

部分美国小麦种质资源醇溶蛋白遗传多样性 分析及其亚基对品质性状的影响

郭超¹, 刘红², 陈新宏¹, 张军¹, 赵继新¹, 王亮明¹

(¹西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100; ²岐山县种子管理工作站, 陕西岐山 722400)

摘要: 为了解 67 份美国材料的遗传多样性及其醇溶蛋白亚基对品质性状的影响, 利用酸性聚丙烯酰胺凝胶电泳 (A-PAGE) 技术进行醇溶蛋白谱带分析, 测定了面团流变学特性及理化品质。结果表明, 在 67 份美国材料中共分离出 1332 条谱带, 49 种不同迁移率类型的谱带, 大部分谱带具有多态性。单个材料谱带总数变异幅度为 13~28。谱带数在 α 、 β 、 γ 、 ω 4 个区的分布存在较大差异。没有发现电泳谱带完全相同的材料。GS 值变异范围 0.54~0.90, 平均值为 0.731。在 GS = 0.607 水平上, 聚类分析将这 67 份材料分为 6 类。49 条不同迁移率的谱带中有 17 条谱带与 36 项品质性状的相关性达到显著或极显著差异。6 条谱带 (迁移率为 49.6、56.2、56.7、62.2、79.4、86.8) 与湿面筋含量、蛋白质含量和沉淀值呈正相关, 而迁移率为 60.5 的谱带与之呈负相关。11 条谱带 (迁移率为 26.5、42.0、49.6、52.5、56.2、56.7、62.2、64.1、72.0、79.4、86.8) 与面团稳定时间、面团形成时间、延伸面积等面团流变学特征呈正相关, 而迁移率为 34.4、47.5、49.0、60.5、69.4、85.4 的 6 条谱带则与之呈负相关。说明供试材料间存在着丰富的遗传多样性以及与优质品质相关的谱带, 为进一步利用这 67 份种质资源和优质小麦品种的选育提供了理论依据。

关键词: 小麦; 醇溶蛋白; 多样性分析; 品质; 相关性

Genetic Diversity of Gliadin in Some American Wheat Germplasm and Their Effect on Quality Properties

GUO Chao¹, LIU Hong², CHEN Xin-hong¹, ZHANG Jun¹, ZHAO Ji-xin¹, WANG Liang-ming¹

(¹College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling 712100; ²Qishan County Seed Management, Qishan Shaanxi 722400)

Abstract: In order to know the diversity in 67 American wheat germplasm resources and investigate the effects of gliadin variation on wheat quality characters, A-PAGE was used to analyze the variations of prolamin among those wheat germplasm resources. Moreover, their farinograph and physical chemistry qualities were tested. The results showed that there were 1332 protein bands in tested germplasm and there were 49 protein bands with different mobility. Most of those different mobility bands showed great polymorphism. Each material had 13 to 28 bands. The number of bands in α , β , γ , and ω zones had big difference. Different material had different bands. The genetic similarity ranged from 0.54 to 0.90, with an average of 0.731. Cluster analysis based on genetic similarity of seed gliadins showed that 67 cultivars could be divided into 6 clusters at the level of GS = 0.607. Significant or extremely significant correlation were found between 17 of the 49 bands and 36 kinds of wheat quality characters. 6 bands with the mobility of 49.6, 56.2, 56.7, 62.2, 79.4, and 86.8 were positively correlated with protein content, gluten content, and zeleny, while 60.5 was negatively correlated with protein content, gluten content, and zeleny. 11 bands with the mobility of 26.5, 42.0, 49.6, 52.5, 56.2, 56.7, 62.2, 64.1, 72.0, 79.4, and 86.8 were positively correlated

收稿日期: 2014-04-11 修回日期: 2014-05-30 网络出版日期: 2014-10-13

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20141013.2027.012.html>

基金项目: 农业部“948”项目(2013-Z28); 美国、印度优异小麦种质资源的引进、评价与利用; 陕西省重点科技创新团队计划支持(2014KCT-25)

第一作者主要从事小麦作物遗传育种与种子工程研究。E-mail: stevenguochoa@126.com

通信作者: 陈新宏, 主要从事小麦远缘杂交与作物遗传育种研究。E-mail: cxh2089@126.com

with good wheat farinograph of dough stable time, development time and stretch area, etc., while another 6 bands with the mobility of 34.4, 47.5, 49.0, 60.5, 69.4, and 85.4 showed opposite trend. High genetic diversity in 67 American wheat germplasm resources was observed and bands which were positively correlated with good properties were existed, which would provide theoretical guidance for the further use of those 67 germplasm resources and high-quality wheat varieties breeding.

Key words: wheat; gliadin; genetic diversity; quality; correlation

小麦是世界上重要的粮食作物之一,小麦种质资源对新品种的选育有着重要的作用。现代小麦育种实践证明,品种遗传基础狭窄已成为世界各国在品种产量获得突破性成就的重要瓶颈,突破性成就的获得在很大程度上取决于拥有的小麦种质资源的遗传多样性以及对其研究的深度^[1]。因此,对品种进行遗传多样性的研究,有利于提高小麦育种效率。

探讨品种的遗传多样性,可以从数量性状遗传距离^[2]、系谱计算的亲缘系数^[3-4]、生化标记^[5]以及分子标记的遗传距离^[6]等方面进行研究。麦醇溶蛋白(*Gli*)和麦谷蛋白(*Glu*)是小麦贮藏蛋白的重要组成部分。麦醇溶蛋白约占小麦胚乳总蛋白的40%,其含量和组成与小麦面团的黏性和延伸性有关。普通小麦编码醇溶蛋白的基因位点分布在第1和第6部分同源群染色体的短臂上^[7],称为*Gli-1*和*Gli-2*位点,其中*Gli-1*包括*Gli-A1*、*Gli-B1*和*Gli-D1*; *Gli-2*包括*Gli-A2*、*Gli-B2*和*Gli-D2*。这些位点上等位基因的高度变异及其位点之间不同等位基因的组合,使麦醇溶蛋白表现出高度的多态性^[8]。麦醇溶蛋白在结构上为单亚基,在酸性条件下(约pH 3.1)经聚丙烯酰胺凝胶电泳(A-PAGE)分离后,电泳谱带按分子量大小和迁移率的不同可分为 α 、 β 、 γ 和 ω 4个区^[9]。由于醇溶蛋白在不同小麦种质间具有高度多态性和不受环境影响的特点,醇溶蛋白被用于小麦品种鉴定、种子纯度检测、亲缘关系分析、品质预测^[10],以及种质资源遗传多样性分析、物种的起源和进化研究等方面^[11]。已在普通小麦的*Gli-1*和*Gli-2*位点上鉴定出130个等位变异^[12],并且已有一些国家和地区在对其广泛应用的小麦品种或种质的醇溶蛋白组成及遗传变异分析的基础上,也发现了一些优质基因^[13-14],如*Gli-B1b*、*Gli-A2b*、*Gli-B2c*。对我国小麦品种资源醇溶蛋白等位变异的研究也发现了一些谱带对沉降值有正向效应,一些有负向效应^[15]。目前对于多样性的研究主要针对国内品种或小麦及其近缘种属醇溶蛋白,关于国外小麦品种麦醇溶蛋白遗传多样性方面的研究报道较少。此外,由于麦醇溶蛋白在不同小麦品种间表

