

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2020.91077

新疆冬小麦地方品种与育成品种基于 SNP 芯片的遗传多样性分析

马艳明^{1,2} 娄鸿耀¹ 陈朝燕¹ 肖菁² 徐麟² 倪中福¹ 刘杰^{1,*}

¹ 中国农业大学农学院, 北京 100193; ² 新疆农业科学院农作物品种资源研究所, 新疆乌鲁木齐 830091

摘要: 新疆是我国西北重要的小麦优势产区和消费区。解析新疆冬小麦地方品种与育成品种之间的遗传多样性和亲缘关系, 对新疆冬小麦育种中杂交组合的合理选配以及后代选择具有重要的指导意义。本研究利用小麦 55K SNP (single nucleotide polymorphism) 芯片对 134 份新疆冬小麦地方品种及 54 份育成品种进行全基因组扫描, 估算其品种间的遗传距离, 揭示其遗传多样性。结果表明, 所有 SNP 位点的多态性比率达到 95.62% (50,743/53,063)。每条染色体分布 1068~2616 个多态性位点, 多态性标记在基因组间分布呈现 A>B>D。188 个品种间的两两遗传距离在 0.002~0.723 之间, 平均为 0.378。其中 134 个地方品种两两之间的遗传距离在 0.002~0.400 之间, 平均为 0.070; 54 个育成品种两两之间的遗传距离在 0.004~0.337 之间, 平均为 0.114; 134 个地方品种与 54 个育成品种之间的遗传距离在 0.605~0.723 之间, 平均为 0.699。聚类结果显示可将所有材料分为 10 个不同类群。综合 SNP 和系谱分析, 育成品种与地方品种之间的遗传差异最大, 其次是育成品种之间, 而地方品种之间遗传差异最小。鉴于育成与地方品种之间较大的遗传差异, 新疆冬小麦品种可以利用地方种来丰富其育种的种质基础, 拓宽遗传背景, 进而提高当地小麦育种水平。本研究为新疆冬小麦品种选育和改良提供了重要的理论指导。

关键词: 新疆; 冬小麦; 地方品种; 育成品种; SNP; 遗传差异

Genetic diversity assessment of winter wheat landraces and cultivars in Xinjiang via SNP array analysis

MA Yan-Ming^{1,2}, LOU Hong-Yao¹, CHEN Zhao-Yan¹, XIAO Jing², XU Lin², NI Zhong-Fu¹, and LIU Jie^{1,*}

¹ College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; ² Institute of Crop Germplasm Resource, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China

Abstract: Xinjiang is a major wheat production and consumption area in northwest China. Assessment of genetic diversities of wheat landraces and cultivars in Xinjiang has great benefit for wheat cultivar breeding and improvement in this area. In this study, a wheat 55K SNP (single nucleotide polymorphism) chip was employed to perform genome-wide scanning for the genetic diversities of 188 winter wheat varieties from Xinjiang, including 134 landraces and 54 modern cultivars. Our results showed that the polymorphism ratio of the SNP loci was about 95.62% (50,743/53,063). Each chromosome contained 1068–2616 polymorphic loci, and the polymorphic SNP marker number in three genomes was A > B > D. The genetic distance among the 188 wheat varieties ranged from 0.002 to 0.723, with an average of 0.378. The genetic distance of 134 landraces was between 0.002 and 0.400, with an average of 0.070, whereas that of 54 modern cultivars was between 0.004 and 0.337, with an average of 0.114. The genetic distance between landraces and modern cultivars was between 0.605 and 0.723, with an average of 0.699. The clustering results showed that all tested wheat materials could be divided into ten different groups. According to the comprehensive analyses of SNP and pedigree, the genetic diversity was the largest between the cultivars and the landraces, medium between different land-

本研究由国家农作物种质资源共享服务平台(新疆)项目(NICGR2015-029)和科技部科技基础性工作专项“西北干旱区抗逆农作物种质资源调查”项目(2011FY110200)资助。

This study was supported by the National Ministry of Science and Technology and the Ministry of Finance's National Crop Germplasm Resources Sharing Service Platform (Xinjiang) Project (NICGR2015-029) and the Special Items for Basic Science and Technology Work of Science and Technology Ministry, “Investigation on Germplasm Resources of Stress-resistant Crops in Arid Area of Northwest China” (2011FY110200).

* 通信作者(Corresponding author): 刘杰, E-mail: liujie13251@163.com, Tel: 010-62734072

第一作者联系方式: E-mail: ymma213@sina.com

Received (收稿日期): 2019-12-27; Accepted (接受日期): 2020-03-24; Published online (网络出版日期): 2020-04-28.

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20200428.1250.002.html>

landraces, and small between modern cultivars. Because the genetic diversity of Xinjiang winter wheat cultivars is not rich enough, the wheat landraces should be used as the breeding materials in the future. Our data provide novel scientific basis and guidance for breeding and improvement of wheat cultivars in Xinjiang.

Keywords: Xinjiang; winter wheat; landraces; modern cultivars; SNP; genetic diversity

小麦(*Triticum aestivum* L.)是我国三大主粮作物之一,种植面积广、总产量高^[1]。新疆是我国西北重要的小麦优势产区和消费区,冬小麦播种面积占全区小麦总面积的70%以上^[2-3]。新中国成立以来,新疆南北疆的冬小麦种植区都经历了“地方品种—引进品种—自育品种”的更替。事实证明,小麦品种改良在增产中取得了巨大成效。然而,随着小麦品种产量潜力不断提高,新育成品种也出现了品种类型相似和抗病、抗逆性较差的问题,在产量和适应性上没有大的突破^[4-5]。这可能与育种过程中长期对产量、抗性、品质等性状的连续定向选择,造成育成品种遗传基础日益狭窄、遗传多样性下降有关。遗传变异是遗传育种的基础,认识和了解遗传变异将对育种过程中杂交组合的合理选配以及后代选择提供指导。因此,非常有必要结合利用最新的分子标记技术手段,对新疆的冬小麦地方品种和育成品种(系)及其育种亲本材料的遗传基础和亲缘关系全面深入了解,为亲本选配、分子标记辅助选择和小麦育种实践提供应用与指导。

单核苷酸多态性(single nucleotide polymorphism, SNP)是美国学者Lander于1996年提出的第3代DNA遗传标记^[6],因与芯片技术和基因克隆相结合,具有数量多、易于自动化检测分型和通量高等优点,在小麦遗传图谱构建、基因定位、遗传多样性分析、农艺性状关联分析、分子标记辅助育种等方面发挥着重要作用。随着高通量测序技术的快速发展,先后开发出小麦9K、90K、660K、55K等小麦SNP芯片,其中小麦55K SNP芯片是由中国农科院作物科学研究所小麦基因组与基因资源研究团队在小麦660K SNP芯片的基础上开发的,经过了数千份国内小麦品种材料的检验,相较于9K、90K和660K芯片,其有效标记的比例更高,具有更高的利用价值^[7-8]。目前利用小麦55K SNP芯片仅见于构建高密度遗传连锁图^[6-7]以及关联分析方面^[9-10],尚未见有关利用小麦55K SNP芯片开展小麦种质遗传多样性研究的报道。

由于小麦品种具有很强的区域适应性,在不同种植区具有明显的地区特征和习性,各地区育种目标也不完全相同,针对特定区域的小麦品种材料及

育种实践开展有关研究非常必要。本研究利用小麦55K SNP标记技术揭示134个新疆本土冬小麦地方品种和54个新疆冬小麦育成品种的遗传多样性和亲缘关系,并探讨新疆冬小麦品种在改良过程中基因多样性的变化趋势,全面阐述新疆冬小麦种质的遗传特性,为小麦育种实践提供指导和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及DNA提取

选用188个新疆冬小麦品种资源,其中地方品种134个,育成品种54个,均为新疆农业科学院农作物品种资源研究所收集保存的材料,试验采用2015年10月种植,2016年7月收获的自花授粉种子。全部试验材料于2016年10月在中国农业大学小麦遗传育种温室种植,植株长至二叶一心时,取小麦叶片,按Saghai-Maroo等^[11]的CTAB法提取基因组DNA。

1.2 基因型分析

利用中国农业科学院作物科学研究所小麦基因组与基因资源研究团队开发的小麦55K SNP芯片对188个品种进行全基因组扫描。小麦55K芯片包含55,000个左右SNP标记,均匀分布在小麦21条染色体上,每条染色体平均有2600个左右SNP,标记间的平均遗传距离约为0.1 cM,平均物理距离小于300 kb,并具有完整而详细的基因组信息。

1.3 数据分析

针对SNP芯片的原始扫描结果,利用Affymetrix的Axiom Analysis Suite软件分型。选择分型成功率(Call rate)>0.8、缺失率<10%、最小等位基因频率(MAF)>0.05过滤的50,743个SNP位点,利用PowerMarker V3.25计算多态信息含量(PIC)和品种之间的遗传距离 $Nei^{[12]}$ 。根据 Nei 的遗传距离,通过MEGA6软件(<http://www.megasoftware.net/>)构建遗传聚类树状图。

2 结果与分析

2.1 多态性SNP位点的分布

在分布于21条染色体的53,063个SNP位点中,共计有50,743个SNP位点检测到多态性,多态性比率为95.62% (50,743/53,063)。每条染色体分布

1068~2616 个多态性位点, 6D 染色体上最少, 2A 染色体上最多, 平均每条染色体 2416 个(图 1-a)。除 6D 外, 染色体间标记数量差异不大(图 1-a)。SNP 标记在 A、B 和 D 基因组间分布比较均匀, A 基因组的标记数最多, 有 17,702 个, 占 34.88%; B 基因组居中,

有 16,943 个, 占 33.39%; D 基因组的标记数最少, 有 16,098 个, 占 31.73%。多态性 SNP 位点在 7 个部分同源群中的分布数量在 5696~7797 之间, 第 3 部分同源群最多, 第 6 部分同源群最少, 分布从多到少依次为 3>2>4>5>1>7>6 (图 1-b)。

