

谷子新品种(系)主要农艺性状及茎秆特性的遗传多样性分析

屈 洋^{1,2}, 宋 慧³, 刘 洋², 王可珍², 高小丽¹,
高金锋¹, 王鹏科¹, 杨 璞¹, 冯佰利¹

(1. 旱区作物逆境生物学国家重点实验室/西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100;

2. 宝鸡市农业科学研究院, 陕西 岐山 722499; 3. 安阳市农业科学院, 河南 安阳 455000)

摘 要: 采用主成分分析、聚类分析、相关分析和回归分析对31个谷子新品种(系)的农艺性状和茎秆特性进行分析。研究结果表明, 谷子新品种(系)的8个分级性状多样性差异较大, 株型、穗型和穗密度多样性较高, 谷粒颜色和米色多样性指数较差; 8个产量性状中, 单穗重、穗粒重和株高多样性丰富, 生育期和出谷率多样性差; 节长中, 变异系数 CV 变化范围为23.294~26.811, H' 变化范围为1.860~2.184, 首部第3节 CV 较大, H' 最高, 多样性丰富; 节粗中, CV 变化范围为16.455~25.610, H' 变化范围为1.473~2.023, 首部第1节 CV 中等, H' 较大, 多样性丰富; 不同节位的节粗具有一定的群集性, 不同节位的节长位点分布较为分散; 依据茎秆特性可将谷子新品种(系)划分为两大类群; 单穗粒重与茎秆粗 H' 和茎秆长 CV 呈正相关($r=0.50, 0.46, P<0.05$), 且与茎秆粗 CV 和茎秆长 H' 呈负相关($r=-0.51, -0.47, P<0.05$)。31份谷子新品种(系)农艺和茎秆性状多样性丰富, 茎秆长和粗对产量性状具有一定的影响。

关键词: 谷子; 遗传多样性; 农艺性状; 茎秆特性; 产量性状

中图分类号: S515.033 **文献标志码:** A

Genetic diversity of agronomic traits and node characters in foxtail millet (*Setaria italic* Beauv.)

QU Yang^{1,2}, SONG Hui³, LIU Yang², WANG Ke-zhen², GAO Xiao-li¹,
GAO Jin-feng¹, WANG Peng-ke¹, YANG Pu¹, FENG Bai-li¹

(1. State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Northwest A & F University, Shaanxi, Yangling 712100, China;

2. Baoji Institute of Agricultural Science, Shaanxi, Qishan 722499, China;

3. Anyang Academy of Agricultural Sciences, Anyang, Henan 455000, China)

Abstract: Agronomic traits and node characters were evaluated by correlation analysis, principal component analysis, and regression analysis, and cluster analysis. The result showed that genetic diversity index (H') of eight classified traits were difference, and a high H' was found in plant type, fringe type, and fringe density, but H' of grain colour and rice colour was low level. For node length, the range of CV and H' were 23.294~26.811 and 1.860~2.184, and the third node from plant top had a high level at H' and CV . For node wide, the range of CV and H' were 16.455~25.610 and 1.473~2.023, and the first node from plant top had a high level at H' and medium level at CV . Node wide of different node position had a clustering, but node length from different node position was scattered. The two clusters were found based on cluster analysis form node traits. A positive correlation was found between seed weight per fringe and H' of node wide, CV of node length($r=0.50, 0.46, P<0.05$), but a nega-

收稿日期:2017-02-24

修回日期:2018-04-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371529); 国家高粱产业技术体系项目(CARS-06-13.5-A26); 陕西省小杂粮产业技术体系(2018); 河南省科技攻关项目(162102110020)

作者简介: 屈洋(1983-), 男, 辽宁锦州人, 农艺师, 主要从事小杂粮高产栽培和新品种选育研究。E-mail: man2019@163.com。

通信作者: 冯佰利(1966-) 男, 陕西耀县人, 教授, 博士生导师, 主要从事作物高产生理生态技术及小杂粮栽培育种研究。E-mail: 7012766@163.com。

tive correlation was found between eed weight per fringe and CV of node wide, H' of node length ($r = -0.51$, -0.47 , $P < 0.05$). Genetic divesitiy of agronomic traits and node characters was plentiful, and node traits, one of agronomic traits, may have an effect on yield traits.

Keywords: foxtail millet; genetic diversity; agronomic characters; node traits; yield traits