现出高度的多态性,且麦醇溶蛋白的等位变异比麦谷蛋白复杂得多,所以目前关于麦醇溶蛋白谱带与小麦品质关系的报道较少,因此有必要进一步加强对麦醇溶蛋白的组成、等位变异与小麦品质关系方面的研究,以便利用优质谱带标记来辅助选育优质小麦品种,提高我国小麦品种的品质。

美国是世界小麦的重要产地,并具有复杂的地理气候特点和丰富的种质资源,同时收集和利用全球各地的小麦种质资源,因此在优质资源和抗逆资源方面比我国具有明显优势^[16-18]。

本课题组于2010年从美国引进了一批小麦种质资源,并从中筛选出了适合黄淮海麦区生长的67份材料。本研究利用A-PAGE对这67份小麦品种进行了醇溶蛋白多样性的分析及其亚基与品质性状的相关性分析,以期为进一步利用这67份种质资源和为优质小麦品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料共68份(表1)。其中67份(材料编号C1~C67,其中硬质麦58份、软质麦9份)引自美国内布拉斯加州林肯大学,中国春为对照,由本课题组繁殖保存。试验材料于2012年种植于西北农林科技大学官村试验基地,1份材料1个小区,采用随机排列,小区面积5 m²,田间常规管理,收获后及时脱粒,3个月后测定品质性状。

1.2 醇溶蛋白提取和A-PAGE分析

每个品种取5粒粒色、粒形、大小一致的种子,分别研磨,加入提取液(25% 2-氯乙醇,0.05% 甲基绿)室温浸提过夜,8000 r/min离心5 min,取上清液进行电泳分析。A-PAGE的方法参照文献^[19]。

1.3 小麦品质性状测定

对供试材料进行蛋白质含量、湿面筋含量、吸水率、沉降值、面团稳定时间、面团形成时间、延伸度、延伸面积和最大拉伸阻力的测定,测定的具体方法参照文献^[20]。

表 1 供试 68 个小麦品种醇溶蛋白构成

Table 1 Gliadin composition of 68 wheat cultivars

| 编号 No. | 小麦名称 Accession name | 总谱带数 Total bands | 分区谱带数 Divide zone | | | | 编号 No. | 小麦名称 Accession name | 总谱带数 Total bands | 分区谱带数 Divide zone | | | |
|-----------|------------------------|---------------------|-------------------|---------|----------|----------|-----------|------------------------|---------------------|-------------------|---------|----------|----------|
| | | | α | β | γ | ω | | | | α | β | γ | ω |
| C1 | NE09L-12 | 21 | 5 | 3 | 4 | 9 | C35 | NIN09L-2 | 21 | 5 | 3 | 6 | 7 |
| C2 | NE09L-47 | 16 | 3 | 3 | 4 | 6 | C36 | NIN09L-6 | 23 | 4 | 3 | 8 | 8 |
| C3 | NE09L-54 | 13 | 3 | 3 | 4 | 3 | C37 | NIN09L-4 | 18 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| C4 | NE09L-55-2 | 18 | 4 | 3 | 5 | 6 | C38 | NIN09L-9 | 19 | 3 | 3 | 7 | 6 |
| C5 | NE09L-57 | 22 | 5 | 4 | 6 | 7 | C39 | NIN09L-11 | 19 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| C6 | NE09L-60-2 | 17 | 4 | 3 | 4 | 6 | C40 | NIN09L-13 | 18 | 3 | 3 | 3 | 9 |
| C7 | NE09L-70 | 19 | 3 | 3 | 5 | 8 | C41 | NIN09L-19 | 23 | 4 | 4 | 3 | 12 |
| C8 | NE09L-91 | 23 | 5 | 4 | 5 | 9 | C42 | NIN09L-31 | 16 | 3 | 2 | 6 | 5 |
| C9 | NE09L-96 | 18 | 3 | 2 | 5 | 8 | C43 | NIN09L-32 | 16 | 3 | 3 | 6 | 4 |
| C10 | NE09L-101 | 20 | 3 | 3 | 5 | 9 | C44 | NIN09L-52 | 20 | 3 | 4 | 6 | 7 |
| C11 | NE09L-103 | 21 | 4 | 3 | 5 | 9 | C45 | IDRD09L-18 | 16 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| C12 | NE09L-108 | 21 | 4 | 4 | 3 | 10 | C46 | IDRD09L-30 | 18 | 4 | 4 | 6 | 4 |
| C13 | Dup09L-plot-406 | 15 | 3 | 3 | 6 | 3 | C47 | TRP09L-2 | 19 | 3 | 2 | 7 | 7 |
| C14 | Dup09L-plot-420 | 21 | 5 | 4 | 4 | 8 | C48 | TRP09L-6 | 19 | 3 | 5 | 4 | 7 |
| C15 | Dup09L-plot-453 | 17 | 3 | 3 | 5 | 6 | C49 | TRP09L-12 | 15 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| C16 | Dup09L-plot-472 | 19 | 5 | 3 | 6 | 5 | C50 | TRP09L-26 | 20 | 5 | 4 | 4 | 7 |
| C17 | Dup09L-plot-476 | 23 | 5 | 4 | 5 | 9 | C51 | RPN09L-14 | 21 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| C18 | Dup09L-plot-481 | 21 | 3 | 3 | 6 | 9 | C52 | RPN09L-16 | 22 | 5 | 3 | 5 | 9 |
| C19 | Dup09L-plot-483 | 22 | 6 | 4 | 4 | 8 | C53 | RPN09L-37 | 19 | 4 | 3 | 5 | 7 |
| C20 | Dup09L-plot-517 | 28 | 6 | 4 | 7 | 11 | C54 | RPN09L-52 | 20 | 4 | 3 | 5 | 8 |
| C21 | Dup09L-plot-520 | 23 | 5 | 4 | 6 | 8 | C55 | RPN09L-83 | 18 | 4 | 4 | 3 | 7 |
| C22 | Dup09L-plot-540 | 22 | 3 | 4 | 7 | 8 | C56 | RPN09L-90 | 15 | 3 | 3 | 2 | 7 |
| C23 | Dup09L-plot-561 | 21 | 4 | 3 | 7 | 7 | C57 | Nadokuta | 16 | 3 | 3 | 4 | 6 |
| C24 | Dup09L-plot-574 | 24 | 4 | 5 | 7 | 8 | C58 | Wahoo | 22 | 4 | 4 | 4 | 10 |
| C25 | Dup09L-plot-599 | 25 | 5 | 4 | 6 | 10 | C59 | Anton | 19 | 4 | 3 | 6 | 6 |
| C26 | Dup09L-plot-615 | 26 | 5 | 3 | 7 | 11 | C60 | Hitch | 21 | 444 | 3 | 4 | 10 |
| C27 | Dup09L-plot-616 | 26 | 6 | 4 | 6 | 10 | C61 | NW09001 | 21 | 33 | 3 | 7 | 8 |
| C28 | Dup09L-plot-617 | 20 | 5 | 3 | 6 | 6 | C62 | TVT09L-1 | 19 | 4 | 4 | 6 | 5 |
| C29 | Dup09L-plot-618 | 24 | 5 | 4 | 7 | 8 | C63 | TVT09L-3 | 20 | 4 | 4 | 5 | 7 |
| C30 | Dup09L-plot-631 | 21 | 5 | 3 | 5 | 8 | C64 | TVT09L-9 | 21 | 3 | 3 | 6 | 9 |
| C31 | Dup09L-plot-632 | 23 | 5 | 4 | 5 | 9 | C65 | TVT09L-13 | 16 | 2 | 3 | 6 | 5 |
| C32 | Dup09L-plot-674 | 20 | 5 | 3 | 4 | 8 | C66 | TVT09L-16 | 15 | 2 | 3 | 3 | 7 |
| C33 | Dup09L-plot-682 | 23 | 3 | 5 | 7 | 8 | C67 | TVT09L-18 | 16 | 3 | 3 | 4 | 6 |
| C34 | NIN09L-1 | 18 | 3 | 2 | 6 | 7 | CS | 中国春 | 20 | 5 | 4 | 4 | 7 |