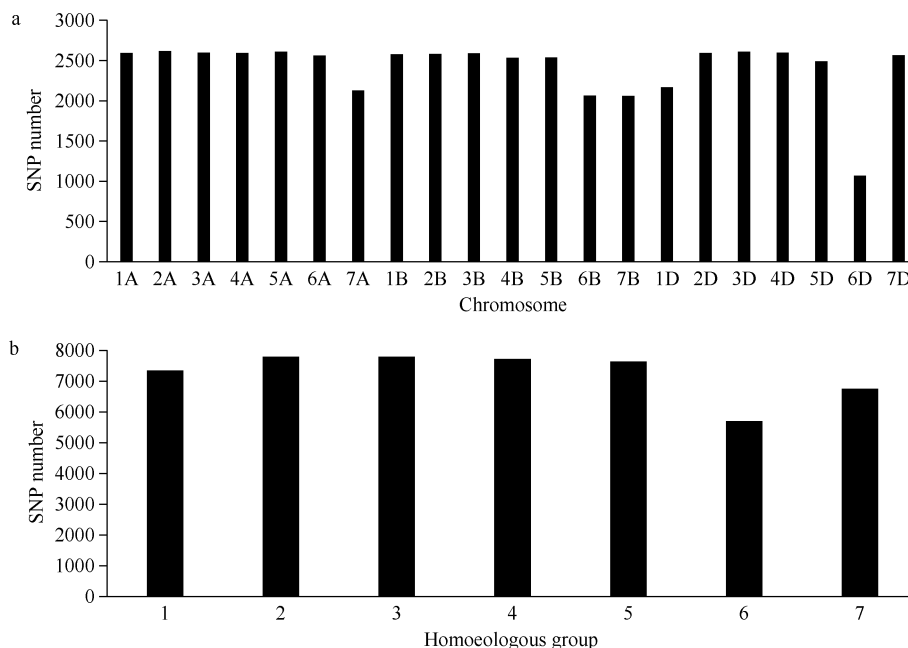


图 1 多态性位点在染色体(a)和部分同源群(b)上的分布

Fig. 1 Distributions of polymorphic SNPs on individual chromosome (a) and each homoeologous group (b)

2.2 SNP 标记多态性信息含量及品种间的遗传距离

基于 SNP 标记数据计算品种的多态性信息含量 (polymorphic information content, PIC) 值, 变异范围在 0.090~0.375 之间, 平均为 0.265。134 个地方品种的 PIC 值平均为 0.229, 最高 0.374, 最低 0.090; 54 个育成品种的 PIC 值平均为 0.299, 最高 0.375, 最低 0.099 (表 1)。

利用 SNP 标记数据计算 188 个品种两两之间的遗传距离, 共获得 17,580 个遗传距离值, 范围在 0.002~0.723 之间, 平均为 0.378 (表 1)。巴州库尔勒市的名为阿克库斯格的地方品种与巴州若羌县的名为冬麦的地方品种之间的遗传距离最小(0.002), 喀什地区莎车县的地方品种白芒白冬麦与育成品种新冬 7 号之间的遗传距离最大(0.723)。

按地方品种、育成品种、地方品种与育成品种之间 3 组比较遗传距离(表 1), 134 个地方品种两两之间的遗传距离值在 0.002~0.400 之间, 平均为 0.070, 巴州库尔勒市的名为阿克库斯格的地方品种与巴州若羌县的名为冬麦的地方品种之间的遗传

距离最小(0.002), 博乐市的地方品种小红芒与和田市的地方品种卡衣木江之间的遗传距离最大(0.400)。134 个地方品种中, 有 26 个来源地不同、品种名皆为“白冬麦”的地方品种, 其中 7 个来自北疆各地区, 2 个来自东疆的哈密地区, 17 个来自南疆各地区。26 个“白冬麦”之间的遗传距离在 0.003~0.263 之间, 2 个分别来自乌鲁木齐市与昌吉州呼图壁县的白冬麦之间的遗传距离最小, 实际这 2 个品种的来源地之间的地理距离也较小; 2 个分别来自北疆昌吉州阜康县与南疆喀什地区叶城县的白冬麦之间的遗传距离最大, 实际这 2 个品种来源地之间的地理距离也较大。

54 个育成品种两两之间的遗传距离值在 0.004~0.337 之间, 平均为 0.114, 新冬 11 号与新冬 12 号之间的遗传距离最小, 巴冬 1 号与新冬 20 号之间的遗传距离最大。由系谱可知, 新冬 11 号与新冬 12 号的母本均为杂交组合热衣木夏/亥恩·亥德; 巴冬 1 号母本是新疆的冬小麦地方品种阿克库斯格, 父本是意大利引进冬小麦品种奥维斯特, 而新冬 20 是由河北省农林科学院育成的冀 87-5018 系选而来。

134 个地方品种与 54 个育成品种之间的遗传距离在 0.605~0.723 之间, 平均为 0.699, 说明新疆冬小麦地方品种与育成品种之间的遗传差异大于地方品种之间的遗传差异, 也大于育成品种之间的遗传差异。伊宁市的地方品种无芒麦与育成品种奎冬 5 号之间的遗传距离最小(0.605), 喀什地区莎车县的地方品种白芒白冬麦与育成品种新冬 7 号之间的遗传距离最大(0.723)。

以 0.02 为组距进行次数分布频数分析(图 2), 188 个品种间的遗传距离分布频数呈现 2 个波峰曲线, 一个是地方小麦品种之间以及育成品种之间的遗传距离分布频数曲线, 在 0.1 处密度最大, 主要分布在 0.06~0.12 之间, 占 26.10% (4588/17,580); 另一个是地方品种与育成品种之间的遗传距离分布频数曲线, 在 0.72 处分布密度最大, 主要分布在 0.68~0.72 之间, 占 36.39% (6397/17,580)。

2.4 聚类分析

根据所有小麦品种的 SNP, 利用 PowerMarker V3.25 得到 188 个小麦材料两两之间的遗传距离矩阵, 并构建了 NJ 聚类图(图 3)。通过聚类, 我们将所有小麦材料分为 10 个不同类群, 其中第 I 类(47 个品种)和第 II 类(7 个品种)均为育成品种, 其余类群均为地方品种, 其中第 III 类有 6 个品种, 第 IV 类有 5

个品种, 第 V 类 23 个品种, 第 VI 类 18 个品种, 第 VII 类 25 个品种, 第 VIII 类 29 个品种, 第 IX 类 24 个品种, 第 X 类最少, 仅有 4 个品种。各类群及包含的小麦材料详见表 3 及表 4。

第 I 类 47 个品种均为育成品种, 遗传距离在 0.004~0.337 之间, 分为 3 个亚类。第 1 亚类 19 个品种, 亲本多含有国外引进冬小麦品种, 如石冬 6 号与新冬 26 号, 均为中国科学院新疆生态与地理研究所选育的耐盐冬小麦品种, 且均以冬小麦品种红选 501 与墨西哥春麦品种唐努尔杂交的 F_1 代为母本, 再与红选 501 和墨西哥春麦品种西埃代赛洛斯杂交的 F_1 代为父本而育成的品种。最为突出的是新冬 2 号冬小麦品种, 是新疆农业科学院粮食作物研究所与新疆八一农学院(现新疆农业大学)以新疆冬小麦地方品种热衣木夏为母本、丹麦引进多花多实冬小麦品种亥恩·亥德为父本杂交选育而成, 于 1966 年审定命名^[13], 新疆农业科学院粮食作物研究所又以新冬 2 号姊妹系为母本、前苏联引进冬小麦品种奥德萨 3 号为父本, 进一步选育得到新冬 6 号、新冬 7 号、新冬 10 号 3 个品种。新冬号冬小麦品种曾在全疆推广种植, 对新疆小麦产量的提高起了很大作用, 其中新冬 2 号 1980 年种植 23.3 万公顷, 占全疆冬小麦面积的 1/3。新疆农垦科学院以新疆冬小麦地方品种

表 1 地方品种和育成品种遗传差异比较

Table 1 Comparison of the genetic diversities in Xinjiang winter wheat landraces and modern cultivars

类型 Type	多态性信息含量 Polymorphism information content			遗传距离 Genetic distance		
	平均值 Mean	最大值 Max. value	最小值 Min. value	平均值 Mean	最大值 Max. value	最小值 Min. value
地方品种 Landraces	0.229	0.374	0.090	0.070	0.400	0.002
育成品种 Cultivars	0.299	0.375	0.099	0.114	0.337	0.004
地方品种与育成品种之间 Between landraces and cultivars	0.265	0.375	0.090	0.699	0.723	0.605

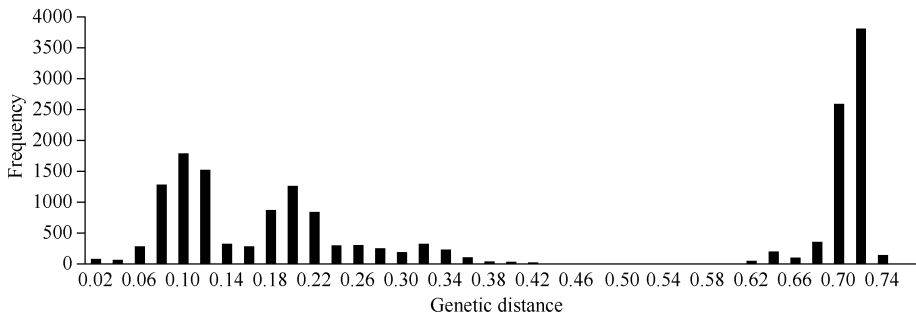


图 2 品种间遗传距离的次数分布

Fig. 2 Distribution of genetic distances among wheat landraces and cultivars



图3 188个新疆小麦地方品种和育成品种的SNP数据聚类图

Fig. 3 Phylogenetic tree of 188 wheat varieties in Xinjiang based on SNP

代码的含义同表 4。Codes correspond with those given in Table 4.

