240/393(10), 119/233/240/393/413/443(11), 119/233/240/393/413/443/461(12), 119/233/240/393/443(13), 119/233/240/393/443/455(14), 119/233/240/393/443/461(15), 119/233/240/393/455(16), 119/233/240/443(17), 127/233/240(18), 127/233/240/443(19), 134/233/240/393/443(20), 233/240(21), 233/240/374/393/443(22), 233/240/393(23), 233/240/393/443(24), 233/240/443(25)
RYW125	FAM	60	105(01), 111(02), 187(03), 211(04), 229(05), 105/111(06), 105/111/144/163/187/241(07), 105/111/153/163/241(08), 105/111/163(09), 105/111/163/187/241(10), 105/111/163/241(11), 105/111/241(12), 105/144/163/187/241(13), 105/144/163/187/241/291(14), 105/144/163/241(15), 105/144/163/241/291(16), 105/163/187/241(17), 105/163/241(18), 111/136/163/187(19), 111/163/187/241(20), 111/163/241/322(21), 111/187/241(22), 111/187/241/322(23), 118/125/153/211/327/380(24), 118/136/163/187(25), 118/136/163/251(26), 118/136/163/322(27), 118/136/203(28), 118/136/203/322(29), 118/136/229/322(30), 118/136/241/251(31), 118/136/251/322(32), 118/187/241/322(33), 125/153/197/211/327/348/380(34), 125/153/197/327/348/380(35), 125/153/211/251/327/348/380(36), 125/153/211/327/348/380(37), 125/153/211/327/380(38), 125/153/219/327/348/380(39), 125/153/327/348/380(40), 125/153/327/380(41), 125/211/327/380(42), 125/327/380(43), 136/163/187/251(44), 136/163/229/251/322(45), 136/163/241(46), 136/163/241/322(47), 136/187/322(48), 136/203/229/251(49), 136/229/241(50), 136/229/241/251(51), 136/229/241/322(52), 136/229/251(53), 136/229/251/322(54), 163/187/241/322(55), 163/229/241/251(56), 163/241/251/322(57), 211/327/380(58), 211/380(59), 229/241/251(60)

括号外数字代表不同类型的带型大小;括号内数字代表在此标记下,该带型对应的字符串;/是将不同分子量大小的条带隔开

Numbers outside brackets represent different types of strip size; The number in brackets represents the string corresponding to the band type under this mark; / is to separate strips of different molecular weight sizes

由表4结果可知,利用7个标记扩增258份资源,共得到123个等位基因,平均每个标记有17.5714个,不同标记的等位基因数介于8.0000~25.0000之间;有效等位基因数变化范围在3.5868~16.2042之间,均值是7.4622;Shannon多样性指数在1.8361~2.8852

之间,平均值为2.2270;观测杂合度、期望观测杂合度分别在0.5303~0.9606、0.7229~0.9408之间,均值分别为0.8021、0.8372;Nei's基因多样性指数变化范围在0.7212~0.9383之间,均值是0.8353;多态性信息含量在0.8266~0.9391之间,均值是0.8994。

表 4 7 个荧光 SSR 标记的遗传多样性分析结果

Table 4 Genetic diversity analysis of 7 pairs of fluorescent SSR markers

标记 Markers	等位基因数 <i>Na</i>	有效等位 基因 <i>Ne</i>	Shannon 多样性 指数 <i>I</i>	观测 杂合度 <i>Ho</i>	期望 杂合度 <i>He</i>	Nei's 基因多样性 指数 <i>Nei</i>	多态性信息 含量 <i>PIC</i>
RYW6	25.0000	9.0722	2.6928	0.7113	0.8921	0.8898	0.9047
RYW8	18.0000	3.5868	1.8361	0.6129	0.7229	0.7212	0.8485
RYW37	8.0000	6.3825	1.9100	0.9041	0.8453	0.8433	0.9272
RYW40	18.0000	4.3789	2.0958	0.5303	0.7736	0.7716	0.8266
RYW67	20.0000	6.4510	2.2005	0.9494	0.8468	0.8450	0.9387
RYW124	13.0000	6.1596	1.9686	0.9606	0.8393	0.8377	0.9391
RYW125	21.0000	16.2042	2.8852	0.9462	0.9408	0.9383	0.9108
合计 Total	123.0000						
平均 Mean	17.5714	7.4622	2.2270	0.8021	0.8372	0.8353	0.8994

PIC: Polymorphism information content

利用 7 个标记区分 258 份内蒙古糜黍材料(表 5)。单个标记对材料的区分率在 2.71% (RYW124)~31.40% (RYW6) 之间, 标记组合对材料的区分率在

56.59% (RYW6+RYW8)~100% (RYW6+RYW8+RYW37+RYW40+RYW67+RYW124+RYW125) 之间。

表 5 7 个核心标记对全部糜黍资源的区分结果

Table 5 Distinguished result of all broomcorn millet accessions using 7 core markers

标记/组合 Markers/Combination	区分种质数 Number of germplasm distinguished	区分率 (%) Rate of discrimination
RYW6	81	31.40
RYW8	35	13.57
RYW37	12	4.65
RYW40	26	10.08
RYW67	20	7.75
RYW124	7	2.71
RYW125	33	12.79
RYW6+RYW8	146	56.59
RYW6+RYW8+RYW37	207	80.23
RYW6+RYW8+RYW37+RYW40	227	87.98
RYW6+RYW8+RYW37+RYW40+RYW67	239	92.64
RYW6+RYW8+RYW37+RYW40+RYW67+RYW124	250	96.90
RYW6+RYW8+RYW37+RYW40+RYW67+RYW124+RYW125	258	100

2.2 258 份糜黍种质资源的聚类分析

从 258 份糜黍资源的聚类图(图 3)可知, 所有资源可被划分成 4 个类群。各类群的资源数量存在差别, 类群 I 有 37 份, 其中鄂尔多斯市最多, 有 11 份(29.7%); 其次是通辽市, 有 9 份(24.3%); 再次分别是呼和浩特市 6 份(16.2%)、赤峰市 5 份(13.5%)、巴彦淖尔市 3 份(8.1%)、呼伦贝尔市 2 份(5.4%)、乌兰

察布市 1 份(2.7%)。类群 II 资源数量最多, 包括 123 份, 其中乌兰察布市最多, 为 32 份(26.0%); 其次是鄂尔多斯市, 为 24 份(19.5%); 赤峰市和通辽市均为 17 份(13.8%); 巴彦淖尔市有 15 份(12.2%); 呼和浩特市和呼伦贝尔市均为 6 份(4.9%); 锡林郭勒盟有 4 份(3.3%); 包头市和东三盟最少, 均为 1 份(0.8%)。类群 III 有 83 份, 其中鄂尔多斯市最多, 有

31份(37.3%);其次是赤峰市,有21份(25.3%);再次是巴彦淖尔市,有8份(9.6%);包头市、呼和浩特市、乌兰察布市均有6份(7.2%);通辽市较少,有3份(3.6%);呼伦贝尔市最少,有2份(2.4%)。类群

IV最少,有15份,其中鄂尔多斯市、呼和浩特市最多,均为4份(26.7%);巴彦淖尔市和乌兰察布市较少,分别为3份(20%)和2份(13.3%);包头市和赤峰市最少,均为1份(6.7%)。

