



# 山西谷子地方品种农艺性状和品质性状的综合评价

刘思辰, 曹晓宁, 温琪汾, 王海岗, 田翔, 王君杰, 陈凌, 秦慧彬, 王纶, 乔治军

(山西省农业科学院农作物品种资源研究所/农业部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室/杂粮种质资源发展与遗传改良山西省重点实验室,  
太原 030031)

**摘要:**【目的】通过对山西谷子地方品种种质资源农艺性状和品质性状进行综合评价, 分析山西谷子种质资源的多样性特点和分布规律, 为种质资源的评价和新品种选育提供参考。【方法】利用变异系数、Shannon-Weaver多样性指数对212份山西谷子种质资源的15个性状进行多样性分析和性状差异分析, 采用聚类分析、主成分分析、相关性分析以及逐步回归分析对山西谷子种质资源进行综合评价和鉴定指标筛选。【结果】212份山西谷子种质资源多样性指数范围为0.92—2.15, 除粒色外, 均大于1.00; 变异系数范围为3.35%—38.66%, 株高、穗长、茎长、茎粗、穗粗、节数、码数、码粒数、单穗重、穗粒重、千粒重、直/支比和粒色变异比较丰富, 淀粉和蛋白质变化较小。聚类分析把山西谷子种质资源分为3个类群: 第一类群北部品种, 来源地包括大同和朔州; 第二类群中部品种, 来源地包括阳泉、太原、晋中和榆次; 第三类群南部品种, 来源地包括临汾和运城, 与山西地理分布吻合; 北部品种中单穗重、穗粒重和千粒重等性状的平均值更高, 南部品种中码粒数、单穗重、千粒重、蛋白质、淀粉和直/支比表现出更高的变异性。主成分分析把15个性状归为9个主成分, 累计贡献率为89.26%, 表明9个主成分包含了谷子表型性状的大部分信息。山西谷子种质资源表型性状的综合得分 $F$ 值均值为0.521, 临汾的黄疸落最高(0.709), 大同的牛毛黄最低(0.315)。15个性状和综合得分 $F$ 值的相关性分析表明, 10个农艺性状(株高、穗长、茎长、茎粗、穗粗、节数、码数、码粒数、单穗重和穗粒重)与 $F$ 值呈极显著正相关, 直/支比与 $F$ 值也呈极显著正相关。采用逐步回归分析法筛选出9个性状, 分别为株高、穗长、茎长、码数、码粒数、单穗重、蛋白质、直/支比和粒色。【结论】山西谷子地方品种表型多样性丰富, 山西谷子资源划分为南部品种、中部品种和北部品种, 划分结果与地理来源吻合。直/支比可作为评价指标引入到谷子种质资源综合评价中。筛选出9个性状可以作为谷子种质资源性状评价指标。山西谷子南部资源多样性更丰富, 可作为谷子品质和特色育种的资源库。

**关键词:** 谷子; 地方品种; 农艺性状; 品质性状; 综合评价

## Comprehensive Evaluation of Agronomic Traits and Quality Traits of Foxtail Millet Landrace in Shanxi

LIU SiChen, CAO XiaoNing, WEN QiFen, WANG HaiGang, TIAN Xiang, WANG JunJie, CHEN Ling,  
QIN HuiBin, WANG Lun, QIAO ZhiJun

(<sup>1</sup>*Institute of Crop Germplasm Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement of Loess Plateau, Ministry of Agriculture/Shanxi Key Laboratory of Genetic Resources and Genetic Improvement of Minor Crops, Taiyuan 030031*)

**Abstract:** 【Objective】 The comprehensive evaluation of the agronomic traits and quality traits of Shanxi foxtail millet

收稿日期: 2019-07-07; 接受日期: 2020-01-13

基金项目: 山西省重点研发计划(201903D221087)、国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-06-13.5-A16)、山西“农谷”研发专项(YCX2017D2205)、山西省科技成果转化引导专项(201804D31051)

联系方式: 刘思辰, Tel: 18235172361; E-mail: lsch209@163.com. 通信作者乔治军, Tel: 13934223541; E-mail: nkypzs@126.com

landrace resources were used to analyze the diversity characteristics and distribution laws of Shanxi foxtail millet. The comprehensive analysis of traits of millet germplasm resources provided scientific basis for evaluation and selection of new varieties of foxtail millet resources. 【Method】 The diversity evaluation of 15 traits in 212 Shanxi foxtail millet germplasm resources were carried out. Variation coefficients, Shannon-Weaver Information index cluster analysis, principal component analysis, correlation and regression analysis were comprehensively used to evaluate the relationship of characteristics and select important characteristics.