热衣木夏与前苏联引进品种新乌克兰 83 号杂交选育成新冬 14 号, 又利用新冬 14 号与河南安选 5 号杂交得到新冬 17 号小麦品种。第 2 亚类 15 个品种, 亲缘关系比较复杂, 其中奎冬 5 号与新冬 22 号均以加拿大引进小麦品种 Nostar 与花春 84-1 杂交 F_1 为母本, 以高代品系 76-4 与引自罗马尼亚的洛夫林 13 杂交 F_1 为父本选育而来; 喀冬 1 号、奎花 1 号、新冬 15 号、新冬 16 号、新冬 18 号均为利用我国新疆冬小麦地方品种(巴克甫克、热衣木夏、阿克苏红冬麦)与丹麦引进品种亥恩·亥德的杂交后代再与其他国内外冬小麦品种杂交选育而来, 如引自前苏联的无芒 4 号、小鹅 186、阿芙乐尔、50 周年等, 以及国内其他省份的西北 134、华北 187、京花 1 号、山东蚰包、冀麦 2 号等。第 3 亚类有 13 个品种, 均含有引自国内其他省份的冬小麦优良品种血缘, 如引自河北的冀 6159、冀 87-5018, 引自山东的 PH82-2-2、鲁植 79-1、引自陕西的西北 612、山西的太谷核

不育系以及庄巧生院士选育的优良品种华北 187 等。其中喀冬 4 号、新冬 20 号、新冬 46 号分别是华北 187、冀 87-5018、农大 211 引入新疆试种推广后审定的品种。新冬 25 号的父母本均为河北的品种。

第 II 类 7 个品种均为育成品种, 遗传距离在 0.006~0.269 之间, 新冬 2 号与新冬 3 号之间的遗传距离最小, 喀冬 2 号与新冬 13 号之间的遗传距离最大。其中新冬 2 号与新冬 3 号的亲本之一都是上世纪 50 至 60 年代冬小麦育种多选的、引自丹麦的多粒源亲本亥恩·亥德, 新疆农业科学院粮食作物研究所又以品质表现较好的新冬 3 号为母本、较抗病抗寒的前苏联冬小麦品种乌克兰 0246 为父本进行杂交, 培育出了中产、品质好、容重高且抗病、抗寒性等都比新冬 2 号有所提高的新冬 13 号小麦品种。此亚类中巴州 1 号和巴州 2 号的共同亲本之一是引自意大利的冬小麦品种奥维斯特; 喀冬 2 号(乌克兰 0246/叶城春麦)和石冬 6 号(春小麦京 5029/辐

表 3 各类群小麦品种列表

Table 3 List of the varieties classified into different subgroups according to the SNP diversity

类群 Group	品种个数 Number of variety	亚类 Sub-group	品种名称 Variety name
I	47	1	新冬 11 号, 新冬 12 号, 巴冬 3 号, 新冬 1 号, 新冬 7 号, 新冬 9 号, 新冬 10 号, 昌冬 5 号, 石冬 5 号, 新冬 26 号, 新冬 14 号, 新冬 17 号, 新冬 19 号, 新冬 38 号, 新冬 5 号, 新冬 6 号, 奎冬 4 号, 新冬 4 号, 新冬 32 号 Xindong 11, Xindong 12, Badong 3, Xindong 1, Xindong 7, Xindong 9, Xindong 10, Changdong 5, Shidong 5, Xindong 26, Xindong 14, Xindong 17, Xindong 19, Xindong 38, Xindong 5, Xindong 6, Kuidong 4, Xindong 4, Xindong 32
		2	喀冬 1 号, 伊农 3 号, 喀冬 3 号, 喀冬 5 号, 石冬 4 号, 奎花 1 号, 新冬 15 号, 新冬 16 号, 新冬 18 号, 原冬 3 号, 塔冬 5 号, 伊农 20 号, 奎冬 5 号, 新冬 22 号, 伊农 61 号 Kadong 1, Yinong 3, Kadong 3, Kadong 5, Shidong 4, Kuihua 1, Xindong 15, Xindong 16, Xindong 18, Yuandong 3, Tadong 5, Yinong 20, Kuidong 5, Xindong 22, Yinong 61
		3	新冬 23 号, 新冬 24 号, 伊农 21 号, 新冬 25 号, 新冬 46 号, 伊农 18 号, 新冬 29 号, 喀冬 4 号, 伊农 16 号, 黄河 1 号, 黄河 3 号, 新冬 20 号, 伊农 1 号 Xindong 23, Xindong 24, Yinong 21, Xindong 25, Xindong 46, Yinong 18, Xindong 29, Kadong 4, Yinong 16, Huanghe 1, Huanghe 3, Xindong 20, Yinong 1
II	7		新冬 2 号, 新冬 3 号, 新冬 13 号, 巴冬 1 号, 巴冬 2 号, 喀冬 2 号, 石冬 6 号 Xindong 2, Xindong 3, Xindong 13, Badong 1, Badong 2, Kadong 2, Shidong 6
III	6		无芒麦(M-6), 无芒麦(M-38), 红冬麦(M-83), 南疆冬麦, 卡衣木江, 白晚冬麦(M-101) Wumangmai (M-6), Wumangmai (M-38), Hongdongmai (M-83), Nanjiangdongmai, Kayimujiang, Baiwandongmai (M-101)
IV	5		红冬麦(M-65), 安迪然冬麦, 白冬麦(M-106), 白冬麦(M-107), 黑冬麦(M-119) Hongdongmai (M-65), Andirandongmai, Baidongmai (M-106), Baidongmai (M-107), Heidongmai (M-119)
V	23		白冬麦(M-1), 晚熟冬麦, 白冬麦(M-11), 白冬麦(M-104), 白冬麦(M-4), 小白冬麦(M-12), 红壳白粒红冬麦, 红冬麦(M-10), 阿尔泰冬麦, 红壳冬麦(M-7), 白冬麦(M-31), 小冬麦(M-32), 白冬麦(M-9), 红壳小白冬麦, 青心兰麦, 红冬麦(M-16), 红冬麦(M-2), 红冬麦(M-8), 小红芒, 鄯善红冬麦, 红冬麦(M-15), 白冬麦(M-3), 白冬麦(M-122) Baidongmai (M-1), Wanshudongmai, Baidongmai (M-11), Baidongmai (M-104), Baidongmai (M-4), Xiaobaidongmai (M-12), Hongkebailihongdongmai, Hongdongmai (M-10), Aertaidongmai, Hongkedongmai (M-7), Baidongmai (M-31), Xiaodongmai (M-32), Baidongmai (M-9), Hongkexiaobaidongmai, Qingxinlanmai, Hongdongmai (M-16), Hongdongmai (M-2), Hongdongmai (M-8), Xiaohongmang, Shanshanhongdongmai, Hongdongmai (M-15), Baidongmai (M-3), Baidongmai (M-122)
VI	18	1	红穗白粒(M-20), 白冬麦(M-58), 白冬麦(M-59), 拉瓦得朗, 焉耆白冬麦, 耐力小麦, 南疆白冬麦, 红冬麦(M-44) Hongsuibaili (M-20), Baidongmai (M-58), Baidongmai (M-59), Lawadelang, Yanqibaidongmai, Yulixiaomai, Nanjiangbaidongmai, Hongdongmai (M-44)
		2	红冬麦(M-52), 沙雅冬麦(M-63), 热衣木夏, 和静红冬麦, 买洛瓦西(M-56), 库车买洛瓦西 Hongdongmai (M-52), Shayadongmai (M-63), Reyimuxia, Hejinghongdongmai, Mailuowaxi (M-56), Kuchemailuowaxi
		3	库尔勒白冬麦, 白冬麦(M-41), 白冬麦(M-115), 黑冬麦(M-120) Korlabaidongmai, Baidongmai (M-41), Baidongmai (M-115), Heidongmai (M-120)
VII	25	1	阿克古斯格, 冬麦(M-54), 河西巴克红麦, 阿克库孜盖 Akegusige, Dongmai (M-54), Hexibakehongmai, Akekuzigai

(续表 3)

类群 Group	品种个数 Number of variety	亚类 Sub-group	品种名称 Variety name
VII		2	阳霞红冬麦, 纳瓦提然, 梁山冬麦, 沙雅冬麦, 阿克不大衣, 可孜不大衣, 白冬麦(M-91), 哈热克巴斯曼, 黑冬麦(M-69) Yangxiahongdongmai, Nawatiran, Liangshandongmai, Shayadongmai, Akebudayi, Kezibudayi, Baidongmai (M-91), Harekebasman, Heidongmai (M-69)
		3	买洛瓦西(M-47), 早熟冬麦, 白冬麦(M-73), 白穗子, 土种麦, 黑穗麦, 白冬麦(M-78), 白冬麦(M-90), 白冬麦(M-77), 红皮红冬麦(M-89), 黑冬麦(M-88), 巴楚切利麦 Mailuowaxi (M-47), Zaoshudongmai, Baidongmai (M-73), Baisuizi, Tuzhongmai, Heisuimai, Baidongmai (M-78), Baidongmai (M-90), Baidongmai (M-77), Hongpihongdongmai (M-89), Heidongmai (M-88), Bachuqielimai
VIII	28	1	白壳白粒红心冬麦, 长巴什曼, 红冬麦(M-110), 卡尔库孜干, 白冬麦(M-108), 黑冬麦(M-109), 哈阿热托司曼, 麦盖提白冬麦, 红冬麦(M-30) Baikebailihongxindongmai, Changbashenman, Hongdongmai (M-110), Kaerkuzigan, Baidongmai (M-108), Heidongmai (M-109), Haaretuosiman, Maigaitibaidongmai, Hongdongmai (M-30)
		2	白冬麦(M-29), 红芒安江, 红冬麦(M-40), 早熟冬麦(M-35), 白粒早熟, 红芒早, 乌恰白麦, 阿伯格其力格, 白芒白冬麦 Baidongmai (M-29), Hongmang'anjiang, Hongdongmai (M-40), Zaoshudongmai (M-35), Bailizaoshu, Hongmangzao, Wuqiabaimai, Abogeqilige, Baimangbaidongmai
		3	哈热克, 吧子条播, 冬麦(M-55), 白晚冬麦(M-98), 沙雅冬麦(M-70), 可孜不大衣, 白冬麦(M-85), 黑冬麦(M-79), 红冬麦(M-39), 焉耆冬麦, 白穗早熟冬麦 Hareke, Bazitiaobo, Dongmai (M-55), Baiwandongmai (M-98), Shayadongmai (M-70), Kezibudayi, Baidongmai (M-85), Heidongmai (M-79), Hongdongmai (M-39), Yanqidongmai, Baisuizaoshudongmai
IX	24	1	昌吉小红冬麦, 玛纳斯红冬麦, 白芒冬麦, 红冬麦(M-18), 红冬麦(M-26), 白穗白粒, 白冬麦(M-87), 红穗粒(M-17), 金包银(M-24), 白冬麦(M-27), 红壳冬麦(M-25), 红穗白粒(M-19) Changjixiaohongdongmai, Manasihongdongmai, Baimangdongmai, Hongdongmai (M-18), Hongdongmai (M-26), Baisuibaili, Baidongmai (M-87), Hongsuili (M-17), Jinbaoyin (M-24), Baidongmai (M-27), Hongkedongmai (M-25), Hongsuibaili (M-19)
		2	红冬麦(M-66), 沙雅冬麦(M-223), 红冬麦(M-67), 黑冬麦(M-68), 冬麦(M-33), 本地冬麦, 白冬麦(M-71) Hongdongmai (M-66), Shayadongmai (M-223), Hongdongmai (M-67), Heidongmai (M-68), Dongmai (M-33), Bendidongmai, Baidongmai (M-71)
		3	买洛瓦西(M-46), 黑冬麦(M-113), 耐力小麦, 巴利巴式, 白冬麦(M-53) Mailuowaxi (M-46), Heidongmai (M-113), Yulixiaomai, Balibashi, Baidongmai (M-53)
X	4		白冬麦(M-22), 克孜尔库孜干, 黑穗冬麦, 黑冬麦(M-116) Baidongmai (M-22), Kezierkuzigan, Heisuidongmai, Heidongmai (M-116)