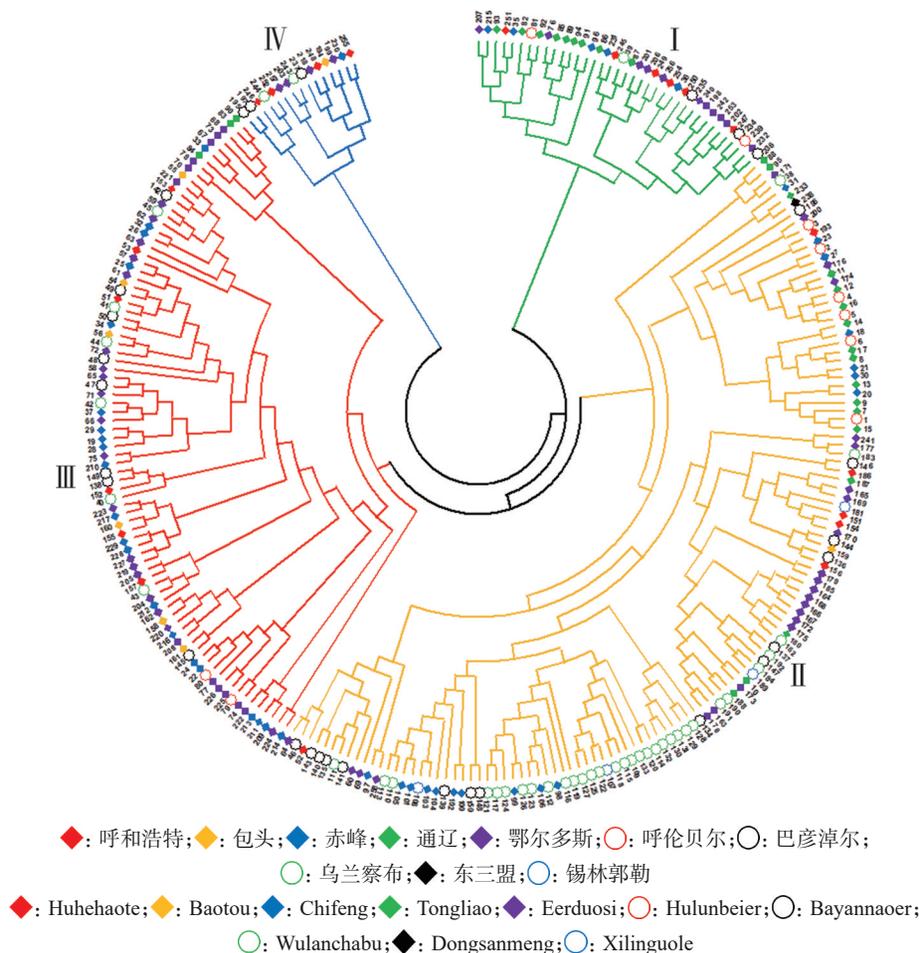


图3 258份糜黍资源的聚类图

Fig. 3 Cluster analysis of 258 broomcorn millet resources

2.3 258份糜黍种质资源的主成分分析

从258份糜黍资源的主成分分析(图4)可知,前3个主成分分别解释总方差的66.1570%、4.6592%和4.4433%。依据主成分1~主成分3,可将所有糜黍资源划分为10类,与资源的来源地基本一致。

2.4 258份糜黍资源DNA分子身份证的构建

采用特定数字编码(01、02、03等)并按照分子量从小到大的顺序对电泳片段带型依次编号,组合核心标记编号生成全部材料的字符串分子身份证(详见<https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240403002>,附表2)。例如材料伊盟黑乌皮白黍(统一编号:00000701),用7个核心标记(RYW6、RYW8、RYW37、RYW40、RYW67、RYW124、RYW125)进行扩增后,对应的带型依次是161/195/242/253/282/386/426(44)、239/247(60)、200/210

(10)、125/210/380(28)、99/149/161/221(38)、233/240(21)、136/229/241(50),将带型编码依次组合,即得该材料的字符串分子身份证44601028382150;黄旗糜子(统一编号:00000478),用上述7个核心标记进行扩增后,对应的带型依次是109(01)、112/192/247(45)、205/210/268/287(24)、125/153/326/380(22)、120/149/214/281(15)、119/233/240/393/443(13)、0(00),将带型编码依次组合,即得该材料的字符串分子身份证01452422151300;其余材料同理。最终汇总资源的基本信息(序号、统一编号、字符串、品种名称、品种来源等),经草料二维码生成器加工生成所有资源的二维码DNA分子身份证(详见<https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240403002>,附图1),部分材料的二维码见图5。

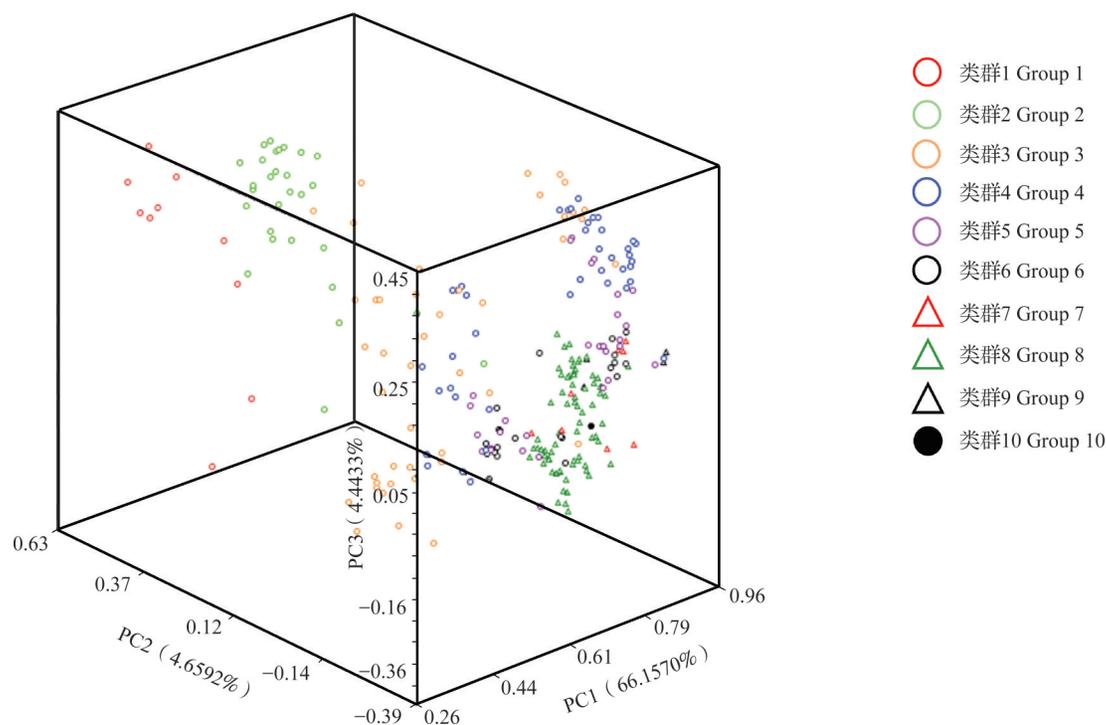


图4 258份糜黍资源的主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis of 258 broomcorn millet resources



1: 黄旗糜子; 2: 莫旗小黄糜子; 3: 莫旗粘蹦; 4: 扎兰屯白黍子; 5: 呼盟黑粘糜; 6: 呼盟狸黍子; 7: 左中旗红粘糜; 8: 左中旗黄糜子; 9: 左中旗高粱糜; 10: 左中旗黑粘糜; 11: 左中旗黑黍子; 12: 开鲁笊篱头

1: Huangqimeizi; 2: Moqixiaohuangmeizi; 3: Moqinianbeng; 4: Zhalantunbaishuzi; 5: Humengheinianmei; 6: Humenglishuzi; 7: Zuozhongqihongnianmei; 8: Zuozhongqihuangmeizi; 9: Zuozhongqigaoliangmei; 10: Zuozhongqiheinianmei;

11: Zuozhongqiheishuzi; 12: Kailuzhaolitou

图5 部分糜黍资源的二维码DNA分子身份证

Fig. 5 Two-dimensional code DNA molecular identity cards of some broomcorn millet accessions

3 讨论

3.1 糜黍特异性SSR标记的染色体定位

染色体定位是指通过分子标记技术,确定某个基因或DNA序列在染色体上的位置。染色体定位

技术对于深入了解植物基因组结构和功能、促进植物育种以及基因编辑和遗传改良等方面都具有重要意义。目前染色体定位技术在水稻 (*Oryza sativa* L.)^[48]、小麦 (*Triticum aestivum* L.)^[49]、棉花 (*Gossypium* spp)^[50]、玉米 (*Zea mays* L.)^[51] 等大宗作

物运用比较普遍,且技术相对成熟。在糜黍方面,王瑞云^[18]研究发现已开发的SSR分子标记共2631个,包括2326个特异性标记和305个种间标记。尽管现有SSR分子标记众多,但大部分标记尚未绘制染色体定位图^[40,42,52]。薛亚鹏等^[30]通过BLAST比对,将7个SSR标记定位在糜黍的4条染色体(Chr.2、Chr.4、Chr.5和Chr.6)上,其中RYW18、RYW37分布在Chr.2,分别位于0.60 Mb和0.80 Mb处;RYW125位于Chr.4,定位在10.40 Mb处;RYW43、RYW6分布在Chr.5,分别位于52.80 Mb和53.00 Mb处;RYW11和RYW3定位在Chr.6,分别位于2.10 Mb和20.70 Mb处。本研究利用NCBI的BLAST比对功能,将7个荧光SSR标记定位在6条染色体(Chr.2~Chr.5、Chr.12、Chr.14)上,其中RYW37定位在Chr.2的0.84 Mb处,RYW8定位在Chr.3的9.88 Mb处,RYW125、RYW40定位在Chr.4的10.42 Mb和42.11 Mb处,RYW6定位在Chr.5的53.19 Mb处,RYW124定位在Chr.12的7.84 Mb处,RYW67定位在Chr.14的6.14 Mb处,其中有3个标记(RYW6、RYW37、RYW125)和上述研究一致,表明这3个标记有较好的通用性,此外,本研究首次将其余的4个标记(RYW8、RYW40、RYW67、RYW124)定位在4条染色体(Chr.3、Chr.4、Chr.12、Chr.14)上,这些标记的通用性有待进一步检测。