作物表型性状是由遗传物质和环境综合作用的结果^[1],是环境影响、自然选择和人工干预产生的稳定遗传变异^[2]。作物表型性状的多样性对环境适应性和作物进化具有重要作用。谷子(*Setaria italic* Beauv.)耐旱、耐瘠薄,主要分布在北方农牧交错地区,是我国干旱半干旱地区的主要作物^[3]。了解谷子新品种(系)表型性状的多样性,研究农艺及茎秆特性与产量性状的关系,对提高谷子新品种(系)资源有效利用和谷子育种水平具有重要意义。表型性状的描述和多样性分析是作物种质资源有效利用的重要方法和途径^[4],表型性状的多样性分析已应用于水稻、小麦、玉米、棉花、大豆种质资源或品种的分析^[5-9]。此外,甜高粱^[10],燕麦^[11],荞麦^[12],糜子^[13]等也进行了表型性状的多样性分析,以提高作物种质资源的利用效率。近年来,谷子表型性状的相关性分析主要集中在产量性状上^[14-15],例如出谷率、穗粒重、单穗重、千粒重、穗长、穗粗等。杨成元^[16]利用灰色关联度法分析了农艺性状对产量的影响;黄英杰等^[17]对谷子主要产量构成因素进行了稳定性分析;赵禹凯等^[18]对谷子主要农艺性状进行了相关和通径分析;王海岗^[19]对谷子核心种质进行了表型性状的多样性分析并对资源进行了综合评价。目前,谷子表型性状的多样性分析主要集中在产量性状上^[20-21],茎秆特性方面的研究较少。本研究以 31 份谷子新品种(系)为材料,利用表型性状和茎秆性状的鉴定方法对农艺和茎秆性状的遗传多样性进行分析,揭示农艺和茎秆特性与产量性状之间的关系,为谷子品种资源的利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2016 年在宝鸡市农科院刘家塬试验站(107.5°E, 34.5°N)进行。试验地所在地区为暖温带大陆性季风型半湿润气候,年平均气温 12℃,极端最高温度 36℃左右,极端最低温度-4℃左右,年平均日照时数 2064.8 h,平均无霜期 214 d,年平均降水量 623.8 mm。

1.2 参试材料与试验设计

以 31 份谷子品种(系)为参试材料(表 1),采用

完全随机区组设计,3 次重复,小区面积 3.5m×4.6m = 16 m²。4 月 29 日播种,密度 33 万株·hm⁻²,行距 50 cm,株距 6 cm。播前施用磷酸二铵 600 kg·hm⁻²。于拔节期盖防鸟网,防鸟食。各品种(系)进入蜡熟期开始取样收获,9 月 10 日完成收获。

1.3 数据采集

调查每个小区的出苗期、拔节期、抽穗期、成熟期、株高、茎粗、节长、苗色、苗叶资、株型、米色、穗型等性状,参照谷子种质资源描述规范和数据标准进行^[22],并对每个品种(系)的节长和茎粗进行全节位测量。每个小区内随机取样 10 株测量谷子品种(系)各性状值,各性状取平均值待分析。

1.4 数据处理

分级性状主要分析性状的频率分布和多样性指数,具体分级标准见表 2。利用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 进行描述性和频次分布统计,完成对农艺性状、茎秆特性的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数和多样性指数的计算。利用 Shannon-Weanver 遗传多样性指数衡量群体遗传多样性大小,计算公式为: $H' = - \sum P_i \times \ln P_i$ ^[23]。其中 H' 为遗传多样性指数, P_i 为某一性状第 i 级别内材料份数占总份数的百分比,ln 为自然对数。利用 SPSS 17.0 进行主成分分析和差异性检验(Tukey 法, $P < 0.05$),并利用 DPS7.05 计算 Euclidean(欧式)距离,并用 Ward(离差平方和)法进行聚类。

2 结果与分析

2.1 谷子农艺性状的遗传多样性分析

2.1.1 分级性状的遗传多样性 8 个分级性状间的多样性指数见表 3。各分级性状间多样性指数差异较大,株型、穗型和穗密度频率在 1、3、5、7 级均有分布,离散性较高,且多样性指数分别为 1.259,1.022 和 1.237;苗色、苗叶资和花药色频率在 1、4、7 级有分布,离散程度适中,多样性指数分别为 0.512、0.689 和 0.579;谷粒颜色、米色频率在 1 和 7 级有分布,离散性较差,多样性指数最低分别为 0.241 和 0.142。

2.1.2 谷子产量性状的遗传多样性 产量相关性状遗传多样性指数较高,变异系数范围为 3.460 ~

24.852,多样性指数范围为 1.539~2.170。单穗重、穗粒重、株高的变异系数分别为 23.794%、24.852%和11.855%,且遗传多样性指数分别为 2.170、1.165和 2.121,多样性丰富;穗粗、千粒重的变异系数为 10.980%和 20.862%,且遗传多样性指数为 2.086 和 2.025,多样性较丰富;生育期、出谷率变异系数为 5.135%和 3.460%,且多样性指数为 1.648 和 1.539,多样性较差(表 4)。