表 4 SNP 分析的新疆冬小麦品种名称及来源
Table 4 Varieties name and sources of Xinjiang winter wheat used in this study

序号 No.	品种编号 Variety code	品种名称 Variety name	品种类型 Variety type	来源地/系谱 Origin/pedigree
1	M-1	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	乌鲁木齐市 Urumqi
2	M-2	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	昌吉市 Changji
3	M-3	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	昌吉市 Changji
4	M-4	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	昌吉市 Changji

(续表 4)

序号 No.	品种编号 Variety code	品种名称 Variety name	品种类型 Variety type	来源地/系谱 Origin/pedigree
5	M-5	红壳白粒红冬麦 Hongkebailihongdongmai	地方品种 Landrace	昌吉州米泉县 Miqan, Changji
6	M-6	无芒麦 Wumangmai	地方品种 Landrace	昌吉州米泉县 Miqan, Changji
7	M-7	红壳冬麦 Hongkedongmai	地方品种 Landrace	昌吉州米泉县 Miqan, Changji
8	M-8	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	昌吉州奇台县 Qitai, Changji
9	M-9	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	昌吉州阜康县 Fukang, Changji
10	M-10	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	昌吉州阜康县 Fukang, Changji
11	M-11	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	昌吉州呼图壁县 Hutubi, Changji
12	M-12	小白冬麦 Xiaobaidongmai	地方品种 Landrace	昌吉州呼图壁县 Hutubi, Changji
13	M-13	红壳小白冬麦 Hongkexiaobaidongmai	地方品种 Landrace	昌吉州玛纳斯县 Manasi, Changji
14	M-14	青心兰麦 Qingxinlanmai	地方品种 Landrace	昌吉州玛纳斯县 Manasi, Changji
15	M-15	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	昌吉州玛纳斯县 Manasi, Changji
16	M-16	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	昌吉州玛纳斯县 Manasi, Changji
17	M-17	红穗粒 Hongsuili	地方品种 Landrace	吐鲁番市 Turpan
18	M-18	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	吐鲁番市 Turpan
19	M-19	红穗白粒 Hongsuibaili	地方品种 Landrace	吐鲁番市 Turpan
20	M-20	红穗白粒 Hongsuibaili	地方品种 Landrace	吐鲁番市 Turpan
21	M-21	白穗白粒 Baisuibaili	地方品种 Landrace	吐鲁番市 Turpan
22	M-22	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	哈密市 Hami
23	M-23	白芒冬麦 Baimangdongmai	地方品种 Landrace	哈密市 Hami
24	M-24	金包银 Jinbaoyin	地方品种 Landrace	哈密市 Hami
25	M-25	红壳冬麦 Hongkedongmai	地方品种 Landrace	哈密市 Hami
26	M-26	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	哈密市 Hami
27	M-27	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	哈密市 Hami
28	M-28	小红芒 Xiaohongmang	地方品种 Landrace	博乐市 Bole
29	M-29	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	塔城市 Tacheng
30	M-30	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	塔城市 Tacheng
31	M-31	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	塔城地区沙湾县 Shawan, Tacheng
32	M-32	小冬麦 Xiaodongmai	地方品种 Landrace	塔城地区沙湾县 Shawan, Tacheng
33	M-33	冬麦 Dongmai	地方品种 Landrace	塔城地区乌苏县 Wusu, Tacheng
34	M-34	本地冬麦 Bendidongmai	地方品种 Landrace	塔城地区乌苏县 Wusu, Tacheng
35	M-35	早熟冬麦 Zaoshudongmai	地方品种 Landrace	阿勒泰地区布尔津县 Buerjing, Aletai
36	M-36	晚熟冬麦 Wanshudongmai	地方品种 Landrace	阿勒泰地区布尔津县 Buerjing, Aletai
37	M-37	阿尔泰冬麦 Aertaidongmai	地方品种 Landrace	阿勒泰地区布尔津县 Buerjing, Aletai
38	M-38	无芒麦 Wumangmai	地方品种 Landrace	伊宁市 Yining
39	M-39	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	巴州和静县 Hejing, Bazhou
40	M-40	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	巴州和静县 Hejing, Bazhou
41	M-41	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	巴州和静县 Hejing, Bazhou

(续表 4)

序号 No.	品种编号 Variety code	品种名称 Variety name	品种类型 Variety type	来源地/系谱 Origin/pedigree
42	M-42	焉耆冬麦 Yanqidongmai	地方品种 Landrace	巴州焉耆县 Yanqi, Bazhou
43	M-43	南疆白冬麦 Nanjiangbaidongmai	地方品种 Landrace	巴州焉耆县 Yanqi, Bazhou
44	M-44	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	巴州焉耆县 Yanqi, Bazhou
45	M-45	南疆冬麦 Nanjiangdongmai	地方品种 Landrace	巴州焉耆县 Yanqi, Bazhou
46	M-46	麦洛瓦西 Mailuowaxi	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla, Bazhou
47	M-47	麦洛瓦西 Mailuowaxi	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla, Bazhou
48	M-48	阿克库斯格 Akegusige	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla, Bazhou
49	M-49	阳霞红冬麦 Yangxiahongdongmai	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla, Bazhou
50	M-50	巴利巴式 Balibashi	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla, Bazhou
51	M-51	阿克库孜盖 Akekuzigai	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla, Bazhou
52	M-52	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla, Bazhou
53	M-53	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	巴州若羌县 Ruqiang, Bazhou
54	M-54	冬麦 Dongmai	地方品种 Landrace	巴州若羌县 Ruqiang, Bazhou
55	M-55	冬麦 Dongmai	地方品种 Landrace	巴州轮台县 Luntai, Bazhou
56	M-56	买洛瓦西 Mailuowaxi	地方品种 Landrace	阿克苏地区库车县 Kuche, Aksu
57	M-57	纳瓦提然 Nawatiran	地方品种 Landrace	阿克苏地区新和县 Xinhe, Aksu
58	M-58	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区新和县 Xinhe, Aksu
59	M-59	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区新和县 Xinhe, Aksu
60	M-60	热衣木夏 Reyimuxia	地方品种 Landrace	阿克苏地区新和县 Xinhe, Aksu
61	M-61	拉瓦得朗 Lawadelang	地方品种 Landrace	阿克苏地区沙雅县 Shaya, Aksu
62	M-62	梁山冬麦 Liangshandongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区新和县 Kuche, Aksu
63	M-63	沙雅冬麦 Shayadongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区沙雅县 Shaya, Aksu
64	M-64	耐力小麦 Weilixiaomai	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla
65	M-65	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区温宿县 Wensu, Aksu
66	M-66	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	阿克苏市 Akesu
67	M-67	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	阿克苏市 Akesu
68	M-68	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区阿瓦提县 Awati, Aksu
69	M-69	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区阿瓦提县 Awati, Aksu
70	M-70	沙雅冬麦 Shayadongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区阿瓦提县 Awati, Aksu
71	M-71	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区阿瓦提县 Awati, Aksu
72	M-72	红皮冬麦 Hongpidongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区乌什县 Wushi, Aksu
73	M-73	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区伽师县 Jiashi, Kashi
74	M-74	哈热克 Hareke	地方品种 Landrace	喀什地区伽师县 Jiashi, Kashi
75	M-75	白穗子 Baisuizi	地方品种 Landrace	喀什地区伽师县 Jiashi, Kashi
76	M-76	吧子条播 Bazitiaobo	地方品种 Landrace	喀什地区伽师县 Jiashi, Kashi
77	M-77	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区伽师县 Jiashi, Kashi
78	M-78	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区伽师县 Jiashi, Kashi

(续表 4)

序号 No.	品种编号 Variety code	品种名称 Variety name	品种类型 Variety type	来源地/系谱 Origin/pedigree
79	M-79	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区库车县 Kuche, Aksu
80	M-80	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区疏附县 Shufu, Kashi
81	M-81	阿克不大衣 Akebudayi	地方品种 Landrace	喀什地区疏附县 Shufu, Kashi
82	M-82	可孜不大衣 Kezibudayi	地方品种 Landrace	喀什地区疏附县 Shufu, Kashi
83	M-83	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	喀什地区疏勒县 Shule, Kashi
84	M-84	土种麦 Tuzhongmai	地方品种 Landrace	喀什地区疏勒县 Shule, Kashi
85	M-85	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区疏勒县 Shule, Kashi
86	M-86	阿伯格其力格 Abogqilige	地方品种 Landrace	喀什地区疏勒县 Shule, Kashi
87	M-87	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区疏勒县 Shule, Kashi
88	M-88	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区疏勒县 Shule, Kashi
89	M-89	红皮红冬麦 Hongpihongdongmai	地方品种 Landrace	喀什地区疏勒县 Shule, Kashi
90	M-90	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区疏勒县 Shule, Kashi
91	M-91	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什市 Kashi
92	M-92	白壳白粒红心冬麦 Baikeshailihongxindongmai	地方品种 Landrace	喀什市 Kashi
93	M-93	哈热克巴斯曼 Harekebasman	地方品种 Landrace	喀什市 Kashi
94	M-94	安迪然冬麦 Andirandongmai	地方品种 Landrace	喀什市 Kashi
95	M-95	乌恰白麦 Wuqiabaimai	地方品种 Landrace	阿克苏地区乌恰县 Wuqia, Aksu
96	M-96	麦盖提白冬麦 Maigaitibaidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区麦盖提县 Maigaiti, Kashi
97	M-97	白粒早熟 Bailizaoshu	地方品种 Landrace	喀什地区莎车县 Shache, Kashi
98	M-98	白晚冬麦 Baiwandongmai	地方品种 Landrace	喀什地区莎车县 Shache, Kashi
99	M-99	红芒安江 Hongmang'anjiang	地方品种 Landrace	喀什地区莎车县 Shache, Kashi
100	M-100	白芒白冬麦 Baimangbaidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区莎车县 Shache, Kashi
101	M-101	白晚冬麦 Baiwandongmai	地方品种 Landrace	喀什地区莎车县 Shache, Kashi
102	M-102	红芒早 Hongmangzao	地方品种 Landrace	喀什地区莎车县 Shache, Kashi
103	M-103	白穗早熟冬麦 Baisuizaoshudongmai	地方品种 Landrace	喀什地区莎车县 Shache, Kashi
104	M-104	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区莎车县 Shache, Kashi
105	M-105	黑穗麦 Heisuiimai	地方品种 Landrace	喀什地区泽普县 Zepu, Kashi
106	M-106	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区叶城县 Yecheng, Kashi
107	M-107	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	和田地区洛浦县 Luopu, Hetian
108	M-108	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区叶城县 Yecheng, Kashi
109	M-109	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	喀什地区叶城县 Yecheng, Kashi
110	M-110	红冬麦 Hongdongmai	地方品种 Landrace	喀什地区叶城县 Yecheng, Kashi
111	M-111	哈阿热托司曼 Haaretuosiman	地方品种 Landrace	喀什地区叶城县 Yecheng, Kashi
112	M-112	长巴什曼 Changbashanman	地方品种 Landrace	喀什地区叶城县 Yecheng, Kashi
113	M-113	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	和田地区墨玉县 Moyu, Hetian
114	M-114	黑穗冬麦 Heisuidongmai	地方品种 Landrace	和田地区洛浦县 Luopu, Hetian