【Result】 The result showed that diversity indexes range of 212 Shanxi foxtail millet germplasm resources was 0.92-2.15, and all of them was greater than 1.00 except of grain color (GC); Variation coefficients ranged from 3.35%-38.66%, large variations were found in the traits of plant height (PH), panicle length (PL), stem length (SL), stem diameter (SD), panicle diameter (PD), stem node number (SNN), spike number (SN), grain number per spike (GNS), single spike weight (SSW), spike grain weight (SGW), thousand-grain weight (TGW), amylase/amylopectin ratio, and GC. The less variation was showed in starch and protein. Shanxi millet landrace were divided into 3 groups by cluster analysis, the first group was northern varieties from Datong and Shuozhou, the second group central varieties from Yangquang, Taiyuan, Jinzhong and Yuci, the third group southern varieties from Linfen and Yuncheng; the clustering was consistent with their geographical distribution. The mean value was higher in the traits of SSW, SGW, and TGW in northern varieties. The varieties were more abundant in the traits of GNS, SSW, TGW, protein, starch, and amylase/amylopectin ratio in the southern varieties. Principal component analysis showed that the variation cumulative contribution rate of the first nine principal components was accounted for 89.26%. The average  $F$  value from the comprehensive evaluation of traits of 212 Shanxi foxtail millet germplasm resources was 0.521. Huanggeda is the highest (0.709), and Niumaohuang is the lowest (0.315). The correlating analysis between the 15 traits and  $F$  value showed that the phenotypic traits (PH, PL, SL, SD, PD, SNN, SN, GNS, SSW, and SGW) were significantly correlated with the  $F$  value. The ratio of amylase/amylopectin was also significantly correlated with the  $F$  value. Nine traits, including PH, PL, SL, SN, GNS, SSW, protein, amylase/amylopectin ratio, and GC, were selected out as evaluation indexes by stepwise regression analysis. 【Conclusion】 Shanxi foxtail millet landrace resources presented large phenotypic diversity. Cluster analysis can divide Shanxi millet germplasm resources into three groups, southern varieties, central varieties, and northern varieties. The results of the division and geographical sources coincide. The amylase/amylopectin ratio can be used as an index for the evaluation of Shanxi foxtail millet germplasm resources. The variation of the southern varieties in Shanxi presented higher level of phenotypic diversity, which can be used as a resource base for the quality and characteristic breeding of the millet.

**Key words:** foxtail millet; landrace; agronomic trait; quality trait; comprehensive evaluation

## 0 引言

【研究意义】谷子 (*Setaria italica*) 属于禾本科植物, 古代称为“粟”, 去壳后称为小米, 是起源于中国的一种古老粮食作物, 也是中国北方地区的主要粮食作物之一。谷子具有营养丰富均衡、抗旱节水、高光效、耐储存、粮草兼用的特点。中国谷子种植面积约 200 万  $\text{hm}^2$ , 约占全球谷子种植面积的 80%, 年总产量约 350 万  $\text{t}$ <sup>[1]</sup>。谷子中含有丰富的蛋白质、叶酸、维生素 E、类胡萝卜素及硒, 作为营养均衡作物对维持人体健康具有重要作用<sup>[2-4]</sup>。【前人研究进展】中国是谷子的一个遗传多样性中心, 拥有谷子种质资源约 2.7 万余份, 其中, 地方品种超过 2 万份<sup>[5-7]</sup>。王晓娟等<sup>[8]</sup>对 474 份甘肃省谷子地方种质资源的 22 个性状进行了遗传多样性分析, 结果表明, 甘肃谷子地方种质资源各地区和各主要性状的多样性存在明显差异。闫锋等<sup>[9]</sup>对黑龙江省的谷子种质资源进行形态学上的遗传多样性分析, 表明谷子材料具有广泛的形态变异。

田伯红<sup>[10]</sup>对 482 份谷子地方品种和育成品种进行了遗传多样性分析, 发现地方品种形态性状的多样性指数高于育成品种。王海岗等<sup>[11]</sup>选来自不同国家和地区的 878 份谷子核心种质进行了综合鉴定和遗传多样性评估, 结果表明, 谷子资源的各性状均表现出丰富的变异。杨慧卿等<sup>[12]</sup>选用了来自国外及国内的 68 份分蘖型谷子进行遗传多样性分析, 其数量性状遗传变异丰富。丁银灯等<sup>[13]</sup>对 272 份谷子育成品种、农家种及国外品种的主要农艺性状在新疆进行遗传多样性分析, 发现不同地区谷子在新疆遗传变异丰富。谷子资源在形态性状方面具有较广泛的遗传多样性, 地方品种形态性状的多样性指数大多高于育成品种。地方品种的广泛变异类型是现代谷子育种的重要遗传资源, 重新评价和利用地方品种是拓展中国谷子育种遗传基础的重要途径<sup>[10]</sup>。主成分分析和聚类分析是种质资源遗传多样性分析中普遍采用的分析方法, 已在多种作物种质资源评价中得到广泛应用<sup>[14-19]</sup>。山西省是中国谷子资源最丰富的地区之一, 因其地形复杂气候多样,