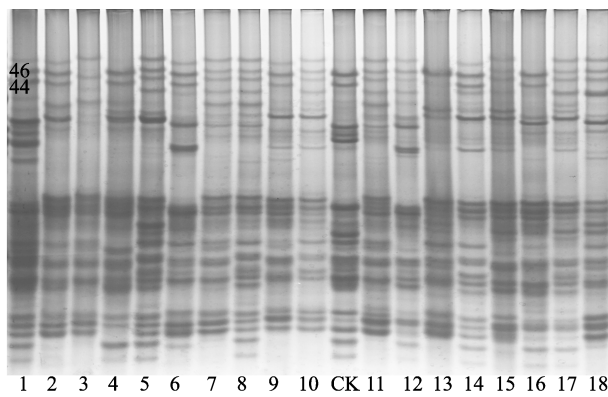
1.4 数据分析

参照 J. H. Woychick 等^[21]的方法,根据迁移率大小将电泳谱带分为 α 、 β 、 γ 和 ω 4 个区。利用 GEL2.0^[22]对电泳谱带进行自动识别和分析比较。按照 W. Bushuk 等^[10]的相对迁移率计算系统,以中国春为对照计算小麦醇溶蛋白各谱带的相对迁移率。每个材料的电泳谱带按有或无记录,有谱带时记为 1,否则记为 0。按照 M. Nei 的方法^[23]计算品种间相似系数(GS, genetic similarity): $GS = 2N_{ij} / (N_i + N_j)$, 其中 N_i 为 i 品种出现的谱带数, N_j 为 j 品种出现的谱带数, N_{ij} 为 i 品种和 j 品种共有的谱带数。用 NTSYS-pc 2.10 遗传分析软件根据 GS 值按非加权平均数(UPGMA)进行遗传相似性聚类分析。用 SAS 软件对品质性状测定数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 供试材料醇溶蛋白带型分析

供试材料醇溶蛋白构成见表 1。由表 1 可知,供试材料共分离出 1332 条带,平均为 19.88 条,单个材料谱带总数变异幅度为 13~28,其中 Dup09L-plot-517 谱带数最多,为 28 条,NE09L-54 谱带数最少,为 13 条。67 份美国材料共分离出 49 条不同迁移率的谱带(谱带编号 1~49),其中 44 号和 46 号为双联共显带(图 1),在 67 个品种中有 41 个品种(占 61.2%)均出现了该双联共显带。在所有不同迁移率的谱带中未发现共有谱带,第 40、48、49 条带为 Dup09L-plot-617、Dup09L-plot-631 和 RPN09L-16 特有,可作为这 3 个品种的特征谱带。其余的 62 条带(占 92.5%)均具有不同程度的多态性。



1: NE09L-12, 2: NE09L-47, 3: NE09L-54, 4: NE09L-55-2, 5: NE09L-57, 6: NE09L-60-2, 7: NE09L-70, 8: NE09L-91, 9: NE09L-96, 10: NE09L-101, CK: Chinese spring, 11: NE09L-103, 12: NE09L-108, 13: Dup09L-plot-406, 14: Dup09L-plot-420, 15: Dup09L-plot-453, 16: Dup09L-plot-472, 17: Dup09L-plot-476, 18: Dup09L-plot-481

图1 部分供试美国材料醇溶蛋白带型图

Fig.1 Gliadin patterns of some American cultivars

由表2可以看出,不同谱带相对迁移率出现频率分布范围为1.5%~80.6%。5号、6号谱带出现频率为80.6%、79.1%,说明其多态性低,而40号、48号、49号谱带出现频率为1.5%,说明其多态性高。谱带出现频率大于60%的总共有7条。大部分谱带出现频率小于40%,说明供试67份美国材料多态性高。

49条不同迁移率谱带又可以划分为 α 、 β 、 γ 、 ω 4个区。由表1和表3可以看出,供试67份材料醇溶蛋白谱带数在 α 、 β 、 γ 、 ω 4个区的分布存在较大差异。 α 区(第1~7)共有7条不同迁移率的谱带,33种变异类型,单个材料有2~6条带,平均3.93条,以3条带出现次数最多,有25个品种; β 区(第8~12)共有5条不同迁移率的谱带,24种变异类型,单个材料有2~5条带,平均3.42条,以3、4条带出现频率最高,分别有35和24个品种; γ 区(第