(续表 4)

序号 No.	品种编号 Variety code	品种名称 Variety name	品种类型 Variety type	来源地/系谱 Origin/pedigree
115	M-115	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	和田地区洛浦县 Luopu, Hetian
116	M-116	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	和田地区洛浦县 Luopu, Hetian
117	M-117	卡尔库孜干 Kaerkuzigan	地方品种 Landrace	和田地区于田县 Yutian, Hetian
118	M-118	克孜尔库孜干 Kezierkuzigan	地方品种 Landrace	和田地区民丰县 Minfeng, Hetian
119	M-119	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	和田市 Hetian
120	M-120	黑冬麦 Heidongmai	地方品种 Landrace	和田市 Hetian
121	M-121	早熟冬麦 Zaoshudongmai	地方品种 Landrace	和田市 Hetian
122	M-122	白冬麦 Baidongmai	地方品种 Landrace	和田市 Hetian
123	M-123	卡衣木江 Kayimujiang	地方品种 Landrace	和田市 Hetian
124	M-167	河西巴克红麦 Hexibakehongmai	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla
125	M-215	昌吉小红冬麦 Changjixiaohongdongmai	地方品种 Landrace	昌吉市 Changji
126	M-216	玛纳斯红冬麦 Manasihongdongmai	地方品种 Landrace	昌吉州玛纳斯县 Manasi, Changji
127	M-217	鄯善红冬麦 Shanshanhongdongmai	地方品种 Landrace	吐鲁番地区鄯善县 Shanshan, Turpan
128	M-218	和静红冬麦 Hejing hong dong mai	地方品种 Landrace	巴州和静县 Hejing, Bazhou
129	M-219	焉耆白冬麦 Yanqibaidongmai	地方品种 Landrace	阿克苏地区焉耆县 Yanqi, Aksu
130	M-220	耐力小麦 Yulixiaomai	地方品种 Landrace	巴州尉犁县 Yuli, Bazhou
131	M-221	库尔勒白冬麦 Korlabaidongmai	地方品种 Landrace	库尔勒市 Korla
132	M-222	库车麦洛瓦西 Kuchemailuowaxi	地方品种 Landrace	阿克苏地区库车县 Kuche, Aksu
133	M-223	沙雅冬麦 Shayadongmai	地方品种 Landrace	和田地区沙雅县 Shaya, Hetian
134	M-224	巴楚切利麦 Bachuqielimai	地方品种 Landrace	喀什地区巴楚县 Bachu, Kasha
135	M-124	喀冬 2 号 Kadong 2	育成品种 Cultivar	乌克兰 0246/叶城春麦 Ukraine 0246/Yechengchunmai
136	M-125	新冬 1 号 Xindong 1	育成品种 Cultivar	乌克兰 0246/阿克苏红冬麦/敖德萨 3 号 Ukraine 0246/Aksuhongdongmai// Aodesa 3
137	M-126	新冬 2 号 Xindong 2	育成品种 Cultivar	热衣木夏/亥恩·亥德 3 个 F ₅ 选系混合 Three F ₅ selection combinations from Reyimuxia/Heine Hvede
138	M-127	新冬 3 号 Xindong 3	育成品种 Cultivar	阿克苏红冬麦/亥恩·亥德 Aksuhongdongmai/Heine Hvede
139	M-128	新冬 4 号 Xindong 4	育成品种 Cultivar	巴克甫克/北京 7 号 Bakefuke/Beijing 7
140	M-129	新冬 5 号 Xindong 5	育成品种 Cultivar	巴克甫克/北京 7 号 Bakefuke/Beijing 7
141	M-130	新冬 6 号 Xindong 6	育成品种 Cultivar	新冬 2 号姊妹系/奥德萨 3 号 Xindong 2 sib line/Aodesa 3
142	M-131	新冬 7 号 Xindong 7	育成品种 Cultivar	新冬 2 号姊妹系/奥德萨 3 号 Xindong 2 sib line/Odesa 3
143	M-132	新冬 9 号 Xindong 9	育成品种 Cultivar	热衣木夏/亥恩·亥德 Reyimuxia/Heine Hvede

(续表 4)

序号 No.	品种编号 Variety code	品种名称 Variety name	品种类型 Variety type	来源地/系谱 Origin/pedigree
144	M-133	新冬 10 号 Xindong 10	育成品种 Cultivar	新冬 2 号/奥德萨 3 号 Xindong 2/Aodesa 3
145	M-134	新冬 11 号 Xindong 11	育成品种 Cultivar	白沟头(热衣木夏/亥恩·亥德)//2407 (巴克甫克/北京 7 号) Baigoutou (Reyimuxia/Heine Hvede)//2407 (Bakefuke/Beijing 7)
146	M-135	新冬 12 号 Xindong 12	育成品种 Cultivar	新冬 2 号//2407(新冬 2 号/奥德萨 3 号) Xindong 2//2407 (Xindong 2/Aodesa 3)
147	M-136	巴冬 1 号 Badong 1	育成品种 Cultivar	阿克库斯格/奥维斯特(意大利) Akekusige/Ovist (Italy)
148	M-137	巴冬 2 号 Badong 2	育成品种 Cultivar	巴克甫克/奥维斯 Bakefuke/Ovist
149	M-138	巴冬 3 号 Badong 3	育成品种 Cultivar	从华北 497 中选单株育成 Individual plant selection from Huabei 497
150	M-139	喀冬 1 号 Kadong 1	育成品种 Cultivar	巴克甫克/亥恩·亥德 Bakefuke/Heine Hvede
151	M-140	喀冬 3 号 Kadong 3	育成品种 Cultivar	自中农院 3026 (早洋麦/鹅冠 186)中 选育成 Selected from CAAS 3026 (Zaoyang mai/Eguan 186)
152	M-141	喀冬 4 号 Kadong 4	育成品种 Cultivar	从华北 187 中系统选育 Selected from Huabei 187
153	M-142	伊农 1 号 Yinong 1	育成品种 Cultivar	新乌克兰 84/西北 612 New Ukraine 84/Xibei 612
154	M-143	伊农 3 号 Yinong 3	育成品种 Cultivar	西北 134/无芒 4 号 Xibei 134/Wumang 4
155	M-144	新冬 14 号 Xindong 14	育成品种 Cultivar	热衣木夏/新乌克兰 83 Reyimuxia/New Ukraine 83
156	M-145	新冬 15 号 Xindong 15	育成品种 Cultivar	新冬 2 号/ 50 周年(前苏联品种) Xindong 2/50 anniversary (Former Soviet Union)
157	M-146	新冬 16 号 Xindong 16	育成品种 Cultivar	(巴克甫克/亥恩·亥德)选系 71-66/70-4 (新冬 7 号姊妹系) (Bakefuke/Heine Hvede) Selection 71-66/70-4 (Xindong 7 sib line)
158	M-147	新冬 17 号 Xindong 17	育成品种 Cultivar	新冬 14/河南安选 5 号 Xindong 14/Henan'anxuan 5
159	M-148	新冬 18 号 Xindong 18	育成品种 Cultivar	NS11-33 (南斯拉夫品种)/新冬 3 号 NS11-33 (Yugoslavia variety)/Xin- dong 3
160	M-149	新冬 19 号 Xindong 19	育成品种 Cultivar	170/阿芙乐尔//H 矮 82-6 (组培品系) 辐射选育 170/Aphrora//H short 82-6 (tissue culture line) Radiation selection

(续表 4)

序号 No.	品种编号 Variety code	品种名称 Variety name	品种类型 Variety type	来源地/系谱 Origin/pedigree
161	M-150	新冬 20 号 Xindong 20	育成品种 Cultivar	原系号冀 87-5018 (河北省农林科学院粮食作物研究所) Old system number Ji 87-5018 (Food Crop Research Institute, HAAS)
162	M-151	新冬 23 号 Xindong 23	育成品种 Cultivar	美国引进的 1 个 F ₂ 分离群体/自育花培品系 88-136 An F ₂ segregation population from USA/88-136
163	M-152	新冬 25 号 Xindong 25	育成品种 Cultivar	冀 885-443/冀 88-5282 Ji 885-443/Ji 88-5282
164	M-153	石冬 4 号 Shidong 4	育成品种 Cultivar	
165	M-154	石冬 5 号 Shidong 5	育成品种 Cultivar	红选 501/唐努尔(墨西哥春麦)//红选 501/西埃代赛落斯(墨西哥春麦) Hongxuan 501/Tangnuer (Mexico)//Hongxuan 501/West edaselos (Mexico)
166	M-155	石冬 6 号 Shidong 6	育成品种 Cultivar	春小麦京 5029/冬小麦 77-21 Spring wheat Jing 5029/Winter Wheat 77-21
167	M-156	奎花 1 号 Kuihua 1	育成品种 Cultivar	京花 1 号/奎冬 3 号 Jinghua 1/Kuidong 3
168	M-157	奎冬 4 号 Kuihua 4	育成品种 Cultivar	(热衣木夏/亥恩·亥德) F ₃ 选系/奥德萨 3 号//7401-54/704/山前麦 (Reyimuxia/Heine Hvede) F ₃ selection/Aodesa 3//7401-54/704/Shan-qianmai
169	M-158	奎冬 5 号 Kuihua 5	育成品种 Cultivar	加拿大冬小麦品种 Nostar/花春 84-1//76-4/洛夫林 13 Nostar (Canada winter wheat)/Huachun 84-1//76-4/Lovrin 13
170	M-159	黄河 1 号 Huanghe 1	育成品种 Cultivar	
171	M-160	黄河 3 号 Huanghe 3	育成品种 Cultivar	
172	M-161	原冬 3 号 Yuandong 3	育成品种 Cultivar	(冀麦 2 号/阿芙乐尔) γ 射线处理 (Jimai 2/Aurora) γ -ray
173	M-162	昌冬 5 号 Changdong 5	育成品种 Cultivar	
174	M-163	塔冬 5 号 Tadong 5	育成品种 Cultivar	
175	M-164	喀冬 5 号 Kadong 5	育成品种 Cultivar	
176	M-165	新冬 22 号 Xindong 22	育成品种 Cultivar	加拿大冬小麦品种 Nostar/花春 84-1//76-4/洛夫林 13 Canadian winter variety Nostar/Huachun 84-1//76-4/Lovrin 13
177	M-166	新冬 24 号 Xindong 24	育成品种 Cultivar	9245/冀 6159 9245/Ji 6159
178	M-168	新冬 13 号 Xindong 13	育成品种 Cultivar	新冬 3 号/乌克兰 0246 Xindong 3/Ukraine 0246