在漫长的农耕历史中,形成了丰富的谷子品种类型和繁多的谷子种质资源。1949 年以来,山西省共进行了 2 次大规模的谷子资源征集,共收集谷子种质 5 572 份<sup>[20]</sup>。主要是地方品种和农家种,其中也有少量育成品种和一些珍贵稀有的优异种质。巨大的种质资源数量缺乏深入系统地研究,使得山西谷子地方品种利用效率比较低。温琪汾等<sup>[21]</sup>对山西谷子种质资源进行了表型鉴定、抗旱鉴定和抗黑穗病鉴定,从山西谷子地方品种中筛选出高抗黑穗病<sup>[22-23]</sup>和耐旱性强的资源<sup>[24-25]</sup>。王海岗等<sup>[26-28]</sup>开展山西谷子地方品种表型多样性和核心种质构建的研究,为山西谷子地方品种表型的统一鉴定奠定了基础。【本研究切入点】目前,山西谷子地方品种表型性状的多样性分析,主要集中在产量性状<sup>[29]</sup>,对结合谷子籽粒品质性状综合评价分析的研究较少。【拟解决的关键问题】本研究旨在对山西谷子地方品种进行品质和农艺性状的综合鉴定,进一步了解山西谷子种质资源多样性的组成特点和分布状况及筛选出相对合理的表型评价指标,为山西谷子种质资源的评价和优异谷子新品种选育提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

从山西谷子库存资源 5 572 份中选取 212 份山西谷子地方品种种质资源为材料,按地理来源从北到南取样,涵盖谷子基本的遗传多样性,其中,大同 38 份、朔州 6 份、阳泉 12 份、太原 28 份、榆次 4 份、晋中 46 份、临汾 42 份和运城 36 份。

### 1.2 试验方法

2015—2016 年在山西省农业科学院东阳试验基地对 212 份山西谷子资源 12 个农艺性状(株高、穗长、茎长、茎粗、穗粗、节数、码数、码粒数、单穗重、穗粒重、千粒重和粒色)进行调查。每份材料种 2 行,行长 2.5 cm,依据《谷子种质资源描述规范和数据标准》<sup>[30]</sup>,粒色各性状差别用数字表示,1=白色,2=黄色,3=红色,4=青色,5=褐色,6=黑色。

籽粒脱壳磨粉,进行 3 个品质性状(蛋白质、粗淀粉和直链淀粉与支链淀粉的比值)的测定。参考 GB/T5511—2008《谷物和豆类氮含量测定和粗蛋白质含量计算凯氏法》测定谷子蛋白质含量,利用全自动凯氏定氮仪测定粗蛋白质测定 2 次,2 次测定的相对误差小于 1.0%。参照 GB5006—1985《谷物籽粒粗淀粉测定法》测定谷子淀粉含量,在室温下用旋光仪测定,计算粗淀粉百分含量,2 次测定的相对误差小于

1.0%。直/支比测定:参考水稻的国标碘比色法直链淀粉含量测定法,通过单波长比色法测定谷子中直链淀粉含量。由谷子中直链淀粉和总淀粉中支链淀粉的比例获得直/支比<sup>[31]</sup>。

### 1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS7.05 统计分析数据。采用 DPS7.05 进行聚类分析、相关性分析和主成分分析,并计算各主成分及表型性状的综合得分  $F$  值,再结合逐步回归分析筛选谷子资源综合性状评价指标。

1.3.1 隶属函数分析 采用模糊隶属函数计算出各性状的隶属函数值,将各性状定义到[0, 1]闭区间。

$M(X_i) = (X_i - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min})$  ( $i=1,2,3,\dots,n$ )  
式中, $M(X_i)$  为某种质材料第  $i$  个性状的隶属函数值, $X_i$  为某种质材料第  $i$  个性状值, $X_{i\max}$  和  $X_{i\min}$  分别为所有种质材料第  $i$  个性状的最大值和最小值。

1.3.2 遗传多样性指数 通过隶属函数值得到各性状每一级别的相对频率,再采用 Shannon-Wiener's 多样性指数 (Shannon-Wiener diversity index,  $H'$ ) 进行遗传多样性评价。

$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \times \ln p_i (i=1,2,3,\dots,n)$$