3.2 糜黍资源的遗传多样性

黍稷是古老的粟类作物,具有丰富的遗传变异^[34]。遗传多样性评估参数是衡量植物资源遗传差异的重要指标,通常情况下,标记的等位基因数、Shannon多样性指数、多态性信息含量等指标越高,越有利于对品种资源进行分类鉴定^[6]。薛亚鹏等^[30]用7个荧光SSR标记区分235份材料,发现等位基因数、Shannon多样性指数、多态性信息含量分别为12.4286、1.1398和0.5185。林元香^[6]用7个荧光标记SSR引物区分272份材料,发现3个指标分别是23.4286、1.9088和0.7514。本研究用7个荧光SSR区分258份内蒙古材料,发现上述3个指标分别为17.5714、2.2270和0.8994,等位基因数(17.5714)低于林元香^[6]的等位基因数(23.4286),可能是因为林元香^[6]的试验材料更多,遗传变异更加丰富。

在群体遗传多样性评估过程中,聚类分析的结果可能与地理来源存在差异,因此本研究采用聚类分析的同时又采用了主成分分析,主成分分析的影响因素是前3个贡献率最高的因素,而聚类分析的影响因素是全部因素,因此主成分分析是对聚类分

析结果的进一步完善。段政勇等^[53]利用80个SSR标记检测北方春糜子区48份糜黍材料的多态性,基于UPGMA聚类分析,48份材料被划分为3个类群,基于主成分分析,48份材料被划分为4个类群,在聚类分析中,地理来源不同的材料8(青海)、15(甘肃)被划分为同一类群,但在主成分分析中,这2份材料被划分为不同类群。王舒婷等^[54]利用27对SSR引物分析57份山西糜子的遗传差异,聚类分析将57份材料划分为3个类群,主成分分析将57份材料划分为2个类群,地理来源不同的材料9(北方春糜子区)、54(黄土高原春夏糜子区)被划分为同一类群,但在主成分分析中,这2份材料被划分为不同类群。本研究也有类似结果,聚类分析与主成分分析分别将258份材料划分为4个和3个类群,地理来源不同的材料103(赤峰市)、131(乌兰察布市)被划分为同一类群,而在主成分分析中,这2份材料被划分为不同类群。

3.3 常规和荧光SSR检测方法的比较

基于常规SSR的聚丙烯酰胺凝胶电泳法和基于荧光SSR的荧光毛细管电泳法是当前检测物种资源间遗传差异的常用方法。冯琬淇等^[36]以8个甜菜(*Beta vulgaris* L.)为研究材料,通过检测8个SSR位点的多态性,比较了聚丙烯酰胺凝胶电泳与荧光毛细管电泳这两种方法,结果发现聚丙烯酰胺凝胶电泳无法得出准确分子量,而荧光毛细管电泳可以得到准确分子量。陈雅琼^[55]以71份烟草(*Nicotiana tabacum* L.)种质为材料,比较两种方法的检测结果,认为荧光毛细管电泳检测省去了传统银染法的繁琐操作,极大提高了检测的效率与准确度。在糜黍方面,林元香^[6]则比较了两种方法的差异,发现常规SSR检测需要20个标记,而荧光SSR检测仅需7个标记,效率是前者的3倍。陈小红等^[34]用17个常规SSR标记组合区分了130份材料,本研究仅用7个荧光SSR标记组合区分了258份材料,所用标记比前者少,可区分材料比前者多,检测灵敏度高于前者,这与荧光SSR可以检测到常规SSR分辨不出的条带有关。

3.4 DNA分子身份证的构建与应用

DNA分子身份证是以SSR分子标记为基础,应用特定数字编码方式及相关软件处理结果,将资源基因层面的遗传差异转化成直观的数字串(字符串)或图例(条形码和二维码),从而达到对资源的鉴定与分类^[34]。在作物DNA分子身份证的构建过程中,核心环节是SSR引物的筛选与组合^[56]。先前

研究常用常规 SSR 获得作物资源的分子身份证。李红琴等^[57]基于遗传多样性分析结果,用 23 个 SSR 标记组合对 66 个小麦品种进行分子身份证的构建,多态性标记的多态性信息含量在 0.03~0.86 之间,均值是 0.51。李春花等^[58]在多样性研究基础上,根据 SSR 引物的等位基因数确定 15 个标记组合可构建 48 份云南苦荞 (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) 种质资源的分子身份证,标记的多态性信息含量在 0.041~0.500 之间,均值为 0.340。胡玉璐等^[59]用 14 个 SSR 标记生成了 20 份糜黍资源(来源于 8 个省)的分子身份证,遗传多样性分析结果显示多态性信息含量变化区间是 0.4886(RYW3)~0.7766(RYW8),均值是 0.6298。本研究利用 7 个荧光 SSR 标记组合,构建了 258 份内蒙古糜黍资源的字符串和二维码 DNA 分子身份证,多态性信息含量为 0.8266 (RYW40)~0.9391 (RYW124),平均为 0.8994,高于上述研究结果,与荧光标记可以检测到常规 SSR 检测不到的 DNA 片段有关。

4 结论

根据 NCBI 糜黍基因组序列及 BLAST 序列比对结果,将 7 个特异性 SSR 标记定位于 6 条染色体 (Chr.2~Chr.5、Chr.12、Chr.14) 上。基于毛细管电泳结果的数字化编码处理,最终仅用 7 个荧光标记组合生成了 258 份内蒙古糜黍资源的二维码 DNA 分子身份证。

