DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0599
张尚雄,荆照,吴菲菲,栾瑞涛,王建丽,张玉霞,王显国.21份引进BMR饲草高粱不育系的农艺性状和SRAP遗传多样性.草业科学,2018,35(5):1072-1079.
Zhang S X, Jing Z, Wu F F, Luan R T, Wang J L, Zhang Y X, Wang X G. The agronomic characters and SRAP genetic diversity analysis of 21 introduced male sterile lines of brown midrib forage sorghum. Pratacultural Science, 2018, 35(5): 1072-1079.

21份引进BMR饲草高粱不育系的农艺性状和SRAP遗传多样性

张尚雄[1],荆 照[1],吴菲菲[1],栾瑞涛[2],王建丽[3],张玉霞[4],王显国[1]
(1.中国农业大学动物科技学院,北京 100193; 2.通辽星圣农业有限公司,内蒙古 霍林郭勒 029200;
3.黑龙江农业科学院,黑龙江 哈尔滨 624400; 4.内蒙古民族大学农学院,内蒙古 通辽 028000)

摘要:对21份引进褐色中脉高粱(*Sorghum bicolor*)不育系材料的农艺性状与SRAP遗传多样性进行了研究。结果表明,BMP17的茎粗、叶宽最大,分别为29.97 mm和9.88 cm;BMP20的茎叶比显著高于其他供试材料($P<0.05$)。SRAP标记方法共扩增出74条带,其中64条有多态性,多态性比率为86.5%,多态性信息含量平均值为0.49。遗传相似系数的变化范围为0.086~0.977。聚类分析显示,遗传距离为0.488时,供试材料分为3类。研究结果表明,所引进的BMR饲草高粱不育系材料遗传基础较窄。

关键词:饲草高粱;农艺性状;遗传多样性;褐色中脉;种质资源;聚类分析
中图分类号:S816;S514.03;Q943 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-0629(2018)05-1072-08*

The agronomic characters and SRAP genetic diversity analysis of 21 introduced male sterile lines of brown midrib forage sorghum

Zhang Shang-xiong[1], Jing Zhao[1], Wu Fei-fei[1], Luan Rui-tao[2],
Wang Jian-li[3], Zhang Yu-xia[4], Wang Xian-guo[1]
(1. China Agricultural University, College of Animal Science and Technology, Beijing 100193, China;
2. Tongliao XINGSHENG Agriculture Co., Ltd., Xilinguole 029200, Inner Mongolia, China;
3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 624400, Heilongjiang, China;
4. Inner Mongolia University for Nationalities, College of Agricultural Sciences, Tongliao 028000, Inner Mongolia, China)

Abstract: The agronomic characters and SRAP genetic diversity of 21 introduced male sterile lines of brown midrib forage sorghum (*Sorghum bicolor*) were investigated. The results showed that the stem diameter and leaf width were largest in BMP17, being 29.97 mm and 9.88 cm, respectively. The stem-leaf ratio in BMP20 was significantly higher than that in the other germplasms ($P<0.05$). A total of 74 bands were generated, of which 64 (86.5%) were polymorphic. The average value of polymorphic information content was 0.49. The genetic similarities among the 21 accessions ranged from 0.086 to 0.977. The dendrogram indicated that the 21 sorghum collections were grouped into three clusters at a genetic distance of 0.488. The genetic basis was narrow for the 21 sterile lines of Sorghum.

Key words: forage sorghum; agronomic characters; genetic diversity; brown midrib; germplasm resource; cluster analysis

Corresponding author: Wang Xian-guo E-mail: grasschina@126.com

* **收稿日期**:2017-10-29 **接受日期**:2018-03-19
基金项目:农业部948项目(2015-Z29)
第一作者:张尚雄(1988-),男,甘肃古浪人,在读博士生,主要从事牧草育种及生产研究。E-mail:zhangshangx@126.com
通信作者:王显国(1974-),男,内蒙古呼伦贝尔人,副教授,博士,主要从事牧草种子学与苜蓿生产技术研究。E-mail:grasschina@126.com

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

饲草高粱作为优质牧草,具有产量高、营养丰富、适口性好等优点,可作为泌乳奶牛日粮中的玉米(*Zea mays*)饲草的替代饲料,且不会降低奶牛生产性能[1],但高粱(*Sorghum bicolor*)木质化程度高,消化率低是其不足之处[2]。褐色中脉(brown mid-rib,BMR)饲草高粱能有效降低木质素含量,并且显著提高消化率[3-4],其难以消化的木质素含量比传统高粱低40%~60%[5]。目前,褐色中脉饲草高粱改良传统饲草高粱品质已成为国内外学者的研究热点之一。有研究报道,BMR 饲草高粱比传统高粱明显开花早和成熟早,且能提高秸秆的消化率,但籽粒产量显著低于传统高粱[6]。BMR 饲草高粱年刈割两次比刈割一次能增加叶茎比,降低茎粗和株高,有效改善 BMR 品种的饲草品质[7]。BMR-12 为 BMR 饲草高粱的品种之一,具有更低的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、酸性洗涤木质素含量,相对饲用价值较高,育种潜力较大[8]。BMR 饲草高粱不仅可以作为饲草高粱,而且可以作为能源型高粱,有研究表明,BMR 饲草高粱低木质素含量与生物乙醇产量无关,但其高葡萄糖含量与生物乙醇正相关[9]。因此,无论作为饲草高粱,还是能源型高粱,褐色中脉极具潜力。