(续表 4)

序号 No.	品种编号 Variety code	品种名称 Variety name	品种类型 Variety type	来源地/系谱 Origin/pedigree
179	M-172	伊农 16 号 Yinong 16	育成品种 Cultivar	白欧柔/72-629/K2-13//72-629/7141-64/K2-13 White Orofen/72-629/K2-13//72-629/7141-64/K2-13
180	M-173	伊农 18 号 Yinong 18	育成品种 Cultivar	81283/81243
181	M-174	伊农 20 号 Yinong 20	育成品种 Cultivar	农大 64015/8103-12-6-3 Nongda 64015/8103-12-6-3
182	M-175	伊农 21 号 Yinong 21	育成品种 Cultivar	西北 612/乌克兰 84/太谷核不育系/鲁麦 13 Xibei 612/Ukraine 84/Taigu genic male-sterile line
183	M-176	新冬 29 号 Xindong 29	育成品种 Cultivar	PH82-2-2/鲁植 79-1 PH82-2-2/Luzhi 79-1
184	M-177	新冬 38 号 Xindong 29	育成品种 Cultivar	(矮秆 916/9133) F ₁ /伊农 16 (Dwarf 916/9133) F ₁ /Yinong 16
185	M-178	伊农 61 号 Yinong 61	育成品种 Cultivar	马苏托小麦/大头麦/Westmount//61-4 ///84114 Masutuo/ Datoumai/ Westmount//61-4///84114
186	M-179	新冬 26 号 Xindong 26	育成品种 Cultivar	红选 501/唐努尔(墨西哥春麦)//红选 501/西埃代赛洛斯(墨西哥春麦) Hongxuan 501/Tangnuer (Mexico)// Hongxuan 501/West edaselos (Mexico)
187	M-180	新冬 46 号 Xindong 46	育成品种 Cultivar	农大 3338/S180 Nongda 3338/S180
188	M-181	新冬 32 号 Xindong 32	育成品种 Cultivar	1998 年从矮败轮回选择群体中选择 Selected from Aibai recurrent selection population in 1998

表中昌吉回族自治州简称昌吉州(Changji), 巴音郭楞蒙古自治州简称巴州(Bazhou), 伊犁哈萨克自治州简称伊犁州(Yili), 博尔塔拉蒙古自治州简称博州(Bozhou)。

The Changji Hui Autonomous Prefecture was abbreviated as Changji, the Bayingolin Mongolian Autonomous Prefecture was abbreviated as Bazhou, and the Bortala Mongol Autonomous Prefecture was abbreviated as Bozhou in the above table.

射育种冬小麦品系 77-21)的亲本之一都是春麦, 均具有早熟特性。

自第 III 类到第 X 类均为地方品种, 详述如下。

第 III 类有 6 个品种, 遗传距离在 0.149~0.211 之间。其中 2 份分别来自北疆昌吉州米泉县和伊犁州伊宁县的名称均无芒麦的品种聚在一起, 二者之间的遗传距离为 0.166。其余 4 份材料均来自南疆地区, 2 份来自喀什, 1 份来自和田, 1 份来自巴州, 地域相邻。

第 IV 类有 5 个品种, 遗传距离在 0.093~0.274 之间。2 个分别来自喀什地区叶城县和和田地区洛浦县的均名为“白冬麦”的品种遗传距离最小, 为 0.093; 来自阿克苏地区温宿县的“红冬麦”与来自喀什地区叶城县的白冬麦遗传距离最大, 为 0.274。

第 V 类 23 个品种, 遗传距离在 0.003~0.137 之间, 包括红壳冬麦和白壳冬麦两种类型, 仅有 2 份白冬麦来自南疆喀什地区, 其余 21 份材料均来自北疆地区, 且有 14 份材料来自昌吉州, 表现为地域相近的材料聚在一起。其中来自乌鲁木齐市的“白冬麦”与阿勒泰地区布尔津县的晚熟冬麦之间的遗传距离最小, 为 0.003; 来自昌吉州玛纳斯县的“红冬麦”与一份来自昌吉市的“白冬麦”之间的遗传距离最大, 为 0.137。

第 VI 类 18 个品种, 遗传距离在 0.003~0.111 之间, 以白壳类型为主, 除了 1 个品种来自吐鲁番、2 个品种来自和田地区外, 其余 15 个品种均来自南疆的阿克苏和巴州两个地区, 表现出明显的地域性。

第 VII 类 25 个品种, 遗传距离在 0.003~0.125

之间, 来自库尔勒市的买洛瓦西与来自和田市的早熟冬麦之间的遗传距离最小, 来自阿克苏地区新和县、梁山东麦与喀什地区巴楚县的巴楚切利麦之间的遗传距离最大。此类包括白壳和红壳两种壳色类型, 分 3 个亚类, 第 1 亚类 4 个品种均来自巴州, 第 2 亚类 9 个品种中 4 个来自喀什地区、4 个来自阿克苏地区、1 个来自巴州; 第 3 亚类 12 个品种中有 10 份来自喀什地区, 也表现为地域相近的品种聚在一起。

第 VIII 类 28 个品种, 遗传距离在 0.003~0.122 之间, 包括红壳和白壳两种类型, 也分为 3 个亚类, 第 1 亚类 9 个品种中 7 个来自喀什地区; 第 2 亚类 10 个品种中有 6 个来自喀什地区, 其余 4 个品种分别来自塔城、阿勒泰、巴州和阿克苏地区; 第 3 亚类 11 个品种中 6 份来自喀什地区, 3 份来自巴州, 2 份来自阿克苏地区。

第 IX 类 24 个品种, 遗传距离在 0.116~0.287 之间, 来自昌吉州玛纳斯县的玛纳斯红冬麦与哈密地区哈密市的白芒冬麦之间的遗传距离最小, 来自喀什地区疏勒县的“白冬麦”与来自昌吉市的昌吉小红冬麦之间的遗传距离最大。分为 3 个亚类, 第 1 亚类 12 个品种中 8 个为红壳类型, 4 个白壳类型, 其中 8 个品种来自吐鲁番, 3 个品种来自与吐鲁番相邻的昌吉和哈密地区, 1 个品种来自喀什地区。第 2 亚类 7 个品种中有 2 个来自北疆的塔城地区乌苏县, 5 个均来自南疆的阿克苏、和田和巴州 3 个地区。第 3 亚类 5 个品种均来自南疆, 有 4 个品种来自巴州地区, 1 个品种来自和田地区。

第 X 类最少, 仅有 4 个品种, 遗传距离在 0.038~0.095 之间, 3 个来自和田地区, 1 个来自哈密地区, 2 个白壳类型聚在一起, 2 个红壳类型聚在一起。

3 讨论

小麦地方品种是小麦育种的重要种质资源, 是改良品种的基础。地方品种是在自然经济农业时期, 在某地长期种植的“土著”品种, 由于各地生态条件千差万别, 造成地方品种具有不同的生态适应性^[13-14]。新疆冬小麦地方品种多为强冬性, 具有耐寒、耐旱、耐盐碱、适应性强的特点, 但存在不耐肥、易倒伏、严重感锈病等缺陷, 逐渐被引进品种和自育品种所代替。育成品种(品系)往往都是丰产性、适应性、抗病性的结合体, 综合性状好, 是最便于利用的种质。在小麦育种中, 由于人们总是按照一定目标, 沿着一定方向选择, 使杂交育种亲本越来越集中到对当地条件最能适应, 综合性状最好, 配合力最佳的少数几个品种上, 导致育成品种遗传基础越来越狭窄^[15]。如 19 世纪 60 年代, 新疆的小麦育种者利用

具有抗寒、抗旱、耐盐碱特点的地方品种热衣木夏, 与引自丹麦的具有多花多实特性的冬小麦品种亥恩·亥德杂交育成新冬 2 号等品种及其衍生品种在北疆大面积种植。本研究选用的 54 个新疆冬小麦育成品种中, 直接或间接以新冬 2 号为亲本选育成的就有新冬 6 号、新冬 7 号、新冬 10 号、新冬 11 号、新冬 15 号、奎冬 4 号 6 个品种, 这 6 个品种与其他 42 个育成品种聚在一类, 但新冬 2 号并没有与这 6 个品种聚在一类, 而是与新冬 3 号、新冬 13 号、巴冬 1 号等 6 个主要以新疆冬小麦地方品种与国外引进小麦品种为亲本育成的品种聚为一类(图 3)。王立新等^[16]对 2005—2009 年间 547 个国家冬小麦区域试验品系及 134 个国审品种分子标记遗传相似系数(GS)进行比较, 发现不同年度国家冬小麦区域试验 GS>0.90 的品种(系)大多来自同一地区的育种单位。由此可见, 小麦育种中经常使用少数骨干亲本, 会导致小麦品种遗传多样性降低。李小军等^[17]利用 363 对 SSR 标记对早洋麦、阿勃、欧柔和洛夫林 10 号等 11 份国外引种的骨干亲本材料及其衍生的 33 份代表性品种进行多样性分析, 发现衍生品种中约 76.3% 的等位变异类型均来自于国外亲本, 说明引种国外亲本对提高我国小麦品种的遗传多样性具有重要作用。