参考文献

- [1] Crawford G W. Agricultural origins in North China pushed back to the Pleistocene Holocene boundary. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2009, 106 (18): 7271-7272
- [2] 柴岩. 糜子. 北京: 中国农业出版社, 1999: 71-86
Chai Y. Broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.). Beijing: China Agriculture Press, 1999: 71-86
- [3] Yang Q H, Zhang P P, Qu Y, Gao X L, Liang J B, Yang P, Feng B L. Comparison of physicochemical properties and cooking edibility of waxy and non-waxy proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *Food Chemistry*, 2018, 257: 271-278
- [4] Yue H, Wang M, Liu S Y, Du X H, Song W N, Nie X J. Transcriptome-wide identification and expression profiles of the WRKY transcription factor family in broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.). *BMC Genomics*, 2016, 17 (1): 343
- [5] Shi J P, Ma X X, Zhang J H, Zhou Y S, Liu M X, Huang L L, Sun S L, Zhang X B, Gao X, Zhan W, Li P H, Wang L, Lu P, Zhao H M, Song W B, Lai J S. Chromosome conformation capture resolved near complete genome assembly of broomcorn millet. *Nature Communications*, 2019, 10 (1): 464
- [6] 林元香. 山西糜子核心种质分子身份证的构建. 太谷: 山西农业大学, 2022
Lin Y X. Construction of molecular ID card of core germplasm of common millet (*Panicum miliaceum* L.). Taigu: Shanxi Agricultural University, 2022
- [7] 牟泉霖, 孙永刚, 张红星. 内蒙古金代两家子堡址植物浮选结果及分析. *赤峰学院学报: 汉文哲学社会科学版*, 2023, 44 (9): 1-5
Mou Q L, Sun Y G, Zhang H X. Flotation results and analysis of plants in Liangjiazi fort site of Jin dynasty in Inner Mongolia. *Journal of Chifeng University: Philosophy and Social Science Chinese Edition*, 2023, 44 (9): 1-5
- [8] 孙永刚, 田小冬, 塔拉, 岳够明. 元上都西关厢遗址植物遗存综合研究. *中国农史*, 2017, 36 (5): 12-24
Sun Y G, Tian X D, Ta L, Yue G M. Flotation results from the Xiguanxiang site belongs to the upper capital of the Yuan dynasty. *Agricultural History of China*, 2017, 36 (5): 12-24
- [9] 刘玮, 赵志军, 霍东峰, 朱永刚. 内蒙古库伦旗三家子遗址浮选结果分析报告. *农业考古*, 2016 (3): 7-13
Liu W, Zhao Z J, Huo D F, Zhu Y G. Flotation results and analysis from Sanjiazi site of Kulun Banner in Inner Mongolia. *Agricultural Archaeology*, 2016 (3): 7-13
- [10] 孙永刚, 刘晓辰. 内蒙古库伦小奈林稿遗址浮选出土植物遗存分析. *北方文物*, 2019 (3): 50-53, 110
Sun Y G, Liu X C. Analysis of plant remains unearthed by flotation at the Xiaonailingao site of Kulun in Inner Mongolia. *Northern Cultural Relics*, 2019 (3): 50-53, 110
- [11] 孙永刚, 赵志军, 吉平. 哈民忙哈史前聚落遗址出土植物遗存研究. *华夏考古*, 2016 (2): 45-52
Sun Y G, Zhao Z J, Ji P. Study on the plant remains unearthed from the prehistoric settlement site of Haminmangha. *Huaxia Archaeology*, 2016 (2): 45-52
- [12] 刘杰, 孙永刚, 张红星. 内蒙古下田家营子夏家店上层文化遗址出土植物遗存研究. *赤峰学院学报: 汉文哲学社会科学版*, 2022, 43 (3): 90-93
Liu J, Sun Y G, Zhang H X. Study on the excavated plant remains from the upper Xiajiadian culture in Xiatianjiayingzi site. *Journal of Chifeng University: Philosophy and Social Science Chinese Edition*, 2022, 43 (3): 90-93
- [13] 孙永刚. 巴彦塔拉辽代遗址植物遗存及相关问题研究. *赤峰学院学报: 汉文哲学社会科学版*, 2013 (8): 7-10
Sun Y G. Study on plant remains and related issues of Bayantala Liao dynasty site. *Journal of Chifeng University: Philosophy and Social Science Chinese Edition*, 2013 (8): 7-10
- [14] 孙永刚, 李阳, 格日乐图. 内蒙古小塘山遗址 2021 年度植物浮选结果及分析. *赤峰学院学报: 汉文哲学社会科学版*, 2022, 43 (3): 78-83
Sun Y G, Li Y, Ge R L T. Plant flotation results and analysis on the Xiaotangshan site of Inner Mongolia in 2021. *Journal of*

- Chifeng University: Philosophy and Social Science Chinese Edition, 2022, 43 (3): 78-83
- [15] 张帅, 田惠农, 孙永刚. 内蒙古敖汉热水汤遗址浮选结果分析. 农业考古, 2016 (6): 22-27
Zhang S, Tian H N, Sun Y G. Analysis of flotation results of Reshuitang site of Aohan in Inner Mongolia. Agricultural Archaeology, 2016 (6): 22-27
- [16] 孙永刚, 赵志军, 曹建恩, 孙金松, 党郁. 内蒙古二道井子遗址2009年度浮选结果分析报告. 农业考古, 2014 (6): 1-9
Sun Y G, Zhao Z J, Cao J E, Sun J S, Dang Y. Analysis report of flotation results of Erdaojingzi site in Inner Mongolia in 2009. Agricultural Archaeology, 2014 (6): 1-9
- [17] 文占平. 内蒙古自治区杂粮杂豆的生产、加工与销售. 现代农业, 2001 (4): 1-4
Wen Z P. Production, processing and sales of grains and beans in Inner Mongolia. Modern Agriculture, 2001 (4): 1-4
- [18] 王瑞云. 糜子遗传多样性及进化研究进展. 北京: 中国农业出版社, 2017: 2-3
Wang R Y. Genetic diversity and evolution advancement in common millet (*Panicum miliaceum* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2017: 2-3
- [19] Wang R Y, Hunt H V, Qiao Z J, Wang L, Han Y H. Diversity and cultivation of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) in China: A review. Economic Botany, 2016, 70 (3): 332-342
- [20] 正月, 张杰, 琦明玉, 李志光, 于凤艳, 张富丽, 张立媛. 内蒙古糜子主产区品种丰产、稳产及适应性分析. 种子, 2018, 37 (12): 110-113
Zheng Y, Zhang J, Qi M Y, Li Z G, Yu F Y, Zhang F L, Zhang L Y. Analysis on high yield, stable yield and adaptability of varieties in main producing areas of Inner Mongolia glutinous millet. Seed, 2018, 37 (12): 110-113
- [21] 门果桃, 刘建设, 任永峰, 刘锦川, 杨文耀, 张小平, 张新功. 内蒙古糜子品种资源研究初报. 内蒙古农业科技, 2012 (5): 23
Men G T, Liu J S, Ren Y F, Liu J C, Yang W Y, Zhang X P, Zhang X G. Preliminary study on broomcorn millet variety resources in Inner Mongolia. Inner Mongolia Agricultural Science And Technology, 2012 (5): 23
- [22] 陈昌文, 曹珂, 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 中国桃主要品种资源及其野生近缘种的分子身份证构建. 中国农业科学, 2011, 44 (10): 2081-2093
Chen C W, Cao K, Wang L R, Zhu G R, Fang W C. Molecular ID establishment of main China peach varieties and peach related species. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44 (10): 2081-2093
- [23] 门果桃, 陈强, 范挨计, 门永亮, 任龙梅. 内蒙古糜子产业发展现状与对策. 内蒙古农业科技, 2009 (2): 79-82
Men G T, Chen Q, Fan A J, Men Y L, Ren L M. The development status and countermeasures of broomcorn millet industry in Inner Mongolia. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2009 (2): 79-82
- [24] 赵敏, 李书田, 于占斌, 于学文, 李艳红. 内蒙古糜子资源与综合利用. 内蒙古农业科技, 2007 (6): 101-102
Zhao M, Li S T, Yu Z B, Yu X W, Li Y H. Inner Mongolia broomcorn millet resources and comprehensive utilization. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2007 (6): 101-102
- [25] 冯智尊, 杨雅斐, 王海岗, 陈凌, Santra Dipak K, 王瑞云, 乔治军. 山西糜黍遗传差异评估及分子身份证构建. 山西农业科学, 2023, 51 (10): 1178-1188
Feng Z Z, Yang Y F, Wang H G, Chen L, Santra D K, Wang R Y, Qiao Z J. Assessment of genetic differences and construction of molecular identity cards of broomcorn millet in Shanxi. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51 (10): 1178-1188
- [26] Cho Y I, Chung J W, Lee G A, Ma K H, Dixit A, Gwag J G, Park Y J. Development and characterization of twenty-five new polymorphic microsatellite markers in proso millet (*Panicum miliaceum* L.). Genes Genomics, 2010, 32 (3): 267-273
- [27] Hunt H V, Campana M G, Lawes M C, Park Y J, Bower M A, Howe C J, Jones M K. Genetic diversity and phylogeography of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) across Eurasia. Molecular Ecology, 2011, 20 (22): 4756-4771
- [28] Hu X Y, Wang J F, Lu P, Zhang H S. Assessment of genetic diversity in broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) using SSR markers. Journal of Genetics and Genomics, 2009, 36 (8): 491-500
- [29] 刘笑瑜. 利用高基元SSR分析中国糜子资源的遗传多样性. 太谷: 山西农业大学, 2019
Liu X Y. Analysis of genetic diversity of Chinese proso millet resources by high substrate SSR. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2019
- [30] 薛亚鹏, 丁艺冰, 王宇卓, 王晓丹, 曹晓宁, Santra Dipak K, 陈凌, 乔治军, 王瑞云. 基于荧光SSR构建中国糜子核心种质DNA分子身份证. 中国农业科学, 2023, 56 (12): 2249-2277
Xue Y P, Ding Y B, Wang Y Z, Wang X D, Cao X N, Santra D K, Chen L, Qiao Z J, Wang R Y. Construction of DNA molecular identity card of core germplasm of broomcorn millet in China based on fluorescence SSR. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56 (12): 2249-2277
- [31] 赵海娟, 章秋平, 马小雪, 刘宁, 张玉萍, 张玉君, 徐铭, 刘家成, 刘威生, 刘硕. 杏高通量荧光SSR检测体系及分子身份证的构建. 分子植物育种, 2023, 21 (24): 8134-8143
Zhao H J, Zhang Q P, Ma X X, Liu N, Zhang Y P, Zhang Y J, Xu M, Liu J C, Liu W S, Liu S. The establishment of fluorescent SSR markers for high-throughput detection and construction of molecular identity on Apricot. Molecular Plant Breeding, 2023, 21 (24): 8134-8143
- [32] 安苗, 王彤彤, 付逸婷, 夏俊俊, 彭锁堂, 段永红. 52个马铃薯遗传多样性分析及SSR分子身份证构建. 生物技术通报, 2023, 39 (12): 136-147
An M, Wang T T, Fu Y T, Xia J J, Peng S T, Duan Y H. Genetic diversity analysis and molecular identity card