序列相关扩增多态性(sequence related amplified polymorphism,SRAP)是一种简单的分子标记系统,具有多态性高、重复性好,稳定可靠等特点[10]。国内外 SRAP 标记研究植物遗传多样性应用广泛,研究发现,SRAP 能高效地分析垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、老芒麦(*E. sibiricus*)遗传变异,并区分遗传关系很近的品种。SRAP 标记技术的高频率共显性以及在基因组中均匀分布的特性优于 AFLP(amplified fragment length polymorphism)标记,并且相对于 SSR(simple sequence repeats),SRAP 特异条带比例较高,并且更加快捷,且成本低[10-12]。研究种质资源遗传多样性有利于解析材料的遗传背景和亲缘关系,对正确评价和有效利用种质资源、服务育种实践等具有重要意义[13]。为此,本研究对国内首次引进的 21 份 BMR 褐色中脉不育系材料进行农艺性状与遗传多样性分析,明确不同种质材料之间的遗传关系,以期为引进 BMR 高粱不育系材料的高效利用及种质创新提供依据。

1　材料与方法

21 份试验材料引自美国[14],均为 BMR 饲草高粱不育系(表 1)。

1.1　供试材料农艺性状测定方法

试验地位于内蒙古民族大学,122°27′E,43°62′N,年均气温 6~7 ℃,年降水量 350~420 mm,土壤类型为沙壤土。试验小区随机排列,各材料播种 5 行,行距 50 cm,行长 6 m,株距 15 cm,穴播 2~3 粒,小区面积为 2.5 m×6 m,保苗 1.3×10^5 株·hm^{-2}。各材料之间设 1 m 隔离带,小区四周均设保护行。适时进行田间杂草防除,乳熟期测定株高、茎粗、叶宽、茎叶比,采用李源等[8]的方法。

1.2　供试材料遗传多样性研究方法

2017 年 1 月 16 日将试验材料播种于育苗盘,置于温室中培养,保证每份材料出苗数 10 株以上,于 2017 年 2 月 22 日取样,每份材料取 10 个单株幼嫩叶片,剪取等量混合,液氮迅速冷冻保存,放于 −80 ℃冷冻保存备用。供试材料 DNA 提取、PCR 反应条件参考文献[15-16],用 1%的琼脂糖凝胶检测 DNA 的质量和浓度。选取试验材料农艺特性差异较大的 5 份材料进行引物筛选,且 PCR 扩增产物用 2%琼脂糖凝胶电泳分离,并用自动凝胶成像系统照相保存。引物信息如表 2 所列。

1.3　数据统计与分析

将 SRAP 扩增产物相同迁移位置或长度一致的条带视为 1 个位点,统计位点总数和多态位点数,有带记为 1,无带记为 0。试验采用 R 3.4.1 进行供试材料农艺性状分析,遗传结构聚类(unweighted pair-group method with arithmetic means,UPGMA)和主成分分析,利用 R 数据包有 ggplot2、cluster、vegan、gclus、scatterplot3d、ape 等。

扩增带总数(total number of bands,TNB)、多态性条带数(number of polymorphic bands,NPB)、多态性比率(percentage of polymorphic bands,PP)、多态性信息含量(polymorphic information content,PIC)和标记指数(marker index,MI)的计算方法采用顾晓燕等[11]。

2　结果与分析

2.1　21 份不育系材料农艺性状

试验表明,BMP448(材料 3)株高最高,为 138.75 cm,BMP450(材料 5)最低,为 88.00 cm;BMP17(材料 16)茎粗最粗、叶宽最宽,分别为 29.97 mm 和 9.88 cm,说明 BMP17 的茎粗、叶宽特异性突出。BMP20(材料 18)茎叶比显著高于其他供试材料($P<0.05$),为 8.69(表 3)。将农艺性状进行聚类分析,表明遗传距离为 0.129 时,21 份材料可分为 3 类,第Ⅰ类为材料 3,材料 1、2、5、6、8、9、12、13、15、17 为第Ⅱ类,剩余材料为第Ⅲ类(图 1)。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 供试材料