表 1 谷子新品种(系)名称及来源
Table 1 Resources and name of foxtail millet

序号 No.	品种(系)名称 Varieties	来源 Origins
1	冀谷 39 Jigu 39	河北省农科院谷子所 Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences
2	冀谷 41 Jigu 41	河北省农科院谷子所 Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences
3	朝谷 20 Chaogu 20	辽宁省水土保持研究所 Liaoning Institute of Water and Soil Conservation
4	长农 41 号 Changnong 41	山西省农科院谷子所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
5	承 11-727 Cheng 11-727	承德市农业科学研究所 Chengde Institute of Agricultural Sciences
6	辽谷 4 号 Liaogu 4	辽宁省农业科学院作物研究所 Institute of Crops Sciences, Liaoning Academy of Agricultural Sciences
7	汾黑 2014-1 Fenhei 2014-1	山西省农科院经济作物研究所 Economic Crops Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
8	长谷 1501 Changgu 1501	山西省农科院谷子所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
9	长农 43 号 Changnong 43	山西省农科院谷子所;河北省农林科学院谷子研究所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences; Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences
10	太选 16 号 Taixuan 16	山西省农业科学院作物所 Institute of Crops Sciences, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
11	长生 13 Changsheng 13	山西省农科院谷子所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
12	长农 45 号 Changnong 45	山西省农科院谷子研究所;河北省农科院谷子研究所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences; Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences
13	K18-1	山西省农业科学院经作所 Economic Crops Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
14	晋汾 106 Jinfen 106	山西省农业科学院经作所 Economic Crops Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
15	太选 24 号 Taixuan 24	山西省农业科学院作物所 Institute of Crops Sciences, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
16	太选 23 号 Taixuan 23	山西省农业科学院作物所 Institute of Crops Sciences, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
17	承谷 14 号 Chenggu 14	河北省承德市农科所;河北省农科院谷子研究所 Chengde Institute of Agricultural Sciences; Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences
18	承 14-846 Cheng 14-846	河北省承德市农科所;河北省农科院谷子研究所 Chengde Institute of Agricultural Sciences; Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences
19	朝谷 21 Chaogu 21	辽宁省水土保持研究所 Liaoning Institute of Water and Soil Conservation
20	长农 46 号 Changnong 46	山西省农科院谷子所;河北省农科院谷子所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences; Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences
21	长分 1 号(496-2) Changfen 1	山西省农业科学院谷子研究所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
22	长治糯谷 Changzhinuogu	山西省农科院谷子所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
23	黄金苗 Huangjinmiao	内蒙古赤峰市农科院 Chifeng Academy of Agricultural Sciences
24	贵州糯谷 Guizhounuogu	西北农林科技大学 Northwest A & F University
25	长治红糯谷 Changzhinuogu	山西省农科院谷子所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
26	安 15h-8306 An 15h-8306	安阳市农业科学院 Anyang Academy of Agricultural Sciences
27	安 15h-8216 An 15h-8216	安阳市农业科学院 Anyang Academy of Agricultural Sciences
28	长生 14 Changsheng 14	山西省农业科学院谷子所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
29	S67	河北省农科院谷子所 Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences
30	中谷 2 号 Zhonggu 2	中国农业科学院作物所 Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences
31	长农 35 号 Changnong 35	山西省农科院谷子所 Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences

表 2 谷子 8 个分级性状及调查标准
Table 2 Investigeta norm and 8 traits from foxtail millet

性状 Traits	调查标准 Norm
苗色 Seeding colour	0(绿色 Green),1(浅紫色 Lilac),2(中等紫色 Medium purple)
幼苗叶资 Leaf type of seedling	0(上冲 Uprush),1(半上冲 Medium uprush),2(平展 Flat),3(下披 Down-flat)
株型 Plant type	0(上冲 Uprush),1(半上冲 Medium uprush),2(平展 Flat),3(下披 Down-flat)
花药颜色 Anther colour	0(白色 White),1(黄色 Yellow),2(褐色 Brown)
穗型 Fringe type	0(佛手 Fingered citron),1(圆锥 Circular cone),2(纺锤 Spindle),3(圆筒 Cylinder),4(棍棒 Club),5(鸭嘴 Duckbilled)6,(猫爪 Cat-pad)
穗码密度 Fringe density	0(疏 Low density),1(疏-中 Low-medium density),2(中 Medium density),3(中-密 Medium-high density),4(密 High density)
籽粒颜色 Grain colour	0(白色 White),1(黄色 Yellow),2(褐色 Brown),3(红色 Red),4(灰色 Gray),5(黑色 Black)
米色 Millet colour	0(白色 White),1(灰绿色 Celadon),2(浅黄色 Pale yellow),3(中等黄色 Medium yellow)

表 3 谷子 8 个分级性状的频率分布和多样性指数
Table 3 Frequence and H' from 8 traints of foxtail millet

性状 Traits	频率分布 Frequency distribution							多样性指数 H'
	1	2	3	4	5	6	7	
株型 Plant type	0.064		0.323		0.355		0.258	1.259
穗型 Fringe type	0.613		0.194		0.161		0.032	1.022
谷粒颜色 Grain colour	0.935						0.065	0.241
穗密度 Fringe density	0.065		0.226		0.419		0.290	1.237
米色 Rice colour	0.032						0.968	0.142
苗色 Seeding colour	0.839			0.129			0.032	0.512
苗叶资 Leaf type of seeding	0.548						0.452	0.689
花药色 Anther colour	0.032			0.806			0.162	0.579

表 4 谷子农艺性状的遗传多样性
Table 4 Genetic diversity of agronomy traits

特征值	生育期/d Growth stage/d	株高/cm Plant height	穗长/cm Fringe length	穗粗/cm Fringe wide	单穗重/g Fringe weight	穗粒重/g Seed weight/ plant	出谷率/% Seed/fringe weight	千粒重/g 1000-seed weight
最大值 Max.	129.000	191.333	34.667	2.887	41.733	35.633	88.648	4.800
最小值 Min.	105.000	128.000	14.333	1.893	16.100	12.867	76.718	1.900
平均值 Mean	121.355	159.903	22.522	2.428	27.467	23.229	84.451	3.068
标准差 STD	6.232	18.956	3.834	0.267	6.535	5.773	2.922	0.640
变异系数 CV/%	5.135	11.855	17.025	10.980	23.794	24.852	3.460	20.862
多样性指数 H'	1.648	2.121	1.795	2.086	2.170	2.165	1.539	2.025