- construction by SSR markers of 52 *Solanum tuberosum* L. varieties (lines). *Biotechnology Bulletin*, 2023, 39 (12): 136-147
- [33] 王宇卓, 林元香, 薛亚鹏, 段政勇, 王晓丹, 陈凌, 曹晓宁, 王瑞云, 乔治军. 山西糜子核心种质分子身份证构建. *植物学报*, 2023, 58 (1): 159-168
Wang Y Z, Lin Y X, Xue Y P, Duan Z Y, Wang X D, Chen L, Cao X N, Wang R Y, Qiao Z J. Construction of molecular ID card of core germplasm of hog millet (*Panicum miliaceum*) in Shanxi. *Chinese Bulletin of Botany*, 2023, 58 (1): 159-168
- [34] 陈小红, 林元香, 王倩, 丁敏, 王海岗, 陈凌, 高志军, 王瑞云, 乔治军. 基于高基元SSR构建黍稷种质资源的分子身份证. *作物学报*, 2022, 48 (4): 908-919
Chen X H, Lin Y X, Wang Q, Ding M, Wang H G, Chen L, Gao Z J, Wang R Y, Qiao Z J. Development of DNA molecular ID card in hog millet germplasm based on high motif SSR. *Acta Agronomica Sinica*, 2022, 48 (4): 908-919
- [35] 丁艺冰, 辛旭霞, 冯智尊, 曹越, 郭娟, Santra Dipak K, 王瑞云, 陈喜明. 东北春播区糜子核心种质及其DNA分子身份证构建. *作物学报*, 2024, 50 (5): 1181-1192
Ding Y B, Xin X X, Feng Z Z, Cao Y, Guo J, Santra D K, Wang R Y, Chen X M. Core germplasm and DNA molecular identity card of proso millet in Northeast Spring sowing region in China. *Acta Agronomica Sinica*, 2024, 50 (5): 1181-1192
- [36] 冯琬淇, 张福顺, 刘乃新. 毛细管与聚丙烯酰胺凝胶电泳检测甜菜SSR位点的比较研究. *中国农学通报*, 2022, 38 (36): 34-41
Feng W Q, Zhang F S, Liu N X. SSR polymorphism in sugar beet: Detection by polyacrylamide gel electrophoresis and capillary electrophoresis. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38 (36): 34-41
- [37] 刘晓鑫, 谢传晓, 赵琦, 路明, 曲延英, 张滨, 梁业红, 张世煌. 基于SSR荧光标记技术的玉米群体混合样本基因频率分析方法. *中国农业科学*, 2008, 41 (12): 3991-3998
Liu X X, Xie C X, Zhao Q, Lu M, Qu Y Y, Zhang B, Liang Y H, Zhang S H. Establishment of fluorescent SSR technique on detecting allelic frequency in maize (*Zea mays* L.) populations with bulk sampling strategy. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41 (12): 3991-3998
- [38] 郑德波, 石前, 蒙平, 庾韦花. 基于SSR荧光标记的广西天冬种质资源遗传多样性分析. *种子*, 2023, 42 (9): 98-104
Zheng D B, Shi Q, Meng P, Yu W H. Genetic diversity analysis of *Asparagus cochinchinensis* (Lour.) Merr. germplasm resources in Guangxi based on fluorescent SSR markers. *Seed*, 2023, 42 (9): 98-104
- [39] 唐玉娟, 罗世杏, 黄国弟, 宋恩亮, 李日旺, 赵英, 张宇, 莫永龙, 唐莹莹. 基于SSR荧光标记的杧果种质资源遗传多样性分析及分子身份证构建. *热带作物学报*, 2023, 44 (11): 2292-2304
Tang Y J, Luo S X, Huang G D, Song E L, Li R W, Zhao Y, Zhang Y, Mo Y L, Tang Y Y. Genetic diversity analysis and molecular ID construction of Mango germplasm based on SSR fluorescence markers. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2023, 44 (11): 2292-2304
- [40] 王瑞云, 季煦, 陆平, 刘敏轩, 许月, 王纶, 王海岗, 乔治军. 利用荧光SSR分析中国糜子遗传多样性. *作物学报*, 2017, 43 (4): 530-548
Wang R Y, Ji X, Lu P, Liu M X, Xu Y, Wang L, Wang H G, Qiao Z J. Analysis of genetic diversity in common millet (*Panicum miliaceum*) using fluorescent SSR in China. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43 (4): 530-548
- [41] Edwards K, Johnstone C, Thompson C. A simple and rapid method for the preparation of plant genomic DNA for PCR analysis. *Nucleic Acids Research*, 1991, 19 (6): 1349
- [42] 何杰丽, 石甜甜, 陈凌, 王海岗, 高志军, 杨美红, 王瑞云, 乔治军. 糜子EST-SSR分子标记的开发及种质资源遗传多样性分析. *植物学报*, 2019, 54 (6): 723-732
He J L, Shi T T, Chen L, Wang H G, Gao Z J, Yang M H, Wang R Y, Qiao Z J. The genetic diversity of common millet (*Panicum miliaceum*) germplasm resources based on the EST-SSR markers. *Chinese Bulletin of Botany*, 2019, 54 (6): 723-732
- [43] 王瑞云, 刘笑瑜, 王海岗, 陆平, 刘敏轩, 陈凌, 乔治军. 用高基元微卫星标记分析中国糜子遗传多样性. *中国农业科学*, 2017, 50 (20): 3848-3870
Wang R Y, Liu X Y, Wang H G, Lu P, Liu M X, Chen L, Qiao Z J. Evaluation of genetic diversity of common millet (*Panicum miliaceum*) germplasm available in China using high motif nucleotide repeat SSR markers. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50 (20): 3848-3870
- [44] 薛亚鹏, 李元阳, 陈凌, 王海岗, 王瑞云, 乔治军. 山西省糜子DNA分子身份证的构建. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2022, 42 (1): 19-25
Xue Y P, Li Y Y, Chen L, Wang H G, Wang R Y, Qiao Z J. Construction of DNA molecular identity card of broomcorn millet germplasm in Shanxi province. *Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition*, 2022, 42 (1): 19-25
- [45] Liu K J, Muse S V. PowerMarker: An integrated analysis environment for genetic marker data. *Bioinformatics*, 2005, 21 (9): 2128-2129
- [46] Yeh F C, Boyle T J B. Population genetic analysis of codominant and dominant markers and quantitative traits. *Belgian Journal of Botany*, 1996, 129: 157
- [47] Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, Kumar S. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance and maximum parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution*, 2011, 28 (10): 2731-2739
- [48] 吴跃进, 陶亮之, 马伯军, 陈析丰, 刘斌美. 水稻早衰基因*ESL8*的遗传与定位. *作物学报*, 2023, 49 (3): 662-671
Wu Y J, Tao L Z, Ma B J, Chen X F, Liu B M. Heredity and fine mapping of an early-senescence leaf gene *ESL8* in rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2023, 49 (3): 662-671