Table 1 Experimental materials of 21 sorghum germplasm and their pedigrees

编号 Code	材料名称 Material	系谱 Pedigree	编号 Code	材料名称 Material	系谱 Pedigree
1	BMP446	[(Wheatland Derivative * bmr 6) BC2-19-7-1-1-1) * ((OK 11 * bmr 12)BC2-7-1-3-1-2]-5-2-1-2	12	BMP12	(OK 11 * BMR 2) BC3-1-3-2-2
2	BMP447	[(OK 11 * bmr 17)BC2-2-1-1-1-1) * ((OK 11 * bmr 12)BC2-4-1-1-1-1]-1-2-1-1	13	BMP14	(Wheatland Derviative * BMR 6)BC2-19-7-1-1-1
3	BMP448	[(OK 11 * bmr 17)BC2-2-1-1-1-1) * ((OK 11 * bmr 12)BC2-4-1-1-1-1]-1-2-2-1	14	BMP15	(Wheatland Derivative * BMR 6)BC3-20-2-1-2-2
4	BMP449	[(OK 11 * bmr 17)BC2-2-1-1-1-1) * ((OK 11 * bmr 12)BC2-4-1-1-1-1]-20-1-1-1	15	BMP16	(OK 11 * BMR 17) BC2-2-1-1-1-1
5	BMP450	[(OK 11 * bmr 17)BC2-2-1-1-1-1) * ((OK 11 * bmr 12)BC2-4-1-1-1-1]-20-1-2-1	16	BMP17	(OK 11 * BMR 17) BC2-22-1-2-1-1
6	BMP451	[(OK 11 * bmr 17)BC2-2-1-1-1-1) * ((OK 11 * bmr 12)BC2-4-1-1-1-1]-20-1-3-1	17	BMP19	(OK 11 * BMR 12) BC2-7-1-3-1-2
7	BMP452	[(OK 11 * bmr 17)BC2-2-1-1-1-1) * ((OK 11 * bmr 12)BC2-4-1-1-1-1]-20-1-4-1	18	BMP20	(B-YellowPI * BMR 12) BC2-10-2-2-2-2
8	BMP453	[(B-YellowPI * bmr 18)BC2-11-2-2-2-1) * ((OK 11 * bmr 17)BC2-2-1-1-1-1]-6-3-3-1	19	BMP21	(B-YellowPI * BMR 18) BC2-11-2-2-2-1
9	BMP454	[[(OK 11 * bmr 17)BC2-2-1-1-1-1) * ((OK 11 * bmr 12)BC2-4-1-1-1-1)] * [(OK 11 * bmr 2)BC3-1-3-2-2) * ((Wheatland Deribcativ * bmr 6)BC2-19-7-1-1-1)]]-7-1-1-1	20	Tift98bmrB1	ATx623
10	BMP455	((Wheatland * bmr 6) * KS 9)-7-1-2-1	21	BMP18	(OK 11 * BMR12) BC2-4-1-1-1-1
11	BMP456	((Wheatland * bmr 6) * KS 9)-7-1-2-2			

表 2 SRAP 引物序列

Table 2 Primer sequences of SRAP

引物 Primer	正向引物序列(5′－3′) Forward primer sequence(5′－3′)	引物 Primer	反向引物序列(5′－3′) Reverse primer sequence(5′－3′)
me1	TGAGTCCAAACCGGATA	em1	GACTGCGTACGAATTAAT
me2	TGAGTCCAAACCGGAGC	em2	GACTGCGTACGAATTTGC
me3	TGAGTCCAAACCGGAAT	em3	GACTGCGTACGAATTGAC
me4	TGAGTCCAAACCGGACC	em4	GACTGCGTACGAATTTGA
me5	TGAGTCCAAACCGGAAG	em5	GACTGCGTACGAATTAAC
me6	TGAGTCCAAACCGGTAA	em6	GACTGCGTACGAATTGCA
me7	TGAGTCCAAACCGGTCC	em7	GACTGCGTACGAATTCAA
me8	TGAGTCCAAACCGGTGC	em8	GACTGCGTACGAATTCTG
me9	TGAGTCCAAACCGGTAG	em9	GACTGCGTACGAATTCGA
me10	TGAGTCCAAACCGGTTG	em10	GACTGCGTACGAATTCAG
me11	TGAGTCCAAACCGGTGT		
me12	TGAGTCCAAACCGGTCA		
me13	TGAGTCCAAACCGGATT		