式中, $p_i$  表示某性状第  $i$  级别内材料份数占总份数的百分比。

1.3.3 种质资源的稳定性评价 采用 Origin 2018 绘制 2015—2016 年不同性状的 boxplot 图。

## 2 结果

### 2.1 表型性状的遗传多样性分析

山西谷子地方种质资源不同材料之间存在较大差异,相同性状在不同材料间表现出不同程度的多样性。通过对 15 个性状进行遗传多样性分析(表 1),结果表明,除粒色外,遗传多样性指数均大于 1.00,其中,株高(2.15)最高。遗传多样性指数排序为:株高>码数>单穗重>茎长>穗长>蛋白质>淀粉>节数>千粒重>穗粒重>码粒数>穗粗>茎粗>直/支比>粒色。株高、码数、茎长等表型性状的多样性指数较高,而直/支比和粒色的多样性指数较低。

不同材料的变异系数存在较大差异,为 3.35%—38.66%。蛋白质和淀粉的变异系数较低,粒色、码粒数、穗粒重、单穗重、码数、穗粗、穗长和直/支比的变异系数较高。其中,直/支比最高达 0.39,最低仅为

0.10, 变异系数为 17.47%, 而淀粉变异系数最低, 仅为 3.35%, 这对谷子新品种选育, 尤其对品质育种具有参考价值。

2.2 农艺性状的年度变化

在同一生态环境下, 2015—2016 年进行谷子资源农艺性状的调查 (表 2), 2015 年, 码粒数、单穗重

和穗粒重表现出较高的变异系数, 而在 2016 年, 穗长、茎长、茎粗、穗粗、节数、码数和千粒重表现出较高的变异系数, 说明表型性状受环境影响大。结合 2 年 11 个农艺性状平均值的 boxplot 图 (图 1) 可以看出, 株高、码数、码粒数、单穗重和穗粒重年度间变化大, 穗长、茎长、茎粗、穗粗、节数和千粒重受环境影响小。

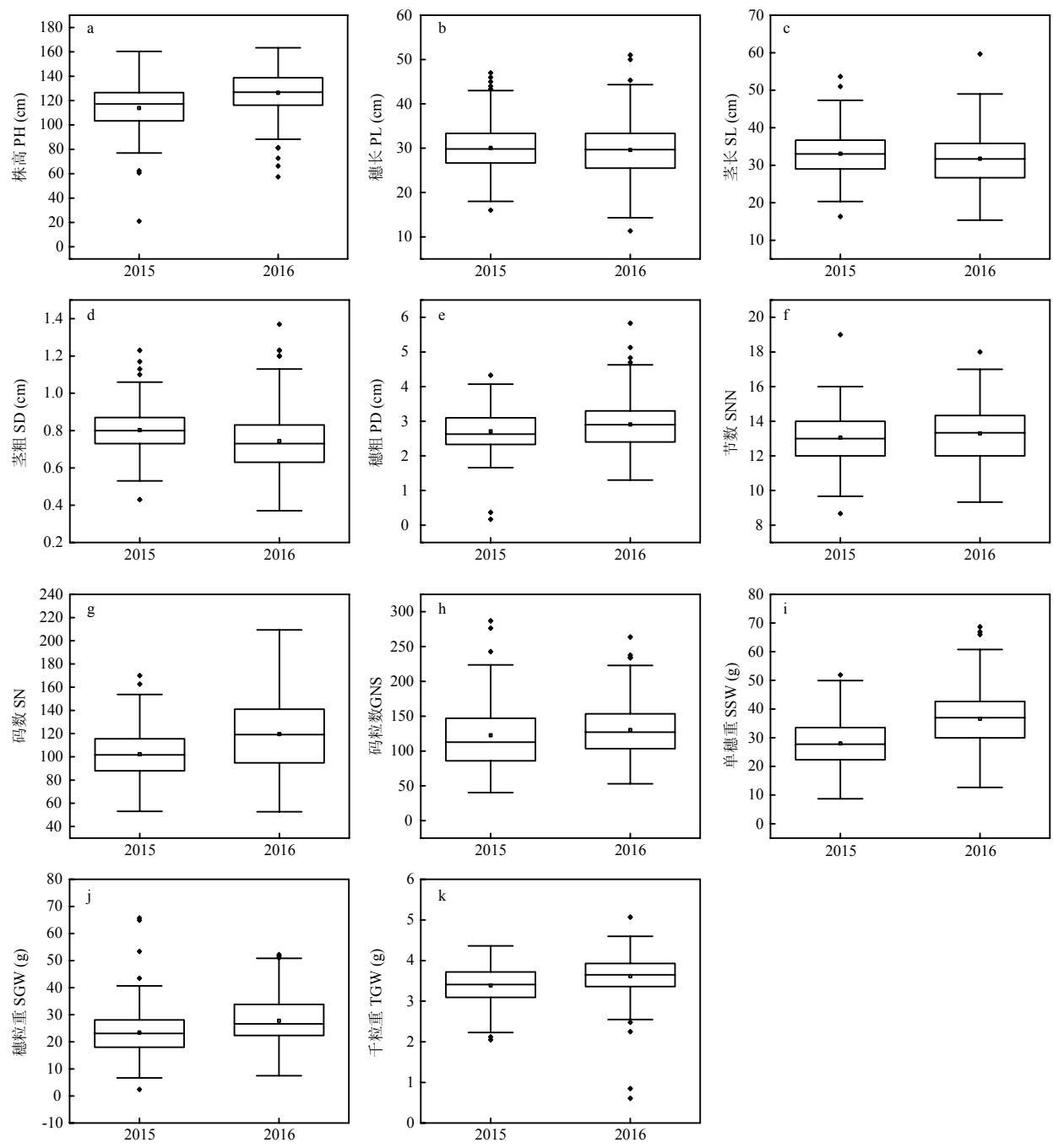
表 1 212 份山西谷子资源 15 个性状变化  
Table 1 Variation of 15 traits in 212 foxtail millet of Shanxi