表2 供试材料不同醇溶蛋白谱带出现的频率

Table 2 Present frequency of each gliadin pattern of the tested wheat landraces

| 谱带编号 | 相对迁移率(%) | 出现次数 | 出现频率(%) | 谱带编号 | 相对迁移率(%) | 出现次数 | 出现频率(%) |
|-----------|-------------------|---------------|-------------------|-----------|-------------------|---------------|-------------------|
| Band code | Relative mobility | Present times | Present frequency | Band code | Relative mobility | Present times | Present frequency |
| 1 | 16.5 | 21 | 31.3 | 26 | 57.9 | 43 | 64.2 |
| 2 | 19.0 | 47 | 70.1 | 27 | 59.4 | 24 | 35.8 |
| 3 | 23.9 | 41 | 61.2 | 28 | 59.9 | 18 | 26.9 |
| 4 | 26.5 | 20 | 29.9 | 29 | 60.5 | 8 | 11.9 |
| 5 | 29.8 | 54 | 80.6 | 30 | 61.3 | 13 | 19.4 |
| 6 | 32.3 | 53 | 79.1 | 31 | 62.2 | 11 | 16.4 |
| 7 | 33.7 | 52 | 77.6 | 32 | 64.1 | 19 | 28.4 |
| 8 | 34.4 | 43 | 64.2 | 33 | 67.2 | 15 | 22.3 |
| 9 | 38.8 | 34 | 50.7 | 34 | 69.4 | 19 | 28.4 |
| 10 | 42.0 | 10 | 14.9 | 35 | 69.8 | 26 | 38.8 |
| 11 | 45.3 | 32 | 47.8 | 36 | 70.1 | 31 | 46.3 |
| 12 | 46.2 | 35 | 52.2 | 37 | 70.7 | 39 | 58.2 |
| 13 | 47.5 | 34 | 50.7 | 38 | 71.5 | 19 | 28.4 |
| 14 | 49.0 | 9 | 13.4 | 39 | 72.0 | 24 | 35.8 |
| 15 | 49.6 | 9 | 13.4 | 40 | 73.0 | 1 | 1.5 |
| 16 | 50.3 | 35 | 52.2 | 41 | 73.9 | 34 | 50.7 |
| 17 | 52.5 | 26 | 38.8 | 42 | 74.9 | 23 | 34.3 |
| 18 | 53.6 | 21 | 31.3 | 43 | 77.6 | 39 | 58.2 |
| 19 | 54.9 | 23 | 34.3 | 44 | 79.4 | 31 | 46.3 |
| 20 | 55.6 | 26 | 38.8 | 45 | 81.4 | 34 | 50.7 |
| 21 | 55.9 | 19 | 28.4 | 46 | 85.4 | 15 | 22.4 |
| 22 | 56.2 | 27 | 40.3 | 47 | 86.8 | 18 | 26.9 |
| 23 | 56.6 | 38 | 56.7 | 48 | 87.2 | 1 | 1.5 |
| 24 | 56.7 | 20 | 29.9 | 49 | 91.0 | 1 | 1.5 |
| 25 | 56.9 | 38 | 56.7 | | | | |

13~24)共有12条不同迁移率的谱带,60种变异类型,单个材料出现2~8条带,平均5.21条,多数材料有4、5、6条带,分别有14、18、18个品种; ω 区(第25~49)共有25条不同迁移率的谱带,67种变异类

表3 供试材料醇溶蛋白4个分区带型统计分析

Table 3 Statistical analysis of gliadin patterns in 4 zones

| 分区 Zones | 不同迁移率总条带数 Different mobility of bands | 条带数 No. of Bands | 品种数 No. of varieties | 频率(%) Frequency |
|-------------|---|------------------------|----------------------------|--------------------|
| α | 7 | 2 | 2 | 3.0 |
| | | 3 | 25 | 37.3 |
| | | 4 | 19 | 28.4 |
| | | 5 | 18 | 26.9 |
| | | 6 | 3 | 4.5 |
| β | 5 | 2 | 4 | 6.0 |
| | | 3 | 35 | 52.2 |
| | | 4 | 24 | 35.8 |
| | | 5 | 4 | 6.0 |
| γ | 12 | 2 | 1 | 1.5 |
| | | 3 | 5 | 7.5 |
| | | 4 | 14 | 20.9 |
| | | 5 | 18 | 26.9 |
| | | 6 | 18 | 26.9 |
| | | 7 | 10 | 14.9 |
| | | 8 | 1 | 1.5 |
| ω | 25 | 3 | 2 | 3.0 |
| | | 4 | 3 | 4.5 |
| | | 5 | 6 | 8.9 |
| | | 6 | 11 | 16.4 |
| | | 7 | 13 | 19.4 |
| | | 8 | 14 | 20.9 |
| | | 9 | 10 | 14.9 |
| | | 10 | 5 | 7.5 |
| | | 11 | 2 | 3.0 |
| | | 12 | 1 | 1.5 |

型,单个材料可出现3~12条带,平均7.21条,以7、8条带最多见,分别有13和14个品种。 ω 区的变异类型最多, γ 区次之, α 区第3, β 区最少。以上数据表明,67份美国材料的醇溶蛋白遗传变异较大,其谱带在组合方式和数量上变化丰富,具有丰富的遗传多样性。

2.2 遗传相似性分析

根据67个供试材料的醇溶蛋白位点计算材料间的遗传相似系数(GS),其GS值变化范围为0.54~0.90,平均值为0.731。所有数值当中并没有出现GS值等于1的情况,进一步说明67份材料间存在较丰富的遗传多样性。C55(RPN09L-83)与C57(Nadokuta)材料间的遗传相似系数最大,为0.90,说明这两个材料间的亲缘关系比较近。C52(NE09L-12)与C1(RPN09L-16)间的遗传相似系数最小,为0.54,说明这两个材料间的亲缘关系较远。

2.3 聚类分析

按照UPGMA方法对67份供试材料间的醇溶蛋白遗传相似系数进行聚类分析(图2)。在GS值为0.54水平上,67份材料划分为一大类。在GS值为0.607水平上,67份材料可以分为6类;第I类包括29份材料,大部分材料均含有迁移率为57.9的这一条带,这29份材料又可以划分为2个亚类,第1亚类包括15个材料,第2亚类包括14份材料;第II类包括4个材料,均含有迁移率为69.4和74.9