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

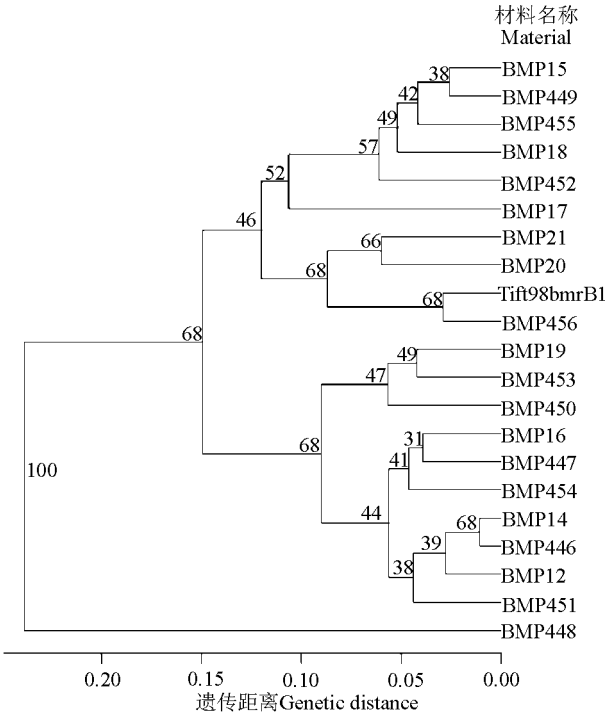

图 1　21 份高粱种质农艺性状的聚类结果

Fig. 1　Agronomic character clusters of the 21 sorghum germplasms

2.2　SRAP 扩增产物的多态性

130 对 SRAP 引物中,筛选出 21 对扩增效果好,多态性较高的引物,共扩增出 74 个条带,有多态性的 64 条,每个引物平均扩增出 3.52 个条带,其中引物的平均多态性比率为 86.5%。21 个引物组合的平均 PIC 值为 0.49,其中 me13＋em4 最高,为0.70,而 me8＋em9 的 PIC 最小,为 0.10。引物组合 me6＋em9 标记指数最大,为 3.61,而 me10＋em9 的标记指数最小,为 0.19(表 4)。

2.3　高粱各材料的遗传相似系数

通过 R 语言计算供试材料 Jaccard 遗传相似系数(genetic similarity coefficient,GS),结果表明,GS 的变化范围为 0.086～0.977,平均 GS 为 0.653。材料 BMP447(材料 2)和 BMP450(材料 5)的遗传相似系数最近,为 0.977,亲缘关系最近,材料 BMP455(材料 10)和 BMP21(材料 19)的遗传相似系数最小,为 0.086,亲缘关系最远。供试材料 GS 频率表明,GS 值在 0.6～0.9 的共占 46.67%,说明近 1/2 的供试材料遗传基础较窄(图 2)。

表 3　21 份供试材料农艺性状

Table 3　Agronomic characters of the 21 sorghum germplasms

材料名称 Material	株高 Plant height/cm	茎粗 Diameter of stem/mm	叶宽 Width of leaf/cm	茎叶比 Stem-leaf ratio
BMP446	94.25±9.95ef	20.21±3.62def	8.60±1.51abc	2.96±0.99c
BMP447	101.50±6.76cdef	20.22±1.96cde	9.33±0.96ab	4.32±0.51b
BMP448	138.75±32.29a	18.02±3.71def	9.28±1.40ab	4.44±1.98bc
BMP449	107.50±9.68bcdef	17.51±1.61def	8.45±0.33abc	3.45±0.65c
BMP450	88.00±8.76f	22.03±1.76cde	9.38±1.41ab	3.04±0.24c
BMP451	96.50±3.32def	18.70±2.03def	9.60±0.48ab	2.55±0.28c
BMP452	103.50±12.71bcdef	15.17±3.64g	7.90±0.45cd	2.77±0.46c
BMP453	89.25±2.63f	25.95±3.43ab	6.63±0.75d	4.58±0.77bc
BMP454	97.00±4.24cdef	23.77±1.44bc	9.45±0.41ab	2.40±0.38c
BMP455	109.25±4.43bcde	19.10±0.93def	8.50±0.38bc	2.63±0.34c
BMP456	114.25±17.75b	19.80±1.23def	9.08±0.78ab	3.36±1.12c
BMP12	96.50±6.03def	19.50±0.91def	8.43±0.39bc	2.58±0.35c
BMP14	93.75±2.06ef	23.16±3.57cde	8.68±0.81ab	2.73±0.52c
BMP15	101.00±4.08bcdef	19.59±0.93def	8.00±0.82bc	2.78±0.88c
BMP16	95.25±5.38def	22.90±2.31cd	9.00±1.41abc	4.38±3.10bc
BMP17	106.75±4.11bcdef	29.97±2.36a	9.88±0.63a	3.29±0.30c
BMP19	90.00±4.32f	27.68±1.76ab	9.00±0.82ab	3.21±0.50c
BMP20	116.25±8.85bc	21.11±0.87cd	6.33±0.62d	8.69±2.06a
BMP21	108.25±16.68bcd	23.21±1.36bc	7.98±0.78bc	3.83±2.40bc
Tift98bmrB1	123.00±11.37b	17.64±1.93efg	8.13±0.63bc	4.33±0.67bc
BMP18	101.25±8.30bcdef	16.30±1.90fg	6.38±0.48d	2.88±0.90c

同列不同小写字母表示不同材料间差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among different experimental materials at the 0.05 level.