性状 Trait	平均值 Mean±SD	变幅 Range	变异系数 CV (%)	多样性指数 H'
株高 PH (cm)	120.14±16.35	63.50–158.67	13.61	2.15
穗长 PL (cm)	29.83±5.47	16.67–49.00	18.34	1.94
茎长 SL (cm)	31.55±4.63	21.28–46.00	14.66	1.95
茎粗 SD (cm)	0.77±0.11	0.52–1.12	14.56	1.10
穗粗 PD (cm)	2.81±0.54	1.25–4.27	19.19	1.31
节数 SNN	13.17±1.35	9.00–18.50	10.23	1.69
码数 SN	110.93±24.18	57.00–176.50	21.80	2.08
码粒数 GNS	126.32±24.18	54.00–238.00	28.17	1.50
单穗重 SSW (g)	32.29±7.99	13.23–55.89	24.74	1.97
穗粒重 SGW (g)	25.61±6.88	9.91–47.16	26.87	1.57
千粒重 TGW (g)	3.50±0.42	1.87–4.58	12.04	1.57
蛋白质 Protein (%)	12.60±1.07	10.34–15.87	8.45	1.82
淀粉 Starch (%)	72.63±2.44	51.35–76.31	3.35	1.71
直/支比 Amylase/Amylopectin ratio	0.26±0.05	0.10–0.39	17.47	1.07
粒色 GC	–	–	38.66	0.92

PH: 株高; PL: 穗长; SL: 茎长; SD: 茎粗; PD: 穗粗; SNN: 节数; SN: 码数; GNS: 码粒数; SSW: 单穗重; SGW: 穗粒重; TGW: 千粒重; GC: 粒色。下同  
PH: Plant height; PL: Panicle length; SL: Stem length; SD: Stem diameter; PD: Panicle diameter; SNN: Stem node number; SN: Spike number; GNS: Grain number per spike; SSW: Single spike weight; SGW: Spike grain weight; TGW: Thousand-grain weight; GC: Grain color. The same as below

表 2 2015—2016 年主要农艺性状年度间变异  
Table 2 Genetic variation of agronomic traits in 2015-2016

性状 Trait	2015		2016	
	平均值 Mean±SD	变异系数 CV (%)	平均值 Mean±SD	变异系数 CV (%)
株高 PH (cm)	113.89±17.52	15.38	126.40±18.35	14.52
穗长 PL (cm)	30.08±5.59	18.59	29.59±6.23	21.06
茎长 SL (cm)	33.08±6.27	18.96	31.73±6.75	21.26
茎粗 SD (cm)	0.80±0.12	15.28	0.74±0.17	22.23
穗粗 PD (cm)	2.71±0.59	21.60	2.91±0.75	25.73
节数 SNN	13.06±1.38	10.54	13.29±1.54	11.60
码数 SN	102.23±21.27	20.81	119.62±30.93	25.86
码粒数 GNS	122.54±46.52	37.96	130.10±38.83	29.85
单穗重 SSW (g)	28.01±8.53	30.43	36.57±10.54	28.81
穗粒重 SGW (g)	23.42±8.67	36.99	27.79±8.41	30.27
千粒重 TGW (g)	3.39±0.45	13.31	3.61±0.53	14.56



盒图两端表示性状的极值范围；□：平均值；中间直线：中位线；◆：个别极值。PH：株高；PL：穗长；SL：茎长；SD：茎粗；PD：穗粗；SNN：节数；SN：码数；GNS：码粒数；SSW：单穗重；SGW：穗粒重；TGW：千粒重  
Both ends of boxplot indicate the extreme range of traits; □: The mean of the trait; The lines in the middle: The median line; ◆: Individual extremum. PH: Plant height; PL: Panicle length; SL: Stem length; SD: Stem diameter; PD: Panicle diameter; SNN: Stem node number; SN: Spike number; GNS: Grain number per spike; SSW: Single spike weight; SGW: Spike grain weight; TGW: Thousand-grain weight