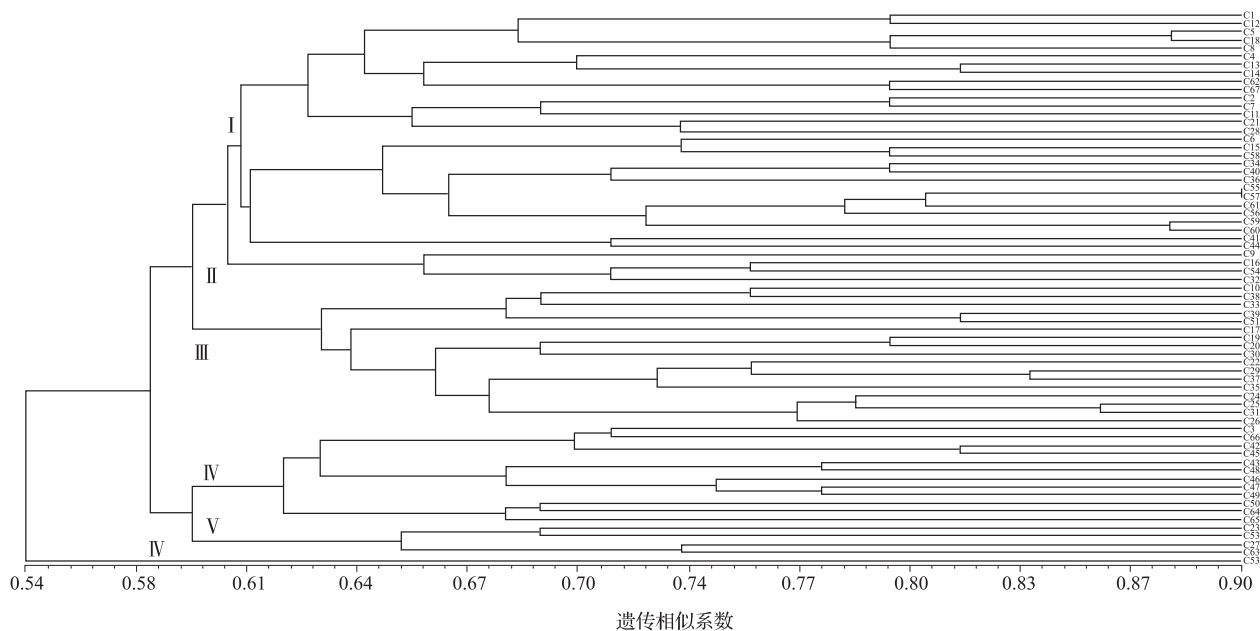


图2 67份美国小麦材料聚类图

Fig. 2 Dendrogram of 67 American wheat cultivars

的这2条谱带;第Ⅲ类包括17份材料,大部分材料均含有迁移率为46.2、56.2和73.0的这3条谱带;第Ⅳ类包括12份材料,所有材料均含有迁移率为45.3的这一谱带,这12份材料又可以划分为2个亚类,第1亚类包括9份材料,第2亚类包括3份材料;第Ⅴ类包括4份材料,均含有迁移率为61.3的这一谱带;第Ⅵ类包括1份材料,即C52,含有迁移率为91.0的这一特殊谱带。

2.4 67份美国材料品质性状分析

由表4可知,蛋白质含量、延伸度、吸水率、沉降值、湿面筋含量、面团稳定时间、面团形成时间以及延伸面积的变异系数较小,最大拉伸阻力的变异系数较大。面团稳定时间最大为18.3 min(材料编号C30),其次为18.2 min(材料编号C52),二者均超过强筋小麦西农979。绝大部分材料面团稳定时间达到国家强筋小麦标准(GB/T 17892—1999),蛋白质含量均值和湿面筋含量均值均达到国家强筋小麦

标准(GB/T 17892—1999)(表5)。

2.5 供试材料醇溶蛋白亚基与品质性状的相关分析

迁移率为49.6、56.2、56.7、60.5、62.2、79.4、86.8的这7条谱带与理化品质相关(表6),其中迁移率为49.6、56.2、56.7、86.8的4条谱带的存在可以同时提高小麦的湿面筋含量和蛋白质含量,迁移率为49.6的谱带的存在还可以提高小麦的沉降值;迁移率为62.2谱带的存在可以提高小麦的沉降值;迁移率为79.4的谱带的存在可以提高小麦的蛋白质含量;迁移率为60.5的谱带的存在会降低小麦的湿面筋含量、蛋白质含量以及沉降值。综合考虑,迁移率为49.6、56.2、56.7、86.8的谱带在小麦品质育种实践中应加强应用,迁移率为62.2和79.4的谱带应该选择性应用,而迁移率为60.5的谱带应该尽量避免应用。

表4 67份美国材料的品质性状统计分析

Table 4 Statistical analysis of the quality performance of 67 American wheat germplasms

| 品质性状 Quality character | 变异幅度 Range | 平均值 Mean | 标准差 SD | 变异系数(%) CV | 最高材料编号 The highest code | 最低材料编号 The lowest code |
|-------------------------------------|---------------|-------------|-----------|---------------|----------------------------|---------------------------|
| 蛋白质含量(%) Protein content | 12.14 ~ 15.96 | 14.07 | 0.97 | 6.89 | 30 | 57 |
| 湿面筋含量(%) Gluten content | 30.81 ~ 46.84 | 38.26 | 2.32 | 6.06 | 21 | 43 |
| 吸水率(%) Absorption | 55.8 ~ 68.5 | 62.72 | 2.81 | 4.48 | 10 | 26 |
| 沉降值(ml) Zel | 41.2 ~ 67.6 | 51.26 | 5.14 | 10.03 | 21 | 42 |
| 面团稳定时间(min) Stability | 5.9 ~ 18.3 | 10.53 | 1.83 | 17.37 | 30 | 2 |
| 面团形成时间(min) Development time | 3.4 ~ 12.6 | 6.8 | 0.93 | 13.67 | 10 | 42 |
| 延伸度(mm) Tractility | 96.8 ~ 219.9 | 168.1 | 9.82 | 5.94 | 54 | 18 |
| 最大拉伸阻力(BU) Maximum of resistance | 91 ~ 398 | 252.34 | 85.68 | 33.82 | 52 | 22 |
| 延伸面积(cm ²) Stretch area | 24.6 ~ 116.5 | 62.09 | 12.12 | 19.52 | 51 | 5 |

表5 西农979部分品质性状与国家强筋小麦标准指标

Table 5 Quality character of Xinong 979 and national standard of strong gluten wheat

| 品质性状 Quality character | 西农979 Xinong 979 | 国家强筋小麦品质标准 National standard of strong gluten wheat | |
|----------------------------|---------------------|---|--------------------|
| | | 一等 First class | 二等 Second class |
| | | 蛋白质含量(%) Protein content | 15.39 |
| 湿面筋含量(%) Gluten content | 32.3 | ≥35.0 | ≥32.0 |
| 面团稳定时间(min) Stability time | 17.9 | ≥10.0 | ≥7.0 |

迁移率为26.5、34.4、42.0、47.5、49.0、49.6、52.5、56.2、56.7、60.5、62.2、64.1、69.4、72.0、79.4、85.4、86.8的13条谱带与面团流变学特性相关(表6),其中迁移率为26.5、42.0、72.0的谱带的存在可增加吸水率;迁移率为26.5、42.0、62.2、64.1的谱带的存在可延长面团稳定时间;迁移率为62.2的谱带的存在会增加最大拉伸阻力;迁移率为49.6、62.2的谱带的存在会延长面团形成时间;迁移率为52.5、56.2、56.7、79.4、86.8的谱带的存在会增加延伸度;迁移率为49.0、85.4的谱带的存在会降低吸水率;迁移率为34.4、49.0的谱带的存在会降