2.2 谷子茎杆特性的遗传多样性

2.2.1 谷子基部和首部 3 节特性的遗传多样性
选取谷子品种(系)的基部和首部的 3 节,计算节长和节粗的遗传多样性指数(表 5)。节长中,变异系数变化范围为 23.294%~26.811%,多样性指数变化范围为 1.860%~2.184%,首部第 3 节变异系数较大,多样性指数最高;基部第 2 节变异系数较低,多样性指数较低,多样性差。节粗中,变异系数范围为 16.455%~25.610%,多样性指数变化范围为 1.473%~2.023%,首部第 1 节变异系数中等,多样性指数较大,多样性丰富;基部第 2 节变异系数较

高,多样性指数较低,多样性差。
2.2.2 谷子基部和首部 3 节主成分分析 对谷子茎杆特性的 6 个表型性状进行主成分(PV)分析,前 3 个主成分(PV(1)、PV(2)和 PV(3))累计贡献率达 99.577%(表 6)。PV(1)主要包括首部节长第 1、2、3 节,首部和基部的节粗第 1、2、3 节;PV(2)主要包括首部第 2 节节长;PV(3)主要包括基部第 3 节节长。进一步以 PC1 为横坐标,PC2 为纵坐标,绘制散点图。不同节位节粗具有一定的群集性,不同节位节长位点分布较为分散,但是首部和基部的第 2、3 节长具有一定的群集性(图 1)。

表 5 谷子茎秆特性的遗传多样性

Table 5 Genetic diversity of node traits from foxtail millet

性状 Traits	节位 Position	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 STD	变异系数 CV%	多样性指数 H'
节长/cm Node length	基 1 BN1	1.500	5.000	3.161	0.952	30.117	1.950
	基 2 BN2	3.000	9.000	5.306	1.236	23.294	1.860
	基 3 BN3	4.500	12.000	7.516	1.763	23.456	1.940
	首 3 TN3	5.500	16.000	10.645	2.712	25.473	2.184
	首 2 TN2	4.500	17.000	10.806	2.897	26.811	1.964
	首 1 TN1	10.000	47.000	29.565	7.171	24.257	1.934
节粗/mm Node wide	基 1 BN1	0.580	1.500	0.867	0.184	21.178	1.767
	基 2 BN2	0.600	1.800	0.861	0.220	25.610	1.473
	基 3 BN3	0.580	1.400	0.846	0.170	20.085	1.790
	首 3 TN3	0.320	0.860	0.521	0.101	19.423	1.776
	首 2 TN2	0.340	0.720	0.494	0.081	16.455	1.960
	首 1 TN1	0.260	0.540	0.352	0.072	20.549	2.023

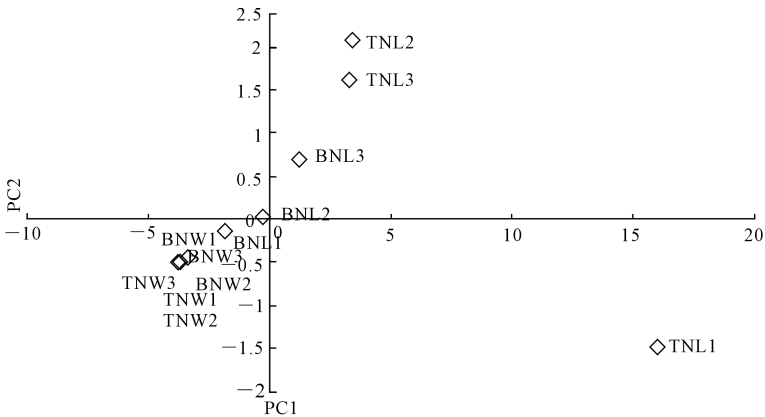
注:基 1、2 和 3:为基部第一节、第二节和第三节;首 1、2 和 3:为首部第一节、第二节和第三节。
Note;BN(1,2,3):The first(second,third) node from bottom;TN(1,2,3):The first(second,third) node from top.

表 6 基部和首部茎秆特性的前 3 个主成分的特征向量、主成分值,贡献率和累积贡献率

Table 6 Power vector (PV), eigen values (E), contribution rate (CR), and cumulative contribution rate (CCR) of the first three principal components based on node traits