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4 供试材料SRAP标记引物扩增结果

Table 4 Amplification results of SRAP primers

引物组合 Primer combinations	扩增带总数 Total number of bands	多态性条带数 Number of polymorphic bands	多态性比率 Percentage of polymorphic band/%	多态性信息含量 Polymorphic information content	标记指数 Marker index
me1+em4	5	4	80.0	0.68	2.72
me1+em8	3	1	33.3	0.64	0.64
me2+em3	4	4	100.0	0.68	2.72
me2+em9	4	4	100.0	0.43	1.71
me2+em10	5	5	100.0	0.63	3.16
me3+me3	3	2	66.7	0.62	1.25
me3+me4	4	4	100.0	0.68	2.71
me6+em6	3	3	100.0	0.52	1.57
me6+em9	6	5	83.3	0.60	3.61
me7+em2	3	2	66.7	0.18	0.53
me8+em2	3	3	100.0	0.30	0.90
me8+em3	3	3	100.0	0.52	1.57
me8+em9	2	2	100.0	0.10	0.20
me9+em8	3	3	100.0	0.19	0.56
me10+em9	2	2	100.0	0.10	0.19
me10+em1	3	3	100.0	0.56	1.69
me10+em4	2	2	100.0	0.58	1.74
me10+em6	4	3	75.0	0.56	1.68
me11+em2	4	3	75.0	0.56	1.69
me12+em3	4	2	50.0	0.54	1.09
me13+em4	4	4	100.0	0.70	2.78

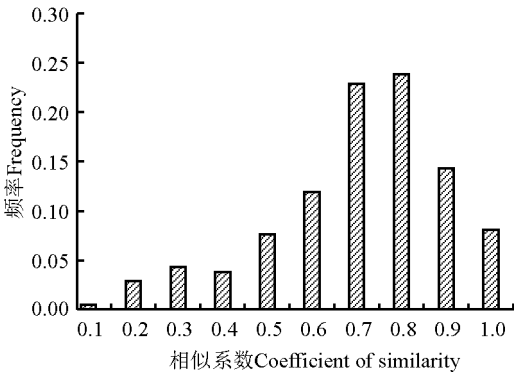

图2 供试材料遗传相似系数频率

Fig. 2 Frequency of sample genetic similarity coefficient

2.4 供试材料聚类分析

聚类分析能较好地反映种质材料之间的亲缘关系，根据供试材料遗传距离进行聚类，遗传距离为0.488时，可将供试材料分为3类，第Ⅰ类为材料19，第Ⅱ类为材料16和20，剩余材料为第Ⅲ类(图3)。

21份材料聚类后用双排序矩阵热图进行验证(图4)，从方块区域和聚类树可以看出两种分类结果基本一致，不同颜色代表遗传距离，根据颜色的深浅度可以看出，遗传距离较小的颜色为深红色。聚类树与聚类热图组内连接方式不同，导致其分类图有差异，但对分类结果无影响。

2.5 供试份材料的主成分分析

根据主成分特征值大于1表明，21份材料在遗传组成上分为3个成分，第Ⅲ主成分为19，特征值方差百分比为4.85%，第Ⅱ主成分为16和20，特征值方差百分比为6.25%，其他材料为第Ⅰ主成分，特征值方差百分比为69.22%。3个主成分特征值方差百分比贡献率(80.32%)大于80%，因此，本研究结果可用主成分进行分析，并且主成分分析与聚类分析的结果基本一致(图5)。