因小麦地方品种多为人们根据品种表型特征如颖壳色、种皮色、芒色+熟性/地名等方式命名, 且随人员流动而传播, 因此多存在同物异名或同名异物现象, 需要通过田间种植表型观察结合分子标记方法来判断区分。王琨等^[18]对长期种植于陕西关中不同生态种植区的 6 个同名地方品种蚂蚱麦进行农艺性状遗传变异分析, 认为不同来源的地方品种蚂蚱麦在形态和农艺性状表现上的差异不大, 但差异程度与地理位置有关。李正玲等^[19]利用 SSR 标记对河南省 15 组名称相同的小麦地方品种共计 155 份材料进行组间和组内遗传多样性分析发现, 同名品种组内 15 组材料的平均遗传相似系数变化范围为 0.66~0.93; 同名品种组间遗传相似系数分布范围为 0.75~1.00, 认为小麦地方品种具有丰富的遗传多样性, 同名小麦地方品种间存在同名同质和同名异质的现象。本研究所选 134 个地方品种中, 名为“白冬麦”的有 26 个, 名为“红冬麦”的有 17 个, 名为“黑冬麦”的有 9 个, 根据品种间遗传距离和聚类结果, 证明同名品种间有差异, 品种间遗传差异与地理位置有关, 这与王琨等^[14]的研究结果一致。

目前国内多以 SSR 标记开展小麦地方品种遗传

多样性研究^[20-24], 针对小麦地方品种材料仅见利用 660K SNP 标记进行研究的报道^[25-26]。王宏飞等^[22]利用 42 对 SSR 引物对 75 份新疆小麦地方品种进行遗传多样性分析, 共检测到 317 个等位变异, 等位变异变化范围为 2~15 个, 平均 7.55 个, PIC 值变化范围为 0.169~0.905, 平均 0.696; 基因组的平均等位变异是 D>B>A, 春小麦地方品种的遗传多样性高于冬小麦地方品种, 聚类结果反映了一定的地域特性。Zhou 等^[25]为了揭示中国小麦的传播历史、适应性进化和品种选择, 利用 27,933 个 DArTseq 标记和 312,831 个 660K SNP 标记分析来自中国 10 个农业生态区的 717 个中国小麦地方品种的遗传结构, 证明小麦首先是从中国西北部引进种植的, 环境压力和独立选择导致了在中国小麦地方品种在种群水平上的差异, 群体遗传结构在很大程度上与中国小麦地方品种的地理分布相一致, 大多数具有亲缘关系的小麦地方品种来源地相近, 与各小麦种植区的小麦栽培历史一致; 在 A、B、D 三个基因组中, D 基因组的基因多样性少于 A 和 B 基因组; 在单条染色体上, 中国小麦地方品种端粒的遗传变异远高于近着丝粒。陕西关中蚂蚱麦和山西平遥小白麦是我国北方小麦品种的原始骨干亲本, 白彦明等^[26]利用小麦 660K SNP 芯片对陕西关中蚂蚱麦和山西平遥小白麦及其衍生品种(系)共计 149 份材料进行全基因组扫描, 发现来自黄淮冬麦区的 4 份蚂蚱麦与来自北部冬麦区的小白麦及其系选品种燕大 1817 的平均遗传相似系数 GS 为 0.750, 高于蚂蚱麦和小白麦衍生系的 GS (平均为 0.619), 与本研究育成品种的遗传多样性高于地方品种的结论一致。针对小麦地方品种与育成品种之间的遗传差异, 魏育明等^[24]利用 24 个 SSR 标记对 8 份四川小麦地方品种和 8 份主栽品种的遗传多样性比较研究, 表明四川小麦地方品种群体内的遗传多样性(平均 GS 为 0.812)低于主栽小麦品种群体内的遗传多样性(平均 GS 为 0.670), 也与本研究的结论相似。推测原因, 可能是在早期较低的生产水平和环境条件下, 通过长期的人工和自然选择造成的地方品种等位基因趋同化。因此, 在育种过程中应充分利用外来种质资源, 实现外来种质中优异基因资源的导入和聚合, 拓宽当地小麦品种的遗传基础。

SNP 标记作为第三代分子标记, 因其具有自动化程度高、通量大、速度快、易于建立标准化操作等优势, 已成为研究种质资源遗传多样性、遗传结

构评估以及推断个体间祖先关系的有力工具^[27-28]。国内目前利用 SNP 标记基因分型开展遗传多样性分析多见于以小麦育成品种为材料的报道^[29-31]。刘易科等^[29]利用高密度 SNP 芯片, 分别对国内不同麦区的 229 份冬小麦品种(系)进行遗传多样性研究, 发现长江中下游麦区小麦品种(系)的相似性系数最高(0.712), 黄淮南片麦区、黄淮北片麦区和北部麦区的小麦品种(系)的相似性系数相对较低(0.660~0.686), 可能与不同区域小麦育种单位实力以及引进小麦种质资源的遗传多样性有关。李珊珊等^[30]利用小麦 90K 基因芯片对 143 份河北省小麦育成品种的基因分型数据分析其亲缘关系与遗传多样性表明, 河北省 143 份小麦育成品种的遗传相似系数主要分布于 0.52~0.73 之间(占 89.23%), 低于曹廷杰等^[31-32]对河南省 2000—2013 年审定的 96 个小麦品种遗传多样性研究的结果(主要分布在 0.63~0.83 之间, 占 95.94%)。从以上结果可以看出, 遗传相似性高的小麦品种具有相似的地域性或来源于同一育种单位, 表明近年来各育种单位育种材料趋同, 且相同或相似的骨干亲本高频被应用, 导致小麦品种遗传多样性降低。

国外也有利用 SNP 标记对小麦品种资源开展遗传多样性研究的报道。Zahra 等^[33]利用 152K SNP 芯片评估了 188 个来自西亚和北非的面包小麦品种的遗传多样性, UPGMA 聚类分析将基因型明确分为两大类, 一类包含 177 个品种, 另一类仅 11 个品种, 种质之间的相似系数在 0.30~0.99 之间, 平均值为 0.64。Bhatta 等^[34]利用 47,526 个 SNP 标记对包括人工合成小麦和面包小麦种质的 143 份材料进行遗传多样性分析表明, SNP 标记均匀分布在 A、B、D 三个基因组中; 群体结构分析根据小麦种质的类型和地理起源分为 3 个不同的小麦基因型群(日本人工合成小麦组, CIMMYT 人工合成小麦组和面包小麦组); 遗传多样性比较表明, 人工合成小麦比面包小麦品系高 33%, 认为人工合成小麦可用于拓宽现代小麦品种的遗传多样性。

依据本研究中 55K 芯片结果, 在分布于 21 条染色体上的 53,063 个 SNP 位点中有 50,743 个被检测到多态性, 多态性比率高达 95.62%, 远高于刘易科等^[29]、李珊珊等^[30]、曹廷杰等^[31-32]利用 90K SNP 获得的多态性; 并且本研究中 SNP 标记在 A、B、D 基因组间分布比较均匀, 分别为 17,702 个, 16,943 个和 16,098 个, 而前人的 90K 芯片的 SNP 标记在 B

和 D 基因组间存在较明显的不均匀分布现象^[29-32]。其原因可能由于小麦 55K SNP 芯片是以国内小麦材料为基础开发的, 并且所用的材料有普通小麦、四倍体小麦以及小麦野生近缘种材料, 因此 SNP 位点在各染色体上的分布更加均匀。由此可见, 小麦 55K SNP 芯片可能更加适宜于对国内小麦种质材料开展遗传多样性研究。

4 结论

利用我国自主研发, 覆盖小麦全基因组的 55K SNP 芯片, 对 134 个新疆冬小麦地方品种和 54 个新疆冬小麦育成品种进行全基因组扫描, 根据品种间的遗传距离将 188 个品种分为 10 个类群, 育成品种集中聚在 2 个类群, 地方品种聚在另外 8 个类群。新疆冬小麦育成品种之间的遗传多样性略大于地方品种, 但育成品种与地方品种之间的遗传差异较大, 说明在现代小麦育种中, 地方品种可作为进一步拓宽育成品种遗传基础的育种材料。本研究证明小麦 55K SNP 标记能够揭示小麦品种资源的遗传差异以及品种间的亲缘关系, 可为小麦育种亲本选配提供重要理论依据。