表 6 醇溶蛋白谱带与其品质的简单相关系数

Table 6 Correlation coefficients between gliadin bands and wheat quality

| 谱带编号 Code | 理化品质 Physical and chemical quality | | | 面团流变学特性 Wheat farinograph | | | | | |
|--------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| | 蛋白质 含量(%) Protein content | 湿面筋 含量(%) Gluten content | 沉淀值 (mL) Zel | 吸水率 (%) Absorption | 延伸度 (mm) Tractility | 最大拉伸阻力 (BU) Maximum of resistanc | 稳定时间 (min) Stability time | 形成时间 (min) Development time | 延伸面积 (cm ²) Stretch area |
| 16.5 | 0.439 | 0.408 | 0.342 | -0.054 | 0.408 | 0.076 | 0.037 | 0.233 | 0.174 |
| 19 | 0.213 | 0.201 | 0.138 | 0.042 | 0.273 | -0.022 | 0.087 | 0.096 | -0.049 |
| 23.9 | 0.196 | 0.206 | 0.069 | 0.103 | 0.111 | -0.085 | 0.080 | -0.022 | -0.277 |
| 26.5 | 0.120 | 0.176 | 0.298 | 0.54 * | -0.101 | 0.198 | 0.52 * | 0.329 | -0.155 |
| 29.8 | 0.201 | 0.172 | 0.267 | 0.212 | 0.141 | 0.267 | 0.255 | 0.234 | 0.067 |
| 32.3 | 0.187 | 0.209 | -0.015 | 0.165 | 0.197 | -0.027 | 0.033 | -0.014 | -0.074 |
| 33.7 | 0.034 | 0.054 | -0.022 | 0.038 | 0.057 | -0.123 | 0.028 | -0.030 | -0.178 |
| 34.4 | 0.096 | 0.143 | -0.189 | 0.108 | 0.072 | -0.333 * | -0.109 | -0.187 | -0.262 |
| 38.8 | 0.175 | 0.24 | -0.017 | 0.281 | 0.097 | -0.05 | -0.006 | 0.030 | -0.045 |
| 42.0 | -0.035 | -0.069 | 0.248 | 0.599 * | 0.068 | 0.29 | 0.587 * | 0.149 | -0.127 |
| 45.3 | 0.33 | 0.299 | 0.298 | 0.027 | 0.295 | 0.199 | 0.167 | 0.267 | 0.135 |
| 46.2 | 0.178 | 0.221 | 0.031 | 0.210 | 0.138 | -0.034 | 0.067 | 0.010 | -0.08 |
| 47.5 | -0.034 | -0.038 | 0.045 | 0.259 | -0.057 | -0.041 | 0.247 | 0.082 | -0.379 * |
| 49.0 | 0.099 | -0.137 | 0.078 | -0.617 * | 0.519 | -0.597 * | -0.166 | -0.078 | -0.023 |
| 49.6 | 0.691 ** | 0.574 * | 0.483 * | 0.268 | 0.39 | 0.254 | 0.189 | 0.492 * | -0.032 |
| 50.3 | 0.323 | 0.354 | 0.196 | 0.066 | 0.179 | 0.234 | 0.109 | 0.167 | 0.139 |
| 52.5 | 0.189 | 0.182 | 0.168 | 0.197 | 0.418 * | 0.104 | 0.076 | 0.265 | 0.254 |
| 53.6 | 0.025 | 0.014 | 0.166 | 0.343 | -0.118 | 0.079 | 0.367 | 0.146 | -0.196 |
| 54.9 | 0.276 | 0.309 | 0.157 | 0.145 | 0.114 | 0.037 | 0.167 | 0.211 | -0.084 |
| 55.6 | 0.219 | 0.175 | -0.016 | 0.119 | 0.297 | -0.183 | -0.013 | -0.128 | -0.256 |
| 55.9 | 0.356 | 0.316 | 0.216 | -0.314 | 0.368 | 0.214 | 0.011 | 0.076 | 0.354 |
| 56.2 | 0.576 ** | 0.442 * | 0.137 | 0.136 | 0.528 ** | 0.075 | -0.081 | 0.230 | 0.223 |
| 56.6 | 0.089 | 0.042 | 0.186 | 0.217 | 0.152 | 0.035 | 0.203 | 0.188 | -0.16 |
| 56.7 | 0.496 * | 0.601 ** | 0.15 | -0.038 | 0.520 * | 0.238 | -0.041 | 0.315 | 0.321 |
| 56.9 | 0.179 | 0.166 | -0.104 | -0.049 | 0.234 | -0.261 | -0.211 | -0.149 | -0.21 |
| 57.9 | 0.178 | 0.264 | -0.027 | 0.136 | 0.167 | -0.188 | -0.015 | -0.067 | -0.289 |
| 59.4 | 0.084 | 0.091 | 0.065 | 0.254 | 0.028 | 0.068 | 0.119 | 0.156 | -0.078 |
| 59.9 | 0.246 | 0.187 | 0.231 | -0.132 | 0.286 | -0.034 | 0.256 | 0.189 | -0.045 |
| 60.5 | -0.789 * | -0.896 * | -0.85 * | 0.11 | -0.465 | -0.481 | -0.22 | -0.927 * | -0.639 |
| 61.3 | -0.141 | -0.191 | -0.320 | -0.042 | 0.345 | -0.432 | -0.268 | -0.345 | -0.278 |
| 62.2 | 0.182 | 0.099 | 0.384 * | 0.079 | 0.143 | 0.396 * | 0.477 * | 0.399 * | 0.156 |
| 64.1 | 0.238 | 0.217 | 0.388 | 0.201 | -0.078 | 0.198 | 0.435 * | 0.287 | -0.129 |
| 67.2 | 0.106 | -0.065 | -0.130 | -0.177 | 0.512 | -0.338 | -0.258 | -0.142 | 0.081 |
| 69.4 | 0.057 | 0.013 | -0.118 | -0.099 | -0.143 | -0.245 | -0.037 | -0.134 | -0.576 * |
| 69.8 | -0.016 | -0.13 | -0.136 | -0.125 | 0.047 | 0.033 | -0.015 | -0.121 | 0.156 |
| 70.1 | 0.057 | 0.086 | 0.009 | 0.300 | 0.096 | -0.034 | 0.159 | 0.066 | -0.171 |
| 70.7 | 0.256 | 0.247 | 0.232 | 0.201 | 0.289 | 0.136 | 0.184 | 0.196 | 0.039 |
| 71.5 | 0.147 | 0.045 | 0.186 | -0.284 | 0.276 | -0.165 | 0.037 | 0.165 | 0.178 |
| 72 | 0.243 | 0.206 | 0.258 | 0.492 * | 0.351 | 0.118 | 0.329 | 0.245 | -0.086 |
| 73.9 | 0.187 | 0.145 | 0.189 | 0.365 | 0.256 | 0.078 | 0.141 | 0.160 | 0.046 |
| 74.9 | 0.233 | 0.245 | 0.006 | 0.012 | 0.08 | 0.046 | 0.018 | 0.033 | -0.049 |
| 77.6 | 0.233 | 0.187 | 0.138 | 0.18 | 0.176 | -0.038 | 0.067 | 0.119 | -0.198 |
| 79.4 | 0.458 * | 0.304 | 0.138 | 0.138 | 0.391 * | -0.095 | 0.128 | 0.155 | -0.188 |
| 81.4 | 0.232 | 0.259 | 0.245 | 0.167 | 0.197 | 0.018 | 0.266 | 0.183 | -0.111 |
| 85.4 | -0.026 | -0.103 | -0.222 | -0.597 * | 0.211 | -0.308 | -0.213 | -0.177 | -0.018 |
| 86.8 | 0.677 ** | 0.685 ** | 0.367 | 0.023 | 0.535 * | 0.029 | -0.130 | 0.116 | 0.071 |