2.6 供试份材料农艺性状与遗传特性的相关性

21份材料农艺性状各指标，以及综合性状与分子

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

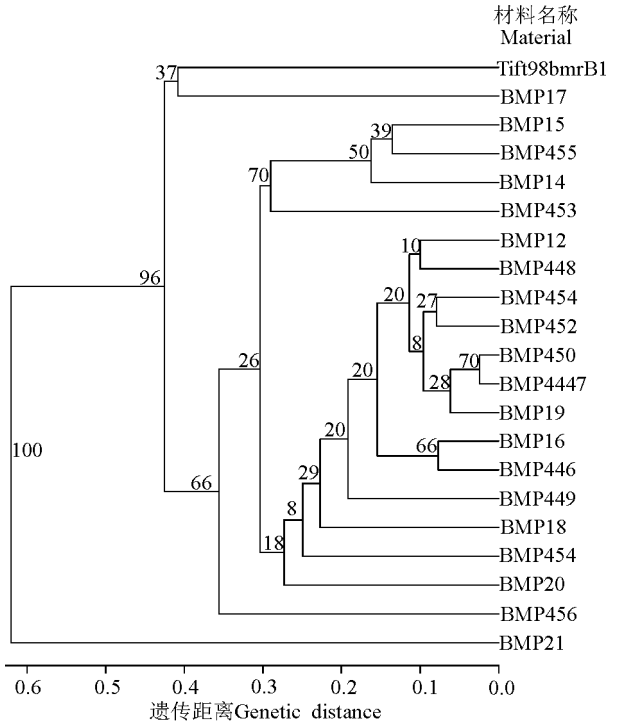

图 3　21 份高粱种质的 SRAP 标记聚类结果

Fig. 3　SRAP markers clusters of the 21 sorghum germplasms

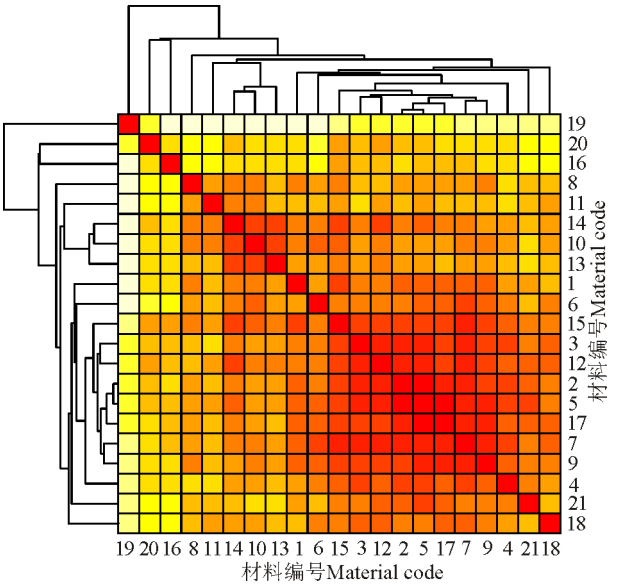

图 4　21 份供试材料聚类结果重排距离矩阵热图

Fig. 4　Heat map of distance matrix reorder according to the dendrogram of the 21 sorghum germplasms

1,2,3,…21 分别代表材料编号,如表 1 所列,下图同。

1, 2, 3, …21, material code, at listed in Table 1, similarly for Fig. 5.

标记的 Mantel 分析表明,农艺性状及各指标与分子标记没有显著的相关性,其中茎叶比的相关性较高,为 0.219(表 5)。

3　讨论与结论

饲草高粱农艺性状受遗传背景、生长环境、刈割制度的影响,所以遗传背景不同的 BMR 饲草高粱及传统高粱的农艺性状会表现出差异,进而影响饲草品质性状,综合评价农艺性状与品质性状,才能筛选出适合特定生长环境的优质饲草[2,17]。物种的长期进化和适应造成遗传物质的改变,产生遗传变异,而遗传多样性是遗传变异高低最直接的表现形式[13]。本研究引进的 21 份 BMR 不育系高粱种质谱系表明,亲本包含 OK11、bmr12、bmr6 时可将材料分为两类,材料 19、20 为一类,其他材料为另一类,这与分子聚类结果基本相似,由此可见亲本差异导致了材料 19、20 与其他材料的遗传距离较远。而材料 15 与 16 亲本相同,但遗传分类较远,系谱来源显示其培育过程不同,可能是导致其遗传距离较远因子之一。因本研究 21 份 BMR 不育系高粱种质均由人工长期栽培而成,所以不同亲本以及复杂的培育过程使其产生遗传变异,从而表现出遗传多样性。农艺性状各指标显著性方差分析中,材料 16 茎粗、叶宽最大,材料 19 与材料 20 茎粗显著差异($P<0.05$),而分子标记的聚类分析结果中,材料 16、19、20 与其他材料不同类,因此推断茎粗、叶宽可能是影响 21 份不育系高粱种质材料遗传距离的关键因子。饲草高粱不育系生物产量、茎粗、株高、分蘖等农艺性状受遗传力加性和非加性效应的双重影响,但遗传物质的作用相对较弱,栽培条件及环境因子起主导作用[2]。由此可见,本研究 21 份引进材料农艺性状与分子标记聚类结果几乎不同,并且 Mantel 分析也证明二者的相关性较差,这可能与本研究栽培条件和环境因子有关。本研究遗传相似系数表明,21 份引进材料近一半遗传基础较窄,但材料 16、19、20 的亲缘关系较远,并且这 3 份材料在茎粗、叶宽等农艺性状方面有突出表现,因此可以根据分子标记和农艺性状聚类对现有资源充分、合理利用,在育种实践中培育出新的种质,拓宽 BMR 饲草高粱的遗传基础,增强 BMR 种质的利用效率和效果。

遗传多样性的探究不仅受物种本身的影响,还有研究方法造成的差异。本研究中 21 对引物扩增出 74 条带,多态性带的 64 条,多态性比率为 86.5%。而采用相同标记方法,高建明等[18]得出甜高粱的多态性比率为 45.5%,李金旺等[19]得出为97.9%,可见不同材料对 SRAP 标记的特异性表现不同。琼脂糖电泳和变性聚丙稀酰胺电泳也会影响条带的显影,从而影响多态性分析。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