References

- [1] 赵吉平, 任杰成, 郭鹏燕, 许瑛, 任超. 小麦常规育种技术与改进策略研究. 中国种业, 2019, (7): 13-15.
Zhao J P, Ren J C, Guo P Y, Xu Y, Ren C. Study on wheat general breeding techniques and improvement strategies. *China Seed Ind*, 2019, (7): 13-15 (in Chinese).
- [2] 张冬梅, 辛涛, 米克拉依·吾甫尔. 新疆小麦生产现状及增产潜力分析. 中国农技推广, 2014, 30(11): 9-10.
Zhang D M, Xin T, Mikrayi Wufuer. Analysis of Xinjiang wheat production status and yield increase potential. *China Agric Technol Ext*, 2014, 30(11): 9-10 (in Chinese).
- [3] 郎新婷, 马惠兰. 新疆小麦生产效率及地区差异研究. 中国农业资源与区划, 2016, 37(10): 127-133.
Lang X T, Ma H L. Wheat production efficiency and differences in Xinjiang. *China Agric Resour Plan*, 2016, 37(10): 127-133 (in Chinese).
- [4] 林作楫, 揭声慧. 近 50 年河南省小麦育种工作的回顾. 河南农业科学, 2005, (9): 5-8.
Lin Z J, Jie S H. Review of wheat breeding in Henan province in the past 50 years. *J Agric Sci Henan*, 2005, (9): 5-8 (in Chinese).
- [5] 李振声. 我国小麦育种的回顾与展望. 中国农业科技导报, 2010, 12(2): 1-4.
Li Z S. Retrospect and prospect of wheat breeding in China. *J Agric Sci Technol*, 2010, 12(2): 98-104 (in Chinese with English abstract).
- [6] Lander E S. The new genomics: global views of biology. *Science*, 1996, 274: 536-539.
- [7] Liu J J, Luo W, Qin N N, Ding P Y, Zhang H, Yang C C, Mu Y, Tang H P, Liu Y X, Li W, Jiang Q T, Chen G Y, Wei Y M, Zheng Y L, Liu C J, Lan X J, Ma J. A 55K SNP array-based genetic map and its utilization in QTL mapping for productive tiller number in common wheat. *Theor Appl Genet*, 2018, 131: 2439-2450.
- [8] Ren T, Hu Y, Tang Y, Li C, Yan B, Ren Z, Tan F, Tang Z, Fu S, Li Z. Utilization of a wheat 55K SNP array for mapping of major QTL for temporal expression of the tiller number. *Front Plant Sci*, 2018, 9: 333.
- [9] Ye X L, Li J, Cheng Y K, Yao F J, Long L, Yu C, Wang Y Q, Wu Y, Li J, Wang J R, Jiang Q T, Kang H Y, Li W, Qi P F, Lan X J, Ma J, Liu Y X, Jiang Y F, Wei Y M, Chen X M, Liu C J, Zheng Y L, Chen G Y. Genome-wide association study reveals new loci for yield-related traits in Sichuan wheat germplasm under stripe rust stress. *BMC Genomics*, 2019, 20: 640.
- [10] Ye X L, Li J, Cheng Y K, Yao F J, Long L, Yu C, Wang Y Q, Wu Y, Li J, Wang J R, Jiang Q T, Li W, Ma J, Wei Y M, Zheng Y L, Chen G Y. Genome-wide association study of resistance to stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in Sichuan wheat. *BMC Plant Biol*, 2019, 19: 147.
- [11] Saghai-Marooif M A, Soliman K M, Jorgensen R A, Allard R W. Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1984, 81: 8014-8018.
- [12] Liu K J, Muse S V. Power Marker: an integrated analysis environment for genetic marker analysis. *Bioinformatics*, 2005, 21: 2128-2129.
- [13] 庄巧生. 中国小麦品种改良及系谱分析. 中国农业出版社, 2003. pp 393-419.
Zhuang Q S. Chinese Wheat Improvement and Pedigree Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2003. pp 393-419 (in Chinese).
- [14] Dwivedi S L, Ceccarelli S, Blair M W, Upadhyaya H D, Are A K, Ortiz R. Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends Plant Sci*, 2016, 21: 31-42.
- [15] 中国农学会遗传资源学会编. 中国作物遗传资源. 中国农业出版社, 1994. pp 3-7.
Society of Crop Genetic Resources Chinese Association of Agricultural Science Societies. Crop Genetic Resources in China. Beijing: China Agriculture Press, 1994. pp 3-7 (in Chinese).
- [16] 王立新, 李宏博, 廖琴, 邱军, 常利芳, 刘丽华, 任立平, 高新欢, 赵昌平. 利用分子标记筛查小麦相似品种(系). 作物学报, 2010, 36: 1490-1497.
Wang L X, Li H B, Liao Q, Qiu J, Chang L F, Liu L H, Ren L P, Gao X H, Zhao C P. Screening wheat varieties with genetic similarity using molecular markers. *Acta Agron Sin*, 2010, 36: 1490-1497.
- [17] 李小军, 徐鑫, 刘伟华, 李秀全, 杨欣明, 李立会. 应用 SSR 分子标记分析国外种质对我国小麦品种的遗传贡献. 作物学报, 2009, 35: 778-785.
Li X J, Xu X, Liu W H, Li X Q, Yang X M, Li L H. Genetic contribution of introduced varieties to wheat breeding in China evaluated using SSR markers. *Acta Agron Sin*, 2009, 35: 778-785 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王琨, 崔志钢, 顾昌华, 赵会芳, 张玲丽. 同名小麦地方品种形态农艺性状遗传多样性分析. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 77-80.

- Wang K, Cui Z G, Gu C H, Zhao H F, Zhang L L. Genetic diversity analysis of morphological and agronomic traits of wheat with the same name. *Jiangsu Agric Sci*, 2014, 42(8): 77–80 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李正玲, 胡琳, 王会伟, 董海滨, 李艳, 李春鑫, 许为钢. 河南省同名小麦地方品种 SSR 遗传多样性分析. 麦类作物学报, 2016, 36: 564–570.
- Li Z L, Hu L, Wang H W, Dong H B, Li Y, Li C X, Xu W G. Genetic diversity of Henan wheat landraces with the same name detected by SSR markers. *J Triticeae Crops*, 2016, 36: 564–570 (in Chinese with English abstract).
- [20] 吴涛. 长江中上游流域小麦地方品种基于 SSR 的遗传多样性分析. 华中农业大学硕士学位论文, 湖北武汉, 2013.
- Wu T. Analysis of Genetic Diversity of Wheat Landraces from Yangtze River Valley by SSR Markers. MS Thesis of Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei, China, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [21] 张玲丽, 孙道杰, 冯毅, 王辉, 宋喜悦. 中国小麦地方品种的 SSR 遗传多样性分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(7): 85–90.
- Zhang L L, Sun D J, Feng Y, Wang H, Song X Y. Analysis on genetic diversity of Chinese wheat landraces using SSR markers. *J Northwest A&F Univ (Nat Sci Edn)*, 2010, 38(7): 85–90 (in Chinese with English abstract).
- [22] 王宏飞, 李宏琪, 丛花, 章艳凤, 肖菁, 宋羽, 严勇亮. 新疆小麦地方品种遗传多样性的 SSR 分析. 中国农业科技导报, 2010, 12(6): 98–104.
- Wang H F, Li H Q, Cong H, Zhang Y F, Xiao J, Song Y, Yan Y L. Genetic diversity of wheat landraces from Xinjiang using SSR markers. *J Agric Sci Technol*, 2010, 12(6): 98–104 (in Chinese with English abstract).
- [23] 卞春梅. 四川小麦地方品种重要 SSR 位点评价及其与主要性状相关分析. 四川农业大学硕士学位论文, 四川成都, 2009.
- Bian C M. Evaluation of Important SSR Locus of Sichuan Wheat Landraces and Relationship with Main Characters. MS Thesis of Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan, China, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [24] 魏育明, 郑有良, 周永红, 刘登才, 兰秀锦, 颜泽洪, 张志清. 四川小麦地方品种和主栽品种 SSR 多态性比较研究. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 117–121.
- Wei Y M, Zheng Y L, Zhou Y H, Liu D C, Lan X J, Yan Z H, Zhang Z Q. Comparison of genetic variations among Sichuan wheat landraces and cultivars based on SSR analysis. *J Sichuan Agric Univ*, 2001, 19(2): 117–121 (in Chinese with English abstract).
- [25] Zhou Y, Chen Z X, Cheng M Q, Chen J, Zhu T T, Wang R, Liu Y X, Qi P F, Chen G Y, Jiang Q T, Wei Y M, Luo M C, Nevo E, Allaby R G, Liu D C, Wang J R, Dvorák J, Zheng Y L. Uncovering the dispersion history, adaptive evolution and selection of wheat in China. *Plant Biotechnol J*, 2018, 16: 280–291.
- [26] 白彦明, 李龙, 王绘艳, 柳玉平, 王景一, 毛新国, 昌小平, 孙黛珍, 景蕊莲. 蚂蚱麦和小白麦衍生系的遗传多样性分析. 作物学报, 2019, 45: 1468–1477.
- Bai Y M, Li L, Wang H Y, Liu Y P, Wang J Y, Mao X G, Chang X P, Sun D Z, Jing R L. Genetic diversity assessment in derivative offspring of Mazhamai and Xiao-baimai wheat. *Acta Agron Sin*, 2019, 45: 1468–1477 (in Chinese with English abstract).
- [27] Wang S, Wong D, Forrest K, Allen A, Chao S M, Huang B E, Salvi S, Milner S G, Cattivelli L, Mastrangelo A M, Whan A, Stephen S, Barker G, Wieseke R, Plieske J. Characterization of polyploid wheat genomic diversity using a high density 90,000 single nucleotide polymorphism array. *Plant Biotechnol J*, 2014, 12: 787–796.
- [28] Akhunov E D, Akhunova A R, Anderson O D, Anderson J A, Blake N, Clegg M T, Coleman-Derr D, Conley E J, Crossman C C, Deal K R. Nucleotide diversity maps reveal variation in diversity among wheat genomes and chromosomes. *BMC Genomics*, 2010, 11: 702.
- [29] 刘易科, 朱展望, 陈冷, 邹娟, 佟汉文, 朱光, 何伟杰, 张宇庆, 高春保. 基于 SNP 标记揭示我国小麦品种(系)的遗传多样性. 作物学报, 2020, 46: 307–314.
- Liu Y K, Zhu Z W, Chen L, Zou J, Tong H W, Zhu G, He W J, Zhang Y Q, Gao C B. Revealing the genetic diversity of wheat varieties (lines) in China based on SNP markers. *Acta Agron Sin*, 2020, 46: 307–314 (in Chinese with English abstract).
- [30] 李珊珊, 易腾飞, 徐渴, 张树华, 赵勇, 杨学举. 河北省小麦品种基于 SNP 标记的遗传多样性分析. 分子植物育种, 2019, 17: 6850–6859.
- Li S S, Yi T F, Xu K, Zhang S H, Zhao Y, Yang X J. Genetic diversity of wheat varieties in Hebei province based on single nucleotide polymorphism. *Mol Plant Breed*, 2019, 17: 6850–6859 (in Chinese with English abstract).
- [31] 曹廷杰, 谢菁忠, 吴秋红, 陈永兴, 王振忠, 赵虹, 王西成, 詹克慧, 徐如强, 王际睿, 罗明成, 刘志勇. 河南省近年审定小麦品种基于系谱和 SNP 标记的遗传多样性分析. 作物学报, 2015, 41: 197–206.
- Cao T J, Xie J Z, Wu Q H, Chen Y X, Wang Z Z, Zhao H, Wang X C, Zhan K H, Xu R Q, Wang J R, Luo M C, Liu Z Y. Genetic diversity of registered wheat varieties in Henan province based on pedigree and single-nucleotide polymorphism. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 197–206 (in Chinese with English abstract).
- [32] 曹廷杰. 河南省小麦新品种(系)遗传解析. 北京: 中国农业大学, 2015.
- Cao T J. Genetic Analysis of New Wheat Varieties (lines) in Henan Province. Beijing: China Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [33] Zahra M T, Zahra T M, Kumarse N, Khalil Z N, Farshad R, Abdelfattah A D. Combined study on genetic diversity of wheat genotypes using SNP marker and phenotypic reaction to *Heterodera filipjevi*. *Genet Resour Crop Evol*, 2019, 66: 1791–1811.
- [34] Bhatta M, Shamanin V, Shepelev S, Baenziger P S, Pozherukova V, Pototskaya I, Morgounov A. Genetic diversity and population structure analysis of synthetic and bread wheat accessions in western Siberia. *J Appl Genet*, 2019, 60: 283–289.