* 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 的显著水平

* and ** represent the 0.05 and 0.01 significant levels respectively

低最大拉伸阻力;迁移率为60.5的谱带的存在会降低面团形成时间;迁移率为47.5、69.4的谱带的存在会减少延伸面积。迁移率为26.5和42.0的谱带的存在可以延长面团稳定时间以及增加吸水率,迁移率为62.2的谱带的存在可以同时增加最大拉伸阻力,延长面团稳定时间以及面团形成时间,因此,在小麦品质育种中应该加强对迁移率为26.5、42.0、62.2的这3条谱带的利用,选择性应用迁移率为49.6、52.5、56.2、56.7、64.1、72.0、79.4、86.8的8条谱带,尽量避免应用迁移率为34.4、47.5、49.0、60.5、69.4、85.4的7条谱带。

综上,迁移率为49.6、56.2、56.7、62.2、79.4、86.8的6条谱带在理化品质与面团流变学特性这两方面都有比较好的表现,在育种工作中,应该加强应用。

3 讨论

3.1 醇溶蛋白遗传多样性

前人对小麦醇溶蛋白多样性进行了广泛研究。颜启传^[9]认为种子醇溶蛋白图谱差异的大小可以作为品种间亲缘关系远近的一项指标。范贵强等^[24]对138份河西地区春小麦种质资源进行遗传多样性分析,结果表明河西地区小麦种质资源遗传多样性丰富。陈晓杰等^[25]分析了新疆冬春麦区小麦地方品种贮藏蛋白遗传多样性,结果表明种质间的相似性系数(GS)为0.484~0.969,说明新疆麦区小麦地方品种贮藏蛋白位点存在丰富的遗传多样性。陶先萍等^[26]对中国小麦地方品种内和品种间醇溶蛋白进行了遗传多样性分析,结果表明供试的大多数小麦地方品种内个体间在醇溶蛋白构成上具有遗传异质性。张学勇等^[27]在一些小麦的姊妹系间发现了明显差异。本研究中67份美国材料GS值变异范围为0.54~0.90,说明这67份材料存在丰富的遗传多样性。在醇溶蛋白遗传分析基础上,从这67份美国材料中选择遗传相似系数小的材料进行杂交有助于后代的超亲分离,更有望选育出优良新品种。由于醇溶蛋白反映的基因位点只分布在第1和第6部分同源群染色体的短臂上,揭示的信息不够全面,在育种实践中应与其他技术相结合,如分子标记技术、高分子量谷蛋白亚基组成等,以获得更加全面准确的信息,提高育种效率。

3.2 醇溶蛋白亚基对品质的影响

C. W. Wrigley 等^[28]研究证明醇溶蛋白谱带 $\omega 2$ 、 $\omega 4$ 、 $\omega 14$ 和 $\omega 19$ 与面筋强度密切相关。F. G.

Kosmolak 等^[29]发现,硬粒小麦中醇溶蛋白 $\gamma 42$ 和 $\gamma 45$ 与面筋品质显著相关,含 $\gamma 45$ 的品种具有较好的面筋品质,而含 $\gamma 42$ 的品种具有较差的面筋品质。醇溶蛋白谱带 $\alpha 72.5$ 、 $\alpha 74$ 、 $\alpha 76$ 、 $\alpha 84$ 、 $\beta 61$ 、 $\beta 63$ 、 $\gamma 43$ 、 $\gamma 52$ 、 $\omega 11$ 、 $\omega 13.5$ 、 $\omega 16$ 、 $\omega 20$ 、 $\omega 30$ 、 $\omega 32$ 、 $\omega 37$ 与小麦面筋弹性、膨胀性、黏性及延展性呈正相关,而 $\beta 57.5$ 、 $\gamma 42.5$ 、 $\gamma 47.5$ 、 $\omega 35.5$ 则呈负相关^[30]。聂莉等^[20]研究发现谱带19.5、21.1、24.8可显著提高沉降值,40.1、72.9、84.8可同时提高蛋白质含量和湿面筋含量,而19.9和22.8会显著降低沉降值。王曙光等^[31]研究表明Gli19.1与湿面筋和蛋白质含量呈显著正相关,Gli16.5、Gli58.6、Gli69.4与沉降值呈显著或极显著正相关,Gli31.4与蛋白质和湿面筋含量呈负相关,Gli34.8与沉降值呈显著负相关。

本研究中49种不同迁移率的谱带中迁移率为47.5的谱带与小麦的延展性呈负相关,这与G. Branlard等^[30]的研究结果一致,其他谱带则并未出现上述情况,说明不同材料间醇溶蛋白亚基组成存在巨大差异。目前研究表明醇溶蛋白对小麦品质有影响,但缺乏具体一致的结论。一方面可能是由于醇溶蛋白亚基等位基因间的不同组合以及其高度的变异性所致;另一方面可能是醇溶蛋白亚基基因位点与低分子量麦谷蛋白亚基基因位点紧密连锁所致;不同的方法对迁移率以及醇溶蛋白带型也会有一定的影响。对于醇溶蛋白与小麦品质性状的复杂关系的研究,要综合考虑其一级结构、空间排列及相互之间或与谷蛋白之间的相互作用^[32]。在品质育种实践中,应该加强醇溶蛋白亚基与谷蛋白亚基对品质性状的相关性分析,以促进优质品种的选育。由于本试验仅就67份美国材料进行研究,此结果能否适用于其他小麦材料,有待进一步验证。

参考文献

- [1] 庄巧生. 中国小麦品种改良及系谱分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 12-35
- [2] Van B L T, Busch R H. Genetic diversity among North American spring wheat cultivars: III. Cluster analysis based on quantitative morphological traits[J]. *Crop Sci*, 1997, 37: 981-988
- [3] Van B L T, Busch R H. Genetic diversity among North American spring wheat cultivars: I. Analysis of the coefficient of parentage matrix[J]. *Crop Sci*, 1997, 37: 570-579
- [4] Murphy J P, Cox T S, Rodgers D M. Cluster analysis of red winter cultivars based on coefficients of parentage[J]. *Crop Sci*, 1986, 26: 672-676
- [5] Metakovsky E V, Boggini G. Genetic diversity of French common wheat germplasm based on gliadin alleles[J]. *Theor Appl Genet*, 1998, 96: 209-218
- [6] Siedler H, Messer M M, Schachermayr G M, et al. Genetic diversity in European wheat and spelt breeding materials based on RFLP data[J]. *Theor Appl Genet*, 1994, 88: 994-1003