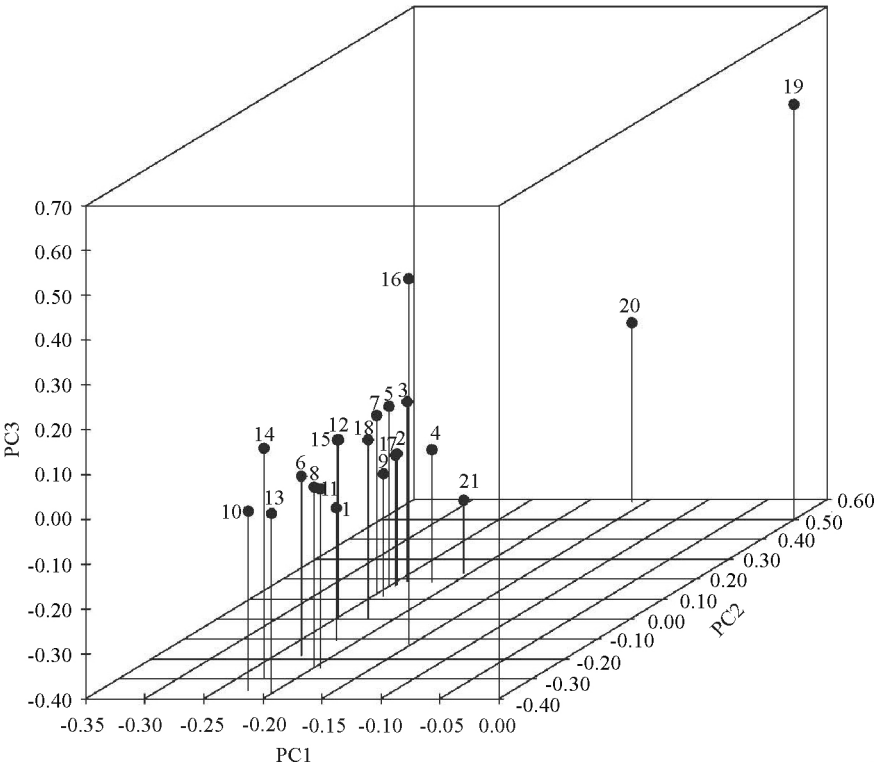

图5 21份供试材料主成分分析三维排序图

Fig. 5 Three-dimensinal diagram of the 21 samples after PC

表5 21份材料农艺性状与分子标记的Mantel分析

Table 5 Mantel analysis of the agronomic characters and molecular markers of the 21 sorghum germplasms

分子标记特性 Genetic characters	r	P
株高 Plant height	0.046	0.326
茎粗 Diameter of stem	0.033	0.380
叶宽 Width of leaf	0.014	0.405
茎叶比 Stem-leaf ratio	0.219	0.107
农艺性状 Agronomic characters	0.085	0.240

本研究结果显示，供试材料中BMP17茎粗、叶宽最大，分别为29.97 mm和9.88 cm。BMP20茎叶比显著高于其他供试材料（$P<0.05$）。供试21份褐色中脉不育系高粱种质材料共扩增出74条谱带，其中64条有多态性，多态性比率为86.5%，多态性信息含量平均值为0.49。遗传相似系数的变化范围为0.086～0.977。UPGMA聚类分析显示，遗传距离为0.488时，可将供试材料分为3类。这表明，所引进的BMR饲草高粱不育系材料遗传基础较窄。

参考文献 References：

[1] Theurer C B, Huber J T, Delgado-Elorduy A, Wanderley R. Invited review: Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 1999, 82: 1950-1959.

[2] 吕鑫，平俊爱，张福耀，杜志宏，李慧明，杨婷婷，牛皓，姚琳. 新选饲草高粱恢复系农艺性状配合力效应分析. 草业科学，2016，33(7)：1361-1366.
Lyu X, Ping J A, Zhang F Y, Du Z H, Li H M, Yang T T, Niu H, Yao L. Effect analysis on the combining ability of main agronomic traits for new breeding restorer lines derived from forage sorghum. Pratacultural Science, 2016, 33(7): 1361-1366. (in Chinese)

[3] Bucholtz D L, Cantrell J R, Axtell P D, Victor L. Lignin biochemistry of normal and brown midrib mutant sorghum. Journal of Agriculture. 1980, 28(6): 1239-1241.

[4] Pedersen J F, Vogel K P, Funnell D L. Impact of reduced lignin on plant fitness. Crop Science, 2005, 45(3): 812-819.

[5] Casler M D, Pedersen J F, Undersander D J. Forage yield and economic losses associated with the brown-midrib trait in Sudangrass. Crop Science, 2003, 43(3): 782-789.

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[6] Umakanth A V,Bhat B V,Blummel M,Aruna C,Seetharama N,Patil J V. Yield and stover quality of brown mid-rib mutations in different genetic backgrounds of sorghum. Indian Journal of Animal Sciences,2014,84(2):181-185.