- [49] 付美玉, 熊宏春, 周春云, 郭会君, 谢永盾, 赵林妹, 古佳玉, 赵世荣, 丁玉萍, 徐延浩, 刘录祥. 小麦矮秆突变体 *je0098* 的遗传分析与其矮秆基因定位. 作物学报, 2022, 48 (3): 580-589
Fu M Y, Xiong H C, Zhou C Y, Guo H J, Xie Y D, Zhao L S, Gu J Y, Zhao S R, Ding Y P, Xu Y H, Liu L X. Genetic analysis of wheat dwarf mutant *je0098* and molecular mapping of dwarfing gene. *Acta Agronomica Sinica*, 2022, 48 (3): 580-589
- [50] 周向阳, 赵亮, 狄佳春, 陈旭升. 2个抗虫棉的外源 *Bt* 基因分子鉴定及其染色体定位. 作物学报, 2019, 45 (9): 1440-1445
Zhou X Y, Zhao L, Di J C, Chen X S. Molecular identification and chromosomal mapping of exogenous *Bt* gene in two insect-resistant cotton varieties. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45 (9): 1440-1445
- [51] 李风. 玉米染色体片段代换系的构建及产量相关性状 QTL 定位. 武汉: 华中农业大学, 2013
Li F. Development of a set of chromosome segment substitution lines of maize and mapping QTL for yield related traits. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013
- [52] 陈小红, 何杰丽, 石甜甜, 邵欢欢, 王海岗, 陈凌, 高志军, 王瑞云, 乔治军. 基于转录组测序开发糜子 SSR 标记. 中国农业科学, 2020, 53 (10): 1940-1949
Chen X H, He J L, Shi T T, Shao H H, Wang H G, Chen L, Gao Z J, Wang R Y, Qiao Z J. Developing SSR markers of proso millet based on transcriptome sequencing. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53 (10): 1940-1949
- [53] 段政勇, 邢志, 王海岗, 陈凌, Santra Dipak K, 王瑞云, 乔治军. 用微卫星标记分析北方春糜子区黍稷的遗传差异. 山西农业科学, 2022, 50 (4): 494-503
Duan Z Y, Xing Z, Wang H G, Chen L, Santra D K, Wang R Y, Qiao Z J. Analysis of genetic differences of broomcorn millet in Northern spring-sowing ecotope by microsatellite markers. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2022, 50 (4): 494-503
- [54] 王舒婷, 何杰丽, 石甜甜, 陈凌, 王海岗, 王瑞云, 乔治军. 利用微卫星标记分析山西糜子的遗传多样性. 植物遗传资源学报, 2019, 20 (1): 69-78
Wang S T, He J L, Shi T T, Chen L, Wang H G, Wang R Y, Qiao Z J. Genetic diversity analysis of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) of Shanxi province using microsatellite markers. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20 (1): 69-78
- [55] 陈雅琼. 基于 SSR 荧光标记和毛细管电泳检测技术的我国烟草审(认)定品种遗传多样性研究. 北京: 中国农业科学院, 2011
Chen Y Q. The genetic diversity of tobacco varieties certificated in China based on fluorescent SSR and capillary electrophoresis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011
- [56] 赵久然, 王凤格, 郭景伦, 陈刚, 廖琴, 孙世贤, 陈如明, 刘龙洲. 中国玉米新品种 DNA 指纹库建立系列研究 II. 适于玉米自交系和杂交种指纹图谱绘制的 SSR 核心引物的确定. 玉米科学, 2003, 11 (2): 3-5
Zhao J R, Wang F G, Guo J L, Chen G, Liao Q, Sun S X, Chen R M, Liu L Z. Series of research on establishing DNA fingerprinting pool of Chinese new maize cultivars II. Confirmation of a set of SSR core primer pairs. *Journal of Maize Sciences*, 2003, 11 (2): 3-5
- [57] 李红琴, 刘宝龙, 张波, 张怀刚. 青海省审定小麦品种 SSR 遗传多样性分析及分子身份证的建立. 作物杂志, 2020 (3): 60-65
Li H Q, Liu B L, Zhang B, Zhang H G. Analysis of genetic diversity and establishment of molecular ID of the wheat cultivars registered in Qinghai using SSR. *Crops*, 2020 (3): 60-65
- [58] 李春花, 陈蕤坤, 王艳青, 尹桂芳, 卢文洁, 孙道旺, 吴斌, 王莉花. 利用 SSR 标记构建云南苦荞种质资源分子身份证. 分子植物育种, 2019, 17 (5): 1575-1582
Li C H, Chen R K, Wang Y Q, Yin G F, Lu W J, Sun D W, Wu B, Wang L H. Establishment of the molecular ID for Yunnan tartary buckwheat germplasm resources based on SSR marker. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17 (5): 1575-1582
- [59] 胡玉璐, 姜百灵, 陈凌, 王海岗, 曹晓宁, 王瑞云, 乔治军. 利用 SSR 创建中国北方黍稷资源 DNA 身份证. 山西农业科学, 2022, 50 (4): 478-485
Hu Y L, Jiang B L, Chen L, Wang H G, Cao X N, Wang R Y, Qiao Z J. Using SSR to create DNA identity cards of broomcorn millet resources in Northern China. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2022, 50 (4): 478-485



图中数字为糜黍试材的编号

The number is the code of the millet test material in the figure

附图 1 258 份糜黍试材的 DNA 分子身份证

Supplement Fig.1 DNA molecular identification cards of 258 broomcorn millet test materials

附表 1 258 份糜黍试材信息表

Supplement Table 1 Information table of 258 broomcorn millet test materials

统一编号	序号	品种名称	品种来源
Code	Number	Name	Source
0478	1	黄旗糜子	呼盟莫旗
0479	2	莫旗小黄糜子	呼盟莫旗
0480	3	莫旗粘蹦	呼盟莫旗
0481	4	扎兰屯白黍子	呼盟扎兰屯
0482	5	呼盟黑粘糜	呼盟
0484	6	呼盟狸黍子	呼盟
0488	7	左中旗红粘糜	哲盟左中旗
0490	8	左中旗黄糜子	哲盟左中旗
0492	9	左中旗高粱糜	哲盟左中旗
0494	10	左中旗黑粘糜	哲盟左中旗
0495	11	左中旗黑黍子	哲盟左中旗
0496	12	开鲁笨篱头	哲盟开鲁
0500	13	开鲁白黍子	哲盟开鲁
0504	14	库仑黄黍子	哲盟库伦旗
0505	15	奈曼大黄黍	哲盟奈曼旗
0507	16	奈曼白黍子	哲盟奈曼旗
0510	17	哲盟黍子	哲盟农科所
0512	18	阿旗红黍子	昭盟阿旗
0514	19	阿旗高粱黍	昭盟阿旗
0516	20	阿旗大黄黍	昭盟阿旗
0520	21	阿旗白黍子	昭盟阿旗
0522	22	巴林左红黍子	昭盟巴林左旗
0523	23	巴林左高粱黍	昭盟巴林左旗
0525	24	巴林左挖塔黍	昭盟巴林左旗
0527	25	林西大红黍	昭盟林西
0530	26	林西八升米	昭盟林西
0532	27	林西小白黍	昭盟林西
0534	28	林西大黑黍	昭盟林西
0535	29	克旗大红黍	昭盟克旗
0537	30	克旗植黄黍	昭盟克旗
0538	31	赤峰黄黍子	昭盟赤峰
0540	32	喀旗大红黍	昭盟喀旗
0542	33	喀旗大直黄黍	昭盟喀旗
0545	34	宁城直黄黍	昭盟宁城
0547	35	宁城大秋黍	昭盟宁城
0550	36	宁城大白黍	昭盟宁城
0553	37	宁城本地大秋黍	昭盟宁城
0556	38	商都青黍子	乌盟商都
0557	39	兴和玉米黍	乌盟兴和
0558	40	丰镇大红黍	乌盟丰镇

0559	41	和林小红黍	乌盟和林
0560	42	清水河紫秆黄黍	乌盟清水河
0562	43	清水河黑黍子	乌盟清水河
0564	44	清水河一点青黍	乌盟清水河
0565	45	乌盟大青黍	乌盟农科所
0566	46	五原红黍	巴盟五原
0575	47	临河红黍	巴盟临河
0592	48	临河一点青	巴盟临河
0595	49	杭后大红黍	巴盟杭后
0608	50	巴 826 黄黍子	巴盟
0615	51	呼市黄罗黍	呼市郊区
0616	52	呼市大白黍子	呼市郊区
0617	53	杨六半白黍子	呼市托县
0619	54	包头紫秆大红黍	包头市郊
0620	55	包头黄黍子	包头市郊
0621	56	包头大白黍	包头市郊
0623	57	达旗紫秆大红黍子	伊盟达旗
0625	58	达旗大红黍子	伊盟达旗
0628	59	达旗烟熏红黍子	伊盟达旗
0631	60	达旗黄罗黍子	伊盟达旗
0637	61	杭旗紫秆大红黍	伊盟杭旗
0639	62	杭旗大白黍	伊盟杭旗
0640	63	准旗紫秆大红黍	伊盟准旗
0650	64	准旗酱黄黍	伊盟准旗
0662	65	准旗青黍子	伊盟准旗
0663	66	伊旗紫秆大红 黍	伊盟伊旗
0668	67	伊旗黑黍子	伊盟伊旗
0671	68	乌旗黑壳蚤黍	伊盟乌审旗
0672	69	鄂旗白软糜	伊盟鄂旗
0675	70	鄂旗小黑黍	伊盟鄂旗
0676	71	伊盟大红黍子	伊盟
0679	72	伊盟 79083 黍	伊盟
0684	73	伊盟良 56-2 黍	伊盟
0688	74	伊盟 10-02-2-2 黍	伊盟
0692	75	伊盟 81-21 黍	伊盟
0694	76	伊盟 81022 黍	伊盟
0698	77	伊盟双粒黍 (2)	伊盟
0701	78	伊盟黑乌皮白黍	伊盟
2050	79	莫旗稷子	呼盟莫旗
2051	80	布旗白糜子	呼盟布特哈旗
2052	81	黑拉尔黑稷子	呼盟海拉尔
2055	82	科左中红散稷	哲盟科左宗旗
2058	83	科左中散糜	哲盟科左宗旗
2060	84	科左中厘散稷	哲盟科左宗旗