- [7] Payne P I, Holt L M, Lawence G J, et al. The genetics of gliadin and glutenin, the major storage proteins of the wheat endosperm [J]. *Plant Food Hum Nutr*, 1982, 31: 229-241
- [8] Metakovsky E V, Branlard G. Genetic diversity of French common wheat germplasm based on gliadin alleles [J]. *Theor Appl Genet*, 1998, 96: 209-218
- [9] 颜启传. 试用 ISTA 推荐的种子醇溶蛋白电泳方法鉴定大麦和小麦品种 [J]. *作物学报*, 1992, 18(1): 61-68
- [10] Bushuk W, Zillman R R. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoresis. I. Apparatus, method and nomenclature [J]. *Can J Plant Sci*, 1978, 58: 505-515
- [11] Payne P L, Roca A. Genetic linkage between storage protein genes on each of the short arms of chromosome 1A and 1B of wheat [J]. *Theor Appl Genet*, 1984, 67: 235-243
- [12] Lifandra D, Kasarda D D, Morris R. Chromosomal assignment of genes coding for the wheat gliadin protein components of the cultivars Cheyenne and Chinese Spring by two-dimensional electrophoresis [J]. *Theor Appl Genet*, 1984, 68: 531-539
- [13] Metakovsky E V, Ng P K W, Chernakov V M, et al. Gliadin alleles in Canadian western red spring wheat cultivars; use of two different procedures of acid polyacrylamide gel electrophoresis for gliadin separation [J]. *Genome*, 1993, 36: 743-749
- [14] Metakovsky E V, Pogna N E, Biancardi A M, et al. Gliadin allele composition of common wheat cultivars grown in Italy [J]. *J Genet Breeding*, 1994, 48: 55-66
- [15] 郎明林, 卢少源, 张荣芝. 中国北方冬麦区主栽品种醇溶蛋白组成的演变分析 [J]. *作物学报*, 2001, 27(6): 958-966
- [16] Lin F, Chen X M. Molecular mapping of genes for race-specific overall resistance to stripe rust in wheat cultivar express [J]. *Theor Appl Genet*, 2008, 116: 797-806
- [17] Sui X X, Wang M N, Chen X M, et al. Molecular mapping of a stripe rust resistance gene in spring wheat cultivar ZAK [J]. *Phytopathology*, 2009, 99(10): 1209-1215
- [18] 白玉路, 孙权, 张春宇, 等. 美国西北部 59 个小麦品种 (系) 抗条锈病基因分子检测及对条锈菌系抗性鉴定 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(6): 1147-1155
- [19] 王红, 王瑞, 陈新宏, 等. 国内外普通小麦醇溶蛋白的遗传差异 [J]. *西北农业学报*, 2008, 17(6): 67-72
- [20] 聂莉, 芦静, 黄天荣, 等. 部分新疆小麦材料的醇溶蛋白组成及其对品质性状的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(4): 749-754
- [21] Woychick J H, Boundy J A, Dimler R J. Starch gel electrophoresis of wheat gluten proteins with concentric area [J]. *Arch Biochem Biophys*, 1961, 94(3): 477-482
- [22] 赵伟, 邵景侠, 张改生. 麦醇溶蛋白电泳技术在杂交小麦种子纯度鉴定中的应用 [J]. *麦类作物学报*, 2007, 27(2): 223-225
- [23] Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided populations [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1973, 70(12): 3321-3323
- [24] 范贵强, 王化俊, 马小乐, 等. 138 份河西地区春小麦种质资源的遗传多样性分析 [J]. *麦类作物学报*, 2013, 33(2): 268-272
- [25] 陈晓杰, 吉万全, 王亚娟. 新疆冬春麦区小麦地方品种贮藏蛋白遗传多样性研究 [J]. *植物遗传资源学报*, 2009, 10(4): 522-528
- [26] 陶先萍, 李洪杰, 李秀全, 等. 中国小麦地方品种内和品种间醇溶蛋白遗传多样性分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(4): 387-392
- [27] 张学勇, 杨欣明, 董玉琛, 等. 醇溶蛋白电泳在小麦种质资源遗传分析中的应用 [J]. *中国农业科学*, 1995, 28(4): 25-32
- [28] Wrigley C W, Robison P J, Williams W T. Associations between individual gliadin proteins and quality agronomic and morphological attributes of wheat cultivars [J]. *Aust J Agr Res*, 1982, 33: 409-418
- [29] Kosmolak F G, Dexter J E, Matsuo R R, et al. A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophoresis [J]. *Can J Plant Sci*, 1980, 60: 427-432
- [30] Branlard G, Dardevet M. Diversity of grain proteins and bread wheat quality. I. Correlation between gliadin bands and flour quality characteristics [J]. *J Cereal Sci*, 1985, 13: 329-343
- [31] 王曙光, 杨海峰, 孙黛珍, 等. 小麦醇溶蛋白亚基与品质性状的相关性分析 [J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(5): 31-35
- [32] Fido R J, Bekes F, Gras P W, et al. Effects of α -, β -, γ - and ω -gladins on the dough mixing properties of wheat flour [J]. *J Cereal Sci*, 1997, 26: 271-277

欢迎订阅 2015 年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版是由农业部主管、中国农业科学院与中国农学会共同主办的综合性学术期刊。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种·种质资源·分子遗传学;耕作栽培·生理生化·农业信息技术;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺;贮藏·保鲜·加工;畜牧·兽医·资源昆虫等栏目。

《中国农业科学》中文版为北京大学图书馆 1992-2011 年连续 6 次遴选的核心期刊,位居《中文核心期刊要目总览》“农业综合类核心期刊表”的首位。1999-2008、2013-2014 年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”资助。

半月刊,208 页/期,定价 49.50 元/期,全年 1188 元。国内统一连续出版物号:CN11-1328/S,国际标准连续出版物号:ISSN 0578-1752,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。

《中国农业科学》英文版 2002 年创刊,2012 年更名为《农业科学学报》(*Journal of Integrative Agriculture, JIA*),月刊。2006 年 1 月起与国际著名出版集团 Elsevier 合作,全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行。2009 年被 SCI 收录,2013 年影响因子为 0.625。

月刊,180 页/期,定价 80 元/期,全年 960 元。国内统一连续出版物号:CN 10-1039/S,国际标准连续出版物号:ISSN 2095-3119,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

《中国农业科学》中、英文版均可通过全国各地邮局订阅,也可向编辑部直接订购。

地址:(100081)北京市中关村南大街 12 号

电话:010-82109808,82106281,82105098

传真:010-82106247

网址:www.ChinaAgriSci.com

E-mail:zgnykx@caas.cn