[7] 许能祥,顾洪如,董臣飞,程云辉,张文洁,丁成龙. 刈割对不同品种褐色中脉饲用高粱饲草品质及农艺性状的影响. 草地学报,2014,22(3):623-630.
Xu N X,Gu H R,Dong C F,Cheng Y H,Zhang W J,Ding C L. Effects of cutting on the feed quality and agronomic traits of brown midrib(bmr) forage sorghum varieties. Acta Agrestia Sinica,2014,22(3):623-630. (in Chinese)

[8] 李源,游永亮,赵海明,谢楠,翟兰菊,刘贵波. 褐色中脉饲草高粱品种产量品质与抗逆性分析. 草地学报,2014,22(4):889-896.
Li Y,You Y L,Zhao H M,Xie N,Zhai L J,Liu G B. Analysis on the yield,quality and stress resistance of brown midrib forage sorghum varieties. Acta Agrestia Sinica,2014,22(4):889-896. (in Chinese)

[9] Guragaina Y N,Ganeshc K M,Bansala S,Sathishc R S,Rao N,Vadlani P V. Low-lignin mutant biomass resources:Effect of compositional changes on ethanol yield. Industrial Crops and Products,2014,61:1-8.

[10] 苗佳敏,张新全,陈智华,钟金城,陈仕勇,马啸,白史且. 青藏高原和新疆地区垂穗披碱草种质的 SRAP 及 RAPD 分析. 草地学报,2011,19(2):306-316.
Miao J A,Zhang X Q,Chen Z H,Zhong J C,Chen S Y,Ma X,Bai S Q. SRAP and RAPD analysis of *Elymus nutans* Griseb. germplasm from the Qinghai-Tibetan Plateau and Xinjiang. Acta Agrestia Sinica,2011,19(2):306-316. (in Chinese)

[11] 顾晓燕,郭志慧,张新全,周永红,白史且,张昌兵,蒋忠荣,刘新,周朝杰,马啸. 老芒麦种质资源遗传多样性的 SRAP 分析. 草业学报,2014,23(1):205-216.
Gu X Y,Gu Z H,Zhang X Q,Zhou Y H,Bai S Q,Zhang C B,Jiang Z R,Liu X,Zhou C J,Ma X. Genetic diversity of *Elymus sibiricus* germplasm resources revealed by SRAP markers. Acta Pratacultural Sinica,2014,23(1):205-216. (in Chinese)

[12] Ahmad R,Potter D,Southwick S M. Genotyping of peach and nectarine ultivars with SSR and SRAP molecular marker. Journal of American Society for Horticultural Science,2004,129(2):204-210.

[13] 倪先林,赵甘霖,汪小楷,刘天朋,陈国民,丁国祥. 42 份糯高粱种质资源的 SSR 标记遗传多样性分析. 分子植物育种,2015,13(9):1962-1969.
Ni X L,Zhao G L,Wang X K,Liu T P,Chen G M,Ding G X. The genetic diversity analysis of 42 Glutinous sorghum germplasm resources using SSR makers. Molecular Plant Breeding,2015,13(9):1962-1969. (in Chinese)

[14] Norris R A. Plant Inventory No. 207. Plant Materials Introduced January 1 to December 31,1998,Nos. 601817 to 606707. Washington,DC:U. S. Department of Agriculture,Agricultural Research Service,1998.

[15] Li G,Quiros C F. Sequence-related amplified polymorphism(SRAP),a new marker system based on a simple PCR reaction:Its application to mapping and gene tagging in *Brassica*. Theoretical and Applied Genetics,2001,103(2):455-461.

[16] 陈智华,苗佳敏,钟金城,马啸,陈仕勇,张新全. 野生垂穗披碱草种质遗传多样性的 SRAP 研究. 草业学报,2009,18(5):192-200.
Chen Z H,Miao J M,Zhong J C,Ma X,Chen S Y,Zhang X Q. Genetic diversity of wild *Elymus nutans* germplasm detected by SRAP markers. Acta Agrestia Sinica,2009,18(5):192-200. (in Chinese)

[17] 韩云华,王显国,呼天明,薛建国. 褐色中脉(bmr)高粱农艺性状与饲用价值. 草业科学,2012,29(10):1596-1603.
Han Y H,Wang X G,Hu T M,Xue J G. Agronomic performance and feeding value of brown midrib forage sorghum. Pratacultural Science,2012,29(10):1596-1603. (in Chinese)

[18] 高建明,罗峰,裴忠有,陈秋玲,魏进招,李子芳,桂枝,孙守钧. 甜高粱重要种质材料的 SRAP 指纹分析. 华北农学报,2010,25(2):93-98.
Gao J M,Luo F,Pei Z Y,Chen Q L,Wei J Z,Li Z F,Gui Z,Sun S J. SRAP finger printing of 47 elite sweet sorghum germplasm. Acta Agriculture Boreali-Sinica,2010,25(2):93-98. (in Chinese)

[19] 李金旺,佟德清,李欧静,陈秋玲,吕建澎,段霞飞,罗峰,高建明,孙守均,裴忠有. 甜高粱含糖量与出汁率的 SRAP 分子标记. 分子植物育种,2017,15(9):3553-3559.
Li J W,Tong D Q,Li O J,Chen Q L,Lyu J P,Duan X F,Luo F,Gao J M,Sun S J,Pei Z Y. Reserch on SRAP molecular marker of sugar content and iuice yield in sorghum. Molecular Plant Breeding,2017,15(9):3553-3559. (in Chinese)

(责任编辑　王芳)

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net