2070	85	库伦红糜子	哲盟库伦旗
2072	86	库伦黄糜子	哲盟库伦旗
2076	87	库伦散糜子	哲盟库伦旗
2083	88	库伦白糜子	哲盟库伦旗
2084	89	奈曼大红糜	哲盟奈曼旗
2087	90	奈曼红糜子	哲盟奈曼旗
2090	91	奈曼大枝黄糜	哲盟奈曼旗
2096	92	奈曼黑糜子	哲盟奈曼旗
2098	93	哲盟黄糜子	哲盟
2099	94	哲盟 16 号	哲盟
2100	95	哲盟 21 号	哲盟
2101	96	阿旗黑糜子	昭盟阿旗
2103	97	巴林左黑糜子	昭盟巴林左旗
2104	98	巴林右红糜子	昭盟巴林右旗
2106	99	巴林右大黄黍	昭盟巴林右旗
2110	100	林西黍谷	昭盟林西
2113	101	克旗黄糜子	昭盟克旗
2116	102	克旗白糜	昭盟克旗
2119	103	赤峰青糜子	昭盟赤峰
2120	104	喀旗黄糜子	昭盟喀旗
2122	105	喀旗黑黍谷	昭盟喀旗
2125	106	宁城黍谷	昭盟宁城
2126	107	多伦黄糜子	锡盟多伦
2127	108	多伦灰糜子	锡盟多伦
2129	109	商都三黄糜子	乌盟商都
2130	110	商都四黄糜子	乌盟商都
2131	111	后旗黄糜子	乌盟察右旗
2132	112	察右中二黄糜子	乌盟察右中旗
2133	113	察右中雪散糜	乌盟察右中旗
2134	114	农乌五号红糜	乌盟达茂旗
2136	115	农乌 4 号红糜	乌盟达茂旗
2138	116	农西 1 黄糜	乌盟达茂旗
2141	117	农石 3 号黑糜	乌盟达茂旗
2143	118	农西 1 号一点红糜	乌盟达茂旗
2144	119	武川小黄糜子	乌盟武川
2147	120	兴和白糜子	乌盟兴和
2149	121	兴和小青糜	乌盟兴和
2152	122	察右钱二黄糜	乌盟察右肃旗
2154	123	丰镇笄帚糜	乌盟丰镇
2155	124	丰镇大白糜	乌盟丰镇
2156	125	凉城散头小青子	乌盟凉城
2160	126	和林红糜子	乌盟和林
2165	127	和林套糜子	乌盟和林
2170	128	和林黑糜子	乌盟和林

2174	129	清水河大红糜子	乌盟清水河
2176	130	清水河小糜子	乌盟清水河
2177	131	清水河小红糜	乌盟清水河
2179	132	清水河大青糜子	乌盟清水河
2181	133	清水河香色糜子	乌盟清水河
2182	134	钱旗红糜子	巴盟前旗
2186	135	钱旗紫秸秆糜	巴盟前旗
2195	136	钱旗黄糜子	巴盟前旗
2198	137	钱旗黑糜子	巴盟前旗
2199	138	中旗紫秆黄糜	巴盟中旗
2202	139	中旗笄帚糜	巴盟中旗
2210	140	五原黄糜子	巴盟五原
2227	141	五原牛蛋糜子	巴盟五原
2237	142	五原小青糜	巴盟五原
2248	143	临河二黄糜子	巴盟临河
2262	144	临河小青糜	巴盟临河
2270	145	杭后黄糜子	巴盟杭后
2280	146	杭后糜子	巴盟杭后
2291	147	杭后米仓 155	巴盟杭后
2299	148	巴盟红糜子	巴盟
2337	149	巴盟小白糜	巴盟
2349	150	巴盟青扫帚糜	巴盟
2350	151	呼市红糜子(1)	呼市
2351	152	呼市红糜子(2)	呼市
2352	153	呼市小黄糜子	呼市
2353	154	托县小红糜子	呼市托县
2355	155	托县大黄糜子	呼市托县
2357	156	托县黑乌皮	呼市托县
2358	157	托县小青糜子	呼市托县
2359	158	土右紫秆黄糜	包头市土右旗
2360	159	土右大黄糜子	包头市土右旗
2361	160	包头紫秸秆糜	包头市
2362	161	包头糜子	包头市
2388	162	杭旗二黄糜子	伊盟杭旗
2390	163	杭旗大白糜子	伊盟杭旗
2391	164	东胜大红糜子	伊盟东胜
2394	165	东胜大黄糜子	伊盟东胜
2396	166	东胜二黄糜子	伊盟东胜
2413	167	准旗紫秆红	伊盟准旗
2432	168	准旗黄糜子	伊盟准旗
2452	169	伊旗二红糜子	伊盟伊旗
2455	170	伊旗二黄糜子	伊盟伊旗
2457	171	伊旗小白糜	伊盟伊旗
2460	172	乌审旗二红糜	伊盟乌审旗

2462	173	乌审旗小黄糜	伊盟乌审旗
2465	174	乌审旗一点红白糜	伊盟乌审旗
2468	175	鄂旗常心红	伊盟鄂旗
2469	176	鄂旗大黄糜	伊盟鄂旗
2472	177	鄂旗紫秆黄	伊盟鄂旗
2491	178	伊盟二黄糜子(1)	伊盟
2499	179	内糜3号	伊盟
4266	180	大枝黄	哲盟开鲁
4267	181	小白黍	锡盟多伦
4268	182	小红黍	乌盟兴和
4279	183	内黍一点红	乌盟察右后旗
4280	184	大白黍	乌盟和林
4285	185	74210-6	伊盟达旗
4862	186	70 黍 238 小青糜子	呼和浩特
4866	187	红糜子	哲盟科左中旗
4869	188	大黄糜	哲盟通辽
4872	189	青糜子	锡盟多伦县
4873	190	大红糜	乌盟兴和县
4875	191	二黄糜	乌盟兴和县
4877	192	小青糜	乌盟兴和县
4878	193	双粒糜	内蒙农业厅
4879	194	大黄糜	包头市固阳县
4880	195	拖地大红糜	巴盟
4881	196	狼山 462	巴盟
4882	197	巴 75-1	巴盟
4894	198	苔帚糜	伊盟准旗
4896	199	二黄糜	伊盟达旗
4899	200	二黄糜	伊盟东胜
5794	201	8430-1-6-1	伊盟
5804	202	8311-3-3-1-1	伊盟
5813	203	黑黍子	伊盟达旗
5816	204	黑黍	伊盟达旗
5819	205	8218-7-2-2	伊盟
5827	206	8114-15-8-1	伊盟
5834	207	8403-14-4	伊盟
5885	208	8308-9-3	伊盟
5926	209	红疙塔黍	翁旗
5928	210	大红黍	翁旗
5930	211	紫秆黍	翁旗
5932	212	大黄黍	翁旗
5934	213	黍选3号	翁旗
5937	214	小红黍	? 郊区
5939	215	小红黍	敖汉
5941	216	大黄黍	敖汉