性状 Traits	节位	PV(1)	PV(2)	PV(3)
节长 Node length	基 1 BN1	-1.8332	-0.1327	0.2595
	基 2 BN2	-0.3115	0.0354	0.7441
	基 3 BN3	1.2225	0.7071	1.0477
	首 3 TN3	3.2367	1.6143	-0.6659
	首 2 TN2	3.3487	2.0796	-0.1691
	首 1 TN1	15.8992	-1.476	-0.1156
节粗 Node wide	基 1 BN1	-3.4415	-0.459	-0.1503
	基 2 BN2	-3.4473	-0.4433	-0.1374
	基 3 BN3	-3.4584	-0.444	-0.1621
	首 3 TN3	-3.6927	-0.4847	-0.2208
	首 2 TN2	-3.711	-0.494	-0.2094
	首 1 TN1	-3.8116	-0.5027	-0.2207
特征值 E		29.7541	0.9137	0.2011
百分率 CR/%		95.9809	2.9474	0.6487
累计百分率 CCR/%		95.9809	98.9283	99.577

注:基 1、2 和 3:为基部第一节、第二节和第三节;首 1、2 和 3:为首部第一节、第二节和第三节。
Note;BN(1,2,3):the first(second,third) node from bottom;TN(1,2,3):the first(second,third) node from top.



注:BNL(1、2 和 3):基部第一节、第二节和第三节长;TNL(1、2 和 3):首部第一节、第二节和第三节长;BNW(1、2 和 3):基部第一节、第二节和第三节粗;TNW(1、2 和 3):首部第一节、第二节和第三节粗。
Note;BNL(1,2,3):the first(second,third) node length from bottom;TNL(1,2,3):the first(second,third) node length from top;BNW(1,2,3):the first(second,third) node wide from bottom;TNW(1,2,3):the first(second,third) node wide from top.

图 1 谷子 6 个茎秆特性的主成分分析
Fig.1 Principal component analysis of 6 node traits

2.3 基于茎秆特性的谷子品种多样性分析

2.3.1 基于茎秆特性的主成分分析 根据测量节位的节长和节粗对不同品种进行主成分分析,见表 7。前 4 个主成分的特征值均大于 1,累计贡献率达到 79.84%。PV(1)的贡献率最大(28.20%),其次是 PV(2),最后是 PV(5)。品种 1 对 PV(1)贡献较大,品种 25 对 PV(2)贡献较大,品种 18 对 PV(3)的贡献率较大,品种 2 对 PV(4)的贡献率较大。进一步对 31 个对谷子品种(系)计算欧式距离,利用离差平方和法进行聚分析,如图 2 可将谷子品种分为两类。第一类包括品种 1、16、18、5、29、17、6、10、2、9、30、26、27、12;第二类包括品种 3、19、14、15、23、4、22、7、13、25、31、8、20、21、24、28,分类结果说明 31 个谷子新品种(系)在茎秆特性上存在差异,且不同品种之间茎秆特性存在一定的相似性,可作为 31 份谷子新品种(系)茎秆特性及抗倒伏能力差异的依据。

表 7 不同品种茎秆特性的主成分分析
Table 7 Principal component analysis of 31 varieties
based on 6 node traits

品种 Variety	PV(1)	PV(2)	PV(3)	PV(4)	PV(5)
1	5.6496	-3.2892	1.5064	0.3817	0.8755
2	1.1166	-2.0207	0.4961	-2.6731	-0.2578
3	-0.6057	-2.1498	-0.0488	-0.4595	0.6822
4	0.3131	-0.2474	-0.3359	2.4851	-0.1901
5	-0.0773	-2.0002	-1.3281	0.1979	0.5761
6	2.0747	-1.4299	-1.2739	0.8073	-0.0968
7	1.0919	0.9851	-1.1949	0.4941	0.1154
8	-0.086	0.0468	0.0365	0.2133	0.9076
9	0.2394	-1.5777	0.7053	-0.5487	-0.804
10	0.6641	-0.1325	-2.0354	1.3838	-0.088
11	-1.7551	0.8556	-0.126	-0.3097	2.1851
12	0.0549	-0.2001	-1.8323	2.5129	-2.4716
13	2.567	2.8147	2.6876	0.5458	-0.5558
14	0.3384	0.9195	0.0365	-1.6106	0.2803
15	-1.6016	0.687	2.478	0.2454	-1.0184
16	-0.025	-0.1594	-1.8462	-0.157	0.4843
17	-0.088	-0.0576	0.7749	-0.4086	-1.2284
18	2.2295	0.9741	-3.1314	-1.0768	0.4917
19	0.6109	-0.2527	-0.0425	-1.471	-0.1866
20	-2.8648	-0.0272	0.8145	0.4353	0.7957
21	-1.504	0.2099	1.2307	-0.614	0.9758
22	-0.5618	2.1315	-0.8643	0.6127	-0.3537
23	-2.6874	1.099	0.1327	0.1731	-0.4131
24	-2.7933	1.6337	0.182	1.0728	1.1617
25	2.1283	4.2318	0.9058	-1.1741	-0.6463
26	-0.9965	0.4225	-0.878	-2.336	-1.2056
27	-0.9484	-2.4625	2.9753	0.1621	-0.7781
28	0.9544	0.1532	1.86	2.1298	1.1584
29	-2.1475	-1.8545	-0.4477	0.6186	-0.3146
30	-2.7632	-1.8286	-0.9374	-1.1977	-0.546
31	1.4729	2.5254	-0.4995	-0.4349	0.465
特征值 E	3.3839	2.773	1.9629	1.4606	0.8115
百分率 CR/%	28.1994	23.1082	16.3573	12.1717	6.7627
累计百分率 CCR/%	28.1994	51.3077	67.6650	79.8367	86.5994