图 1 2015—2016 年在东阳基地 11 个农艺性状的 boxplot 图  
Fig. 1 The boxplot of eleven agronomic traits in Dongyang from 2015-2016

2.3 相关性分析

由表 3 表明,15 个性状间存在不同程度的相关性。

株高与节数、码数和码粒数呈极显著正相关,与茎长和千粒重呈极显著负相关,与茎粗、穗粗和粒色相关

性显著；穗长与茎长、茎粗、码数、单穗重、穗粒重和千粒重极显著相关；穗粗与茎粗、码粒数、单穗重、穗粒重和千粒重极显著正相关；节数与株高、茎粗、码数和码粒数呈极显著正相关；码数与码粒数呈极显著负相关；单穗重与穗长、茎长、茎粗、穗粗、码粒数、穗粒重和千粒重呈极显著正相关；千粒重与穗长、茎长、穗粗、单穗重和穗粒重呈极显著正相关，与淀粉和直/支比相关性显著；蛋白质与单穗重和穗粒重呈极显著负相关；淀粉与蛋白质呈极显著负相关；直/支比与穗粗呈极显著正相关；粒色与节数极显著负相关。

2.4 主成分分析

对212份山西谷子地方品种的15个性状进行主成分分析（表4），第Ⅰ主成分贡献率为23.02%，第Ⅱ主成分贡献率为18.15%，第Ⅲ主成分贡献率为14.12%，第Ⅳ主成分贡献率为8.82%，第Ⅴ主成分贡献率为6.51%，第Ⅵ主成分贡献率为5.86%，第Ⅶ主成分贡献率为4.90%，第Ⅷ主成分贡献率为4.26%，第Ⅸ主成分贡献率为3.62%，9个主成分的累计贡献率为89.26%，因此，将原来的15个性状转化为9

个新的独立的综合指标，用于谷子种质资源的表型性状评价。

第Ⅰ主成了解释了15个性状23.02%的变化，特征向量绝对值最大的是穗粒重(0.47)和单穗重(0.47)；第Ⅱ主成分特征向量绝对值最大的是节数（0.54）、株高（0.51）和千粒重（0.32）；第Ⅲ主成分特征向量绝对值最大的是码数(0.52)、穗长(0.45)、茎长(0.38)和码粒数（0.31）；第Ⅳ主成分特征向量绝对值最大的是蛋白质（0.45）；第Ⅴ主成分特征向量绝对值最大的是粒色（0.80）；第Ⅵ主成分特征向量绝对值最大的是直/支比（0.67）；第Ⅶ主成分特征向量绝对值最大的是茎粗（0.72）；第Ⅷ主成分特征向量绝对值最大的是淀粉（0.61）；第Ⅸ主成分特征向量绝对值最大的是穗粗（0.72）。

2.5 综合评价

对15个表型性状值进行标准化处理，求得各种质的9个主成分得分，将9个主成分得分归一化处理，计算各主成分权重系数（0.258、0.203、0.158、0.099、0.073、0.066、0.055、0.048和0.041），最后求得每份种质材料的综合得分*F*值，进而对212份山西谷子

表3 15个性状的相关性分析

Table 3 Correlative coefficient of 15 traits

性状 Traits	株高 PH	穗长 PL	茎长 SL	茎粗 SD	穗粗 PD	节数 SNN	码数 SN	码粒数 GSN	单穗重 SSW	穗粒重 SGW	千粒重 TGW	蛋白质 Protein	淀粉 Starch	直/支比 Amylase/ Amylopectin ratio
穗长 PL	-0.11													
茎长 SL	-0.25**	0.60**												
茎粗 SD	0.15*	0.33**	0.04											
穗粗 PD	-0.18*	0.16*	0.14*	0.19**										
节数 SNN	0.81**	-0.08	-0.36**	0.30**	-0.05									
码数 SN	0.39**	0.40**	0.22**	0.21**	-0.32**	0.29**								
码粒数 GSN	0.18**	-0.02	-0.05	0.29**	0.42**	0.27**	-0.29**							
单穗重 SSW	0.06	0.38**	0.25**	0.46**	0.42**	0.15*	0.13	0.60**						
穗粒重 SGW	-0.06	0.39**	0.27**	0.34**	0.42**	0	0.09	0.53**	0.89**					
千粒重 TGW	-0.44**	0.30**	0.42**	-0.05	0.26**	-0.42**	-0.22**	0	0.32**	0.38**				
蛋白质 Protein	0.06	0.08	0.15*	-0.06	-0.17*	-0.01	0.15*	-0.17*	-0.20**	-0.26**	-0.14*			
淀粉 Starch	-0.11	-0.1	0	-0.02	0.07	-0.05	-0.17*	0.08	0.09	0.13	0.16*	-0.41**		
直/支比 Amylase/ Amylopectin ratio	-0.12	0.04	0.13	-0.07	0.21**	-0.03	-0.21**	0.1	0.05	0.05	0.15*	-0.04	-0.11	
粒色 GC	-0.17*	0.1	0.06	-0.07	-0.01	-0.22**	0.04	-0.14*	0.02	0.04	0.09	0.05	0	-0.01