5944	217	眼皮薄大白黍	敖汉
6656	218	8303-8-5-2	伊盟
6684	219	黄秆黄糜	内蒙达旗
6685	220	紫秆红糜	内蒙达旗
6687	221	黄秆黑糜	内蒙达旗
6688	222	黄糜	内蒙达旗
6742	223	8406-6-2	伊盟
6754	224	8406-3-1	伊盟
6760	225	8312-20-3	伊盟
6763	226	野糜子	伊盟东胜
6764	227	典型紫秆野糜	伊盟东胜
6768	228	三十三套糜	翁旗
6770	229	320 糜子	翁旗
6772	230	黍谷	翁旗
6774	231	青糜子	敖汉
7224	232	东胜野糜	内蒙伊盟
7235	233	黄糜子	科左后旗
7236	234	245 号黄糜	巴盟
7238	235	大红糜子	巴盟
7240	236	573 号黄糜子	巴盟
7241	237	333 大红糜	巴盟
7242	238	红糜子	东三盟
7243	239	莫旗小黄糜	呼盟
7244	240	伊盟大红糜	伊盟
7246	241	伊盟大黄糜	伊盟
7248	242	内糜一号	伊盟
7249	243	清水河大红糜	乌盟
7250	244	清水河大青糜	乌盟
7276	245	双耳糜	内蒙古
7282	246	笊头二黄糜	内蒙古
7285	247	准旗二黄	内蒙古
7286	248	62—77	内蒙古
7595	249	D75-2	内蒙
7597	250	D75-4	内蒙
7600	251	D75-7	内蒙
7672	252	A85-1	内蒙
7712	253	A85-41	伊盟
7874	254	E75-15	内蒙
7946	255	A85-99	内蒙
8082	256	内 01-11-6	伊盟
8119	257	内 01-2-2-1	伊盟
8121	258	同黍 1 号	伊盟

附表 2 258 份糜黍试材的字符串

Supplement Table 2 Character string of 258 broomcorn millet test materials

序号	统一编号	字符串	序号	统一编号	字符串
Number	Code	Character string	Number	Code	Character string
1	0478	01452422151300	130	2176	04000305191438
2	0479	00452902150300	131	2177	61000305191459
3	0480	00382904150300	132	2179	04000305191343
4	0481	00003104152400	133	2181	00004005001637
5	0482	00382428152100	134	2182	60004005191440
6	0484	01262920151300	135	2186	00000000191937
7	0488	01282924151300	136	2195	59010305251337
8	0490	01452926151300	137	2198	04003605251737
9	0492	17391817062000	138	2199	04013600251737
10	0494	00402645342400	139	2202	04003805260739
11	0495	00523126151300	140	2210	00003900261337
12	0496	00000104000200	141	2227	00003800260739
13	0500	17531704151300	142	2237	00013500260737
14	0504	03520926151300	143	2248	00003700261337
15	0505	17272627151300	144	2262	04013305231337
16	0507	00000026061800	145	2270	66013500211437
17	0510	20401626152300	146	2280	04083505391437
18	0512	20411421151400	147	2291	04093505391437
19	0514	03011045062500	148	2299	04173505031437
20	0516	03601004101900	149	2337	04013900231337
21	0520	17591418101000	150	2349	04183505031437
22	0522	03010134030200	151	2350	04013505211435
23	0523	00352021151300	152	2351	04003900211435
24	0525	03012125172100	153	2352	04014100290935
25	0527	00010000020000	154	2353	04014105211434
26	0530	96010200102500	155	2355	04013905211035
27	0532	00502903031400	156	2357	04013905210737
28	0534	05001000061300	157	2358	64013905210735
29	0535	18011000061300	158	2359	61013905201335
30	0537	52231429101400	159	2360	04013905211435
31	0538	53041400071400	160	2361	04014300230135
32	0540	55582900101300	161	2362	00013005211435
33	0542	54241000101318	162	2388	00012805210935
34	0545	58013100122117	163	2390	00011505251400
35	0547	41192000111317	164	2391	00011105232200
36	0550	49251400251417	165	2394	04013405230900
37	0553	48011000081717	166	2396	00013405230900
38	0556	45571600091317	167	2413	00013505240900
39	0557	03581400001417	168	2432	04011205240900

40	0558	09051400191415	169	2452	04012805211300
41	0559	43011400262121	170	2455	04012205231300
42	0560	27011600182521	171	2457	61401505230900
43	0562	94011600071723	172	2460	00401305290900
44	0564	30011000181723	173	2462	04401105291700
45	0565	95011400311423	174	2465	00522600292500
46	0566	28000200310121	175	2468	00401405230900
47	0575	31011000102125	176	2469	00401100231700
48	0592	42010200332555	177	2472	04522705291300
49	0595	105010100132125	178	2491	00481505271300
50	0608	71013100132533	179	2499	67511205211400
51	0615	46010100322533	180	4266	00451205210700
52	0616	105000000102523	181	4267	04321505211400
53	0617	106560000311823	182	4268	00451405211300
54	0619	72010000322103	183	4279	104343005211300
55	0620	63014200311622	184	4280	04551505210100
56	0621	04012600321323	185	4285	69311505211400
57	0623	00010000342132	186	4862	04471905211400
58	0625	62011400341423	187	4866	04291905251400
59	0628	91011000341726	188	4869	104471505251000
60	0631	93000000342126	189	4872	04551405311300
61	0637	79011600341326	190	4873	104301505311400
62	0639	81013100341344	191	4875	68303005311400
63	0640	103121400311619	192	4877	04302805310700
64	0650	65000000030147	193	4878	00363043211411
65	0662	78011000140132	194	4879	00371443201411
66	0663	47011000151730	195	4880	00401443211310
67	0668	83521000141757	196	4881	00412449211322
68	0671	82401000141748	197	4882	00412446211322
69	0672	70000100100046	198	4894	00362549211410
70	0675	82011019162128	199	4896	00522146211712
71	0676	80011000130727	200	4899	00362449211710
72	0679	57012100130029	201	5794	01401543211310
73	0684	79541027300631	202	5804	03141439211411
74	0688	70011004000105	203	5813	17142544211410
75	0692	00011028350154	204	5816	35012549211410
76	0694	80521031041760	205	5819	35012549211310
77	0698	37010127400751	206	5827	01522446211310
78	0701	44601028382150	207	5834	01132543211407
79	2050	70010104000049	208	5885	00013041252110
80	2051	92010128480245	209	5926	17012442282417
81	2052	86032922441745	210	5928	00011643281717
82	2055	84462328461451	211	5930	17013836221317
83	2058	76401027451751	212	5932	21011443221310

84	2060	77401030361751	213	5934	21011446221718
85	2070	85400730051751	214	5937	101112546220707
86	2072	74402602370754	215	5939	20152546210407
87	2076	90441427001351	216	5941	00010639232117
88	2083	88440627001754	217	5944	19014242291315
89	2084	87102416471451	218	6656	97014238221315
90	2087	87401027000654	219	6684	99014248211715
91	2090	73421422471351	220	6685	99014346211416
92	2096	84432422001351	221	6687	100014244211315
93	2098	88432432011351	222	6688	99013938212415
94	2099	75430823471352	223	6742	98014237212515
95	2100	00400127002553	224	6754	98012947221315
96	2101	102222421471456	225	6760	02010540271700
97	2103	61000405001340	226	6763	33014335231300
98	2104	00010005501340	227	6764	24014235231700
99	2106	00080005491340	228	6768	23014238211700
100	2110	04210005011340	229	6770	23014233211700
101	2113	04000005031441	230	6772	51133233211308
102	2116	04160005481340	231	6774	56133900000012
103	2119	04000005001304	232	7224	50023206211402
104	2120	61000005031338	233	7235	40133908211400
105	2122	04000005030740	234	7236	36153908211402
106	2125	00210005501337	235	7238	26133911211302
107	2126	00000005001339	236	7240	32483910211402
108	2127	04000005001338	237	7241	08483910211402
109	2129	75000005001337	238	7242	25153901211400
110	2130	04000005031337	239	7243	29133911210302
111	2131	0000000002137	240	7244	39483911211400
112	2132	00060005500538	241	7246	38483908211400
113	2133	04000005031442	242	7248	16483208211209
114	2134	00190005000538	243	7249	10483911211209
115	2136	00000005350838	244	7250	06493909201006
116	2138	00200005420537	245	7276	10523915211201
117	2141	00210005421438	246	7282	07493908211309
118	2143	00000005351437	247	7285	10353911211306
119	2144	00070005400537	248	7286	10363911211300
120	2147	00190005410538	249	7595	13343913211213
121	2149	00080005401337	250	7597	11343911210715
122	2152	00000005000536	251	7600	12343914211315
123	2154	00210005430537	252	7672	34343914211415
124	2155	00080005391438	253	7712	13343908211214
125	2156	00000005000540	254	7874	13343907210714
126	2160	00240005390538	255	7946	15333908211216
127	2165	00000005001324	256	8082	22383912271115

128	2170	60000305191438	257	8119	14002511251510
129	2174	89000305191358	258	8121	90000410271720