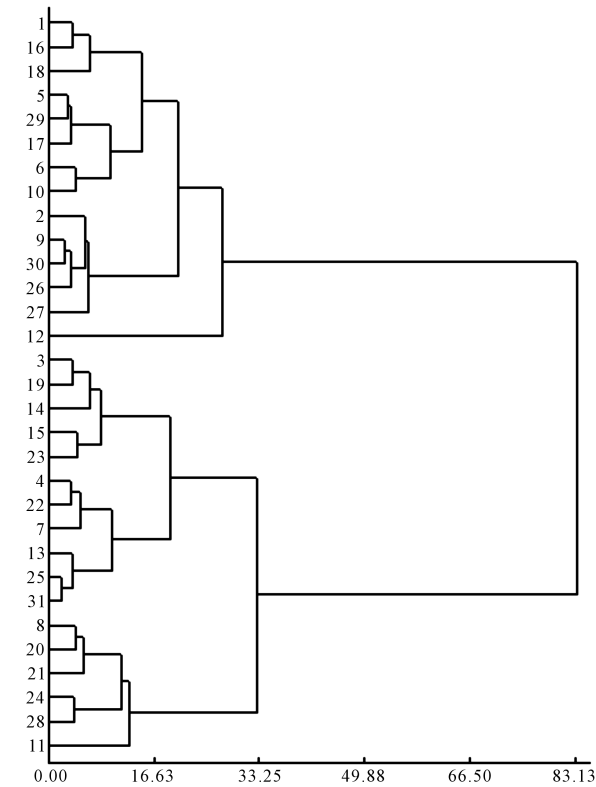


图 2 谷子品种茎秆特性的聚类分析
Fig.2 Cluster analysis of node traits

2.3.2 不同品种茎秆多样性与产量性状的 分析 对参试材料的茎秆不同节位节粗和节长计算变异系数和多样性指数,并与单穗粒重进行相关分析,见表 8。单穗粒重与茎秆粗 H' 和茎秆长 CV 呈正相关($P<0.05$),且与茎秆粗 CV 和茎秆长 H' 呈负相关($P<0.05$);茎秆粗 H' 与茎秆粗 CV 呈负相关($P<0.05$),茎秆长 CV 与茎秆长 H' 呈负相关($P<0.05$)。利用单穗粒重与茎秆特性进行回归分析(图 3),茎秆长 H' 越高,单穗粒重越低(图 3A),茎秆长 CV 越大,单穗粒重越大(图 3B),茎秆粗 H' 越高,单穗粒重越高(图 3C),茎秆粗 CV 越高,单穗粒重越低(图 3D)。

3 讨 论

3.1 谷子农艺性状的多样性

谷子农艺性状的多样性研究主要集中在产量性状^[24],例如单穗粒重、穗长、穗粗等,这些性状共同构成产量的主要因素,其遗传变异的信息可以作为亲本材料选择的依据^[25]。本研究中 31 个谷子新品种(系)的 8 个分级性状和 8 个农艺性状表现出丰富的变异,各性状的变化幅度、变异系数和多样性指数均较高,其中单穗重和穗粒重与产量密切相关,变异系数为 23.794%和 24.852%,多样性指数分别为 2.170 和 2.165,穗型和穗密度的多样性指数为 1.022和 1.237,说明 31 个谷子新品种(系)农艺性状变

表 8 茎秆多样性与产量性状的相关性分析
Table 8 Correlation analysis between node diversity and yield traits

性状 Traits	茎秆粗 H' H' of node wide	茎秆粗 CV CV of node wide	茎秆长 H' H' of node length	茎秆长 CV CV of node length	单穗粒重 Seed weight/plant
茎秆粗 H' of node wide	1	-0.40 *	0.15	-0.15	0.50 *
茎秆粗 CV of node wide	-	1	0.19	-0.24	-0.51 *
茎秆长 H' of node length	-	-	1	-0.41 *	-0.47 *
茎秆长 CV of node length	-	-	-	1	0.46 *
单穗粒重 Seed weight/plant	-	-	-	-	1

注：* 代表在 $P<0.05$ 水平差异显著,下同。
Note: * A significant level at $P<0.05$, the same as below.