\*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$ . 下同 \*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$ . The same as below

表 4 212 份山西谷子资源性状的主成分分析

Table 4 First nine principal components based on 15 traits of 212 Shanxi millets

性状 Traits	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
株高 PH	-0.1188	0.5085	0.0515	0.0099	-0.0859	0.2071	0.3038	0.1324	-0.1549
穗长 PL	0.2959	-0.0209	0.4544	-0.0099	-0.119	0.0458	-0.1833	0.1337	-0.1555
茎长 SL	0.2564	-0.2142	0.3829	0.044	-0.2749	0.0018	0.1956	0.3161	0.0467
茎粗 SD	0.2361	0.2912	0.1097	-0.0237	0.1128	-0.2104	-0.7207	0.1024	0.294
穗粗 PD	0.3319	-0.0275	-0.2258	0.2652	0.0842	-0.059	-0.1504	0.3252	-0.724
节数 SNN	-0.0614	0.5367	-0.0392	0.039	-0.0972	0.206	0.0573	0.1655	-0.1175
码数 SN	-0.023	0.2462	0.5179	-0.2383	-0.0843	0.173	0.0113	-0.1526	-0.1013
码粒数 GSN	0.2984	0.2511	-0.3088	0.2056	0.1337	-0.1389	0.2388	0.0895	0.2649
单穗重 SSW	0.4674	0.1951	0.0099	-0.0345	0.1131	-0.0081	0.175	-0.1794	0.1386
穗粒重 SGW	0.4724	0.1055	-0.0049	-0.0882	0.0947	0.0013	0.2134	-0.277	0.0825
千粒重 TGW	0.2999	-0.3228	0.0188	-0.064	-0.1583	0.014	0.2151	-0.1484	-0.0567
蛋白质 Protein	-0.1513	-0.0143	0.3378	0.4467	0.1944	-0.3336	0.2722	0.3972	0.2655
淀粉 Starch	0.0944	-0.0664	-0.2711	-0.585	-0.1982	0.0963	0.0436	0.6104	0.2353
直/支比 Amylase/Amylopectin ratio	0.0965	-0.1058	-0.1076	0.5063	-0.3044	0.6684	-0.1851	0.0029	0.2993
粒色 GC	0.0258	-0.1693	0.1279	-0.1236	0.7951	0.498	0.0252	0.1688	0.0089
特征值 E	3.4524	2.7222	2.1183	1.3234	0.9762	0.8787	0.7353	0.6384	0.5434
百分率 CR (%)	23.0161	18.1478	14.1222	8.8225	6.5083	5.8582	4.9021	4.2561	3.6226
累计百分率 CCR (%)	23.0161	41.1639	55.2861	64.1087	70.617	76.4752	81.3774	85.6335	89.256

种质资源进行综合评价。山西谷子的性状综合  $F$  值为 0.521，排在前五位的分别是黄圪塔、大青谷、小穗谷、红小围谷和平遥谷。来自临汾的黄疙瘩  $F$  值（0.709）最高，来自大同的牛毛黄  $F$  值（0.315）最低，说明黄圪塔的综合性状最好。相关性分析表明（表 5），除了千粒重和粒色外，其余 10 个农艺性状（株高、穗长、茎长、茎粗、穗粗、节数、码数、码粒数、单穗重和穗粒重）呈极显著正相关。 $F$  值和蛋白质无显著相关性，与淀粉含量呈显著负相关，与粒色呈显著正相关，与直/支比呈极显著正相关。利用综合得分  $F$  值和 15 个性状构建最优回归方程为  $Y=(-277.482+1.100X_1+3.226X_2+1.574X_3+0.523X_7+0.533X_8+4.670X_9+12.537X_{12}+203.952X_{14}+17.694X_{15})\times 10^{-3}$ ，式中， $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_9$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{14}$  和  $X_{15}$  分别代表株高、穗长、茎长、码数、码粒数、单穗重、蛋白质、直/支比和粒色。方程相关系数  $r$  和决定系数  $R^2$  分别为 0.9876 和 0.9754，表明 9 个自变量可决定  $F$  值总变异的 97.54%， $F$  值为 891.3208，方差极显著。由回归方程可知 9 个性状对

表型多样性综合值影响显著，可以作为山西谷子综合评价指标。

表 5 15 个性状与表型综合得分（ $F$  值）的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between 15 traits and comprehensive value ( $F$ -value)