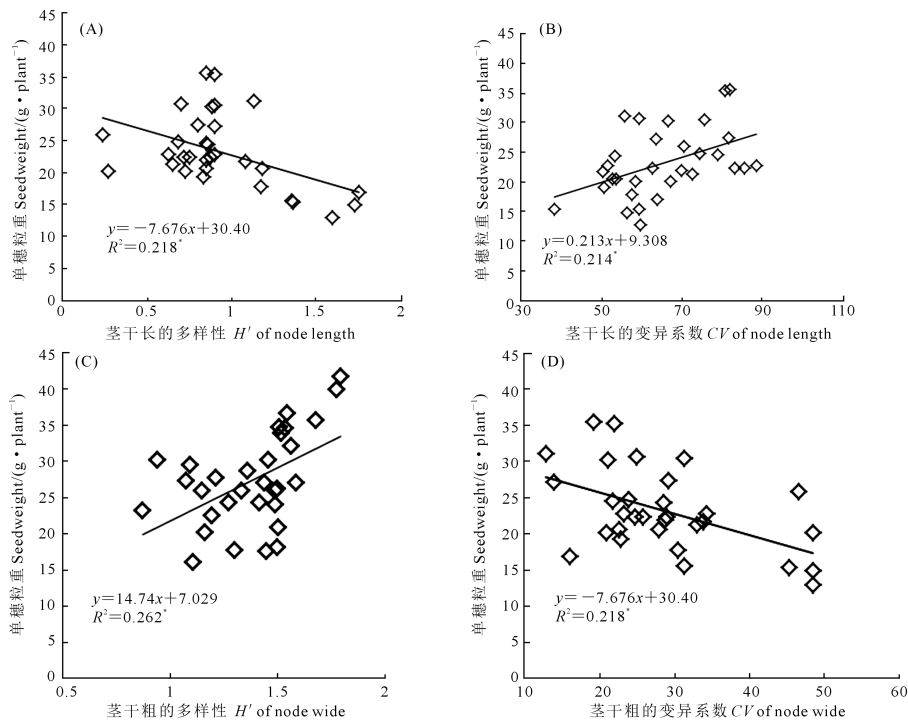


图 3 茎秆长和粗与单穗粒重的相关性分析(A:茎秆长 H' ,B:茎秆长 CV , C: 茎秆粗 H' ,D:茎秆粗 CV)

Fig.3 Seed weight and genetic diversity of node from different varieties(A: H' of node length, B: CV of node length, C: H' of node wide, D: CV of node wide)

异丰富,多样性较高,可以进一步在育种中进行应用,提高谷子新品种(系)的效率。然而,31 个新品种(系)的群体小,遗传基础狭窄,而且谷子产量等相关性状的变异受环境影响较大^[26],不同的产区应根据农艺性状的实际情况进行种质改良和创制,有条件的产区可引入外来种质资源,拓宽遗传基础。

3.2 谷子茎秆性状的多样性

作物表型性状的多样性分析包括物候期、产量构成因素和植株性状^[27-28]等,而对茎秆相关方面的研究重要集中在新种质创新上^[29]。本研究中精确测量谷子新品种(系)不同节位节长和节粗,节长中平均变异系数 25.586%,变化幅度较大,平均多样性指数 1.972,多样性丰富;节粗中,平均变异系数 20.550%,平均多样性指数 1.798,多样性丰富;不同

节位节粗群集性较强,节长群集性较差;不同品种的茎秆性状对 31 个谷子品种(系)进行聚类,可将谷子群体分为两类,说明谷子茎秆性状具有丰富的遗传多样性,且不同谷子新品种(系)在茎秆特性上具有一定的相似性。

3.3 谷子茎秆特性与产量性状

作物产量是由品种、环境、栽培管理和病虫害防控等因素综合作用的结果,而品种是影响产量的重要因素^[30-31]。在品种农艺性状中,地上部分的植株性状和地下部分的根系作为重要的产量影响因素常被用作新品种选育的重要参考指标^[32-33],其中株高、穗长、穗粗、穗密度、出谷率等是谷子育种中进行单株选择的重要依据^[34]。本研究对产量主要性状单穗粒重与茎秆特性进行相关分析,单穗粒重

与茎秆特性的 H' 和 CV 存在显著的相关关系 ($P < 0.05$), 单穗粒重与茎秆粗 H' 和茎秆长 CV 呈正相关, 单穗粒重与茎秆粗 CV 和茎秆长 H' 呈负相关。这些结果说明茎秆特性也是影响谷子产量构成的重要因素之一, 区别于以往农艺性状与产量关系的研究^[35-36], 谷子茎秆特性在种质创制和育种实践中应给予足够的重视。值得注意的是 31 个谷子新品种(系)群体茎秆粗 H' 和 CV 呈负相关 ($r = -0.40, P < 0.05$), 茎秆长 H' 和 CV 呈负相关 ($r = -0.41, P < 0.05$), 可能与茎秆的遗传基础存在一定的关联, 其内在的机制还需进一步的研究。

4 结 论

31 个谷子新品种(系)8 个分级性状(苗色、幼苗叶资、株型、花药颜色、穗型、穗码密度、籽粒颜色和米色)和 8 个农艺性状(生育期、株高、穗长、穗粗、单穗重、穗粒重、出谷率和千粒重)变异幅度较大, 群体多样性丰富, 依据茎秆特性可将谷子新品种(系)划分为两大类群, 且茎秆长和粗具有较高的遗传变异水平, 茎秆粗 H' 和茎秆长 CV 与单穗粒重呈正相关, 茎秆粗 CV 和茎秆长 H' 与单穗粒重呈负相关, 可作为未来谷子抗倒伏和高产育种重要农艺性状的补充。

参 考 文 献:

[1] 李斌, 顾万春, 卢宝明. 白皮松天然种群种实性状表型多样性研究[J]. 生物多样性, 2002, 10(2): 181-188.

[2] 尹明宇, 姜仲茂, 朱绪春, 等. 内蒙古山杏种群表型变异[J]. 植物生态学报, 2016, 40(10): 1090-1099.

[3] Jia G Q, Huang X, Zhi H, Diao X, et al. A haplotype map of genomic variations and genome-wide association studies of agronomic traits in foxtail millet (*Setaria italica*) [J]. Nature Genetic, 2013, 45: 957-961.

[4] 李润枝, 陈晨, 张培培. 我国燕麦种质资源与遗传育种研究进展[J]. 现代农业科技, 2009, 17: 44-45.

[5] 代攀虹, 孙君灵, 何守朴, 等. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2016, 49(19): 3694-3708.

[6] 陈雪燕, 工业娟, 雒景吾, 等. 陕西省小麦地方品种主要性状的遗传多样性研究[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(3): 456-460.

[7] 王果, 胡正, 张保缺, 等. 山西省野生大豆资源遗传多样性分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2182-2190.

[8] 胡标林, 万勇, 李霞, 等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.

[9] 蔡一林, 刘志斋, 王天宇, 等. 国内部分玉米地方品种的品质与农艺性状的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 31-36.

[10] 王继师, 刘祖昕, 樊帆, 等. 24 个甜高粱品种主要农艺性状与品质性状遗传多样性分析[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 83-91.

[11] 南铭, 马宁, 刘彦明, 等. 燕麦种质资源农艺性状的遗传多样

性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 262-267.

[12] 高金锋, 张慧成, 高小丽. 西藏苦荞种质资源主要农艺性状分析[J]. 河北农业大学学报, 2008, 31(2): 1-5.

[13] 董俊丽, 王海岗, 陈凌, 等. 糜子骨干种质遗传多样性和遗传结构分析[J]. 中国农业科学, 2015, 48(16): 3121-3131.

[14] 索素荣, 王占廷, 李青松. 谷子产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 河北农业科学, 2010, 14(11): 115-116, 118.

[15] 赵禹凯, 王显瑞, 张立媛, 等. 谷子产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 吉林农业科学, 2014, 39(2): 9-12.

[16] 杨成元. 春谷产量与其相关性状的关联度分析[J]. 杂粮作物, 2002, 22(5): 259-261.

[17] 黄英杰, 张岩. 谷子品种产量及主要产量构成因素稳定性的分析[J]. 作物杂志, 2002, 5: 43-44.

[18] 赵禹凯, 王显瑞, 陈高勋, 等. 谷子主要农艺性状的相关和通径分析[J]. 内蒙古农业大学学报, 2014, 35(2): 35-38.

[19] 王海岗, 贾冠清, 智慧, 等. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2016, 42(1): 19-30.

[20] 刁现民. 基础研究提升传统作物谷子和黍稷的科研创新水平[J]. 中国农业科学, 2016, 49(17): 3261-3263.

[21] 孟庆立, 关周博, 冯佰利, 等. 谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2667-2675.

[22] 陆平. 谷子种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

[23] 屈洋, 周瑜, 王钊, 等. 苦荞产区种质资源遗传多样性和遗传结构分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(11): 2049-2062.

[24] 田伯红. 谷子地方品种和育成品种的遗传多样性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(2): 224-228.

[25] 杨天育, 黄相国, 何继红, 等. 谷子遗传资源多样性研究进展[J]. 西北农业学报, 2003, 12(1): 43-47.

[26] Qu Y, Zhou Y, Chao G, et al. Water use efficiency of foxtail millet (*Panicum italicum* L.) under climate change conditions in Northwest regions of China[J]. Agrocienia, 2016, 50: 665-676.

[27] 刁现民, 程汝宏. 十五年区试数据分析展示谷子糜子育种现状[J]. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4469-4474.

[28] 张艾英, 郭二虎, 刁现民, 等. 2005-2015 年西北春谷中晚熟区谷子育成品种评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4486-4495.

[29] 刘正理, 程汝宏, 黄文胜, 等. 甜秆多穗型超早熟谷子新种质的创新[J]. 中国农业科学, 2005, 38(1): 17-21.

[30] 刘正理, 程汝宏, 李香月, 等. 不同类型谷子品种叶片对产量形成效应的研究[J]. 中国农学通报, 1995, 11(3): 12-16.

[31] 夏雪岩, 师志刚, 张婷, 等. 不同粒色谷子品系的鸟害程度研究[J]. 河北农业科学, 2014, 18(2): 4-6.

[32] 张文英, 智慧, 柳斌辉, 等. 豫谷 1 号和青狗尾草 RIL 群体根系变异和垂直分布[J]. 作物学报, 2014, 40(10): 1717-1724.

[33] 刘正理, 程汝宏. 谷子目标性状基因库育种技术体系的构建及其应用[J]. 中国农业科学, 2005, 38(7): 1306-1311.

[34] 程汝宏, 籍贵苏, 李香月. 夏谷高产育种单株选择模式[J]. 华北农学报, 1996, 11(1): 123-127.

[35] 陈素省, 赵国顺, 郝艳敏. 应用灰色关联度法评价谷子新品种[J]. 河北农业科学, 2006, 10(2): 62-65.

[36] 刘正理, 程汝宏, 张凤莲, 等. 华北夏谷区主要谷子品种遗传基础分析及改良途径的探讨[J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(增刊): 84-90, 99.