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient	性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient
株高 PH	0.32**	单穗重 SSW	0.82**
穗长 PL	0.59**	穗粒重 SGW	0.73**
茎长 SL	0.40**	千粒重 TGW	0.14*
茎粗 SD	0.52**	蛋白质 Protein	0.12
穗粗 PD	0.31**	淀粉 Starch	-0.14*
节数 SNN	0.34**	直/支比 Amylase/Amylopectin ratio	0.18**
码数 SN	0.39**	粒色 GC	0.15*
码粒数 GNS	0.53**		





### 3 讨论

#### 3.1 谷子地方品种的重新评价和利用

谷子地方品种是在自然和人工的选择中演化而来, 它们保持了较高的遗传多样性。多年来, 地方品种受到的关注度低于选育品种, 缺乏系统深入的研究, 导致利用效率较低<sup>[10]</sup>。地方品种虽然在产量相关性状上与育成品种有一定的差距, 但地方品种在品质和特色育种上有很强的优势。近年来, 随着谷子育种的目标向优质转变, 重新评价和利用地方品种是拓展中国谷子育种遗传基础的重要途径<sup>[10]</sup>。此外, 谷子种质资源的表型及农艺性状遗传多样性研究多集中在特定地区<sup>[9-10]</sup>, 这与谷子种质资源地区多样性高于品种多样性, 且品种聚类结果与其来源地生态类型一致有关<sup>[32]</sup>。山西作为中国谷子资源最丰富的地区之一, 同时包含中国谷子主产区的 5 个生态类型, 多变的地形和气候, 形成了品种类型繁多的山西谷子种质资源。本研究对 212 份山西谷子种质资源进行遗传多样性分析, 发现除了粒色 ( $H' < 1.00$ ) 外, 其他性状的多样性均高于 ( $H' > 1.00$ ), 株高的遗传多样性指数最高 (2.15) (表 1)。这些结果与前人对中国谷子核心种质表型多样性研究结果整体趋势一致<sup>[10-11, 13]</sup>, 说明山西谷子地方品种的表型具有丰富的遗传变异。

#### 3.2 基于表型性状的山西谷子资源分类

聚类分析可将山西谷子种质资源分为 3 类 (图 2), 即南部品种、中部品种和北部品种 3 大类。结合山西不同地区谷子地方品种性状的变化 (表 6), 发现山西谷子种质资源性状由北向南成规律性变化。以千粒重为例, 山西谷子种质资源性状由北向南成规律性变化。其中, 特大粒品种 (4.6 g) 和小粒品种 (2.5 g) 在 212 份材料中占比很小, 特大粒品种北部仅有 1 份, 小粒品种南部有 2 份。北部材料中大粒品种占 84.1%, 中粒品种占 13.6%; 中部材料中大粒品种占 60.0%, 中粒品种占 40.0%; 南部材料中大粒品种占 23.1%, 中粒品种占 74.4%。这与山西北部地区高寒生态区有关, 因其昼夜温差大、日照时间长, 有利于有机物的积累, 因此, 北部地区谷子大粒品种占比多。与之相反, 南部地区小粒品种占比多。这一结果与张耀文等<sup>[34]</sup>对山西谷子研究得出的结论一致, 谷子是喜温作物, 山西地形由北向南, 气温由低到高, 日照由长变短, 导致籽粒大小的差异, 山西谷子呈现由北到南千粒重减小趋势。山西谷子地方品种表型聚类结果 (图

2) 与山西不同地区谷子地方品种性状的变化趋势一致 (表 6), 更能说明山西谷子地方品种表型性状的分类和地理来源吻合。

北部品种单穗重、穗粒重和千粒重等产量相关性状的平均值更高, 与地理环境和人工选择有关。中部品种在穗长、茎长、节数和粒色等性状上表现出更高变异性。南部品种株高和节数平均值更高, 并在产量相关性状 (单穗重和千粒重) 以及品质性状 (蛋白质、淀粉和直/支比) 上表现出更高的变异性, 显示出山西谷子南部品种性状多样性丰富 (表 6)。这一发现与王海岗等<sup>[27]</sup>对山西谷子地方品种不同地区多样性指数统计结果一致, 山西同地区谷子地方品种多样性指数变化范围在 1.425—1.855, 运城 (南部) 平均多样性指数最高为 1.858, 南部品种可作为本生态区特异种质在谷子高产优质的新品种选育中加以利用。

#### 3.3 山西谷子种质资源表型性状的综合评价及指标筛选

本研究利用表型性状综合得分  $F$  值进行山西谷子种质资源评价, 上述方法已在水稻<sup>[19]</sup>、陆地棉<sup>[35]</sup>、谷子<sup>[11]</sup>、花生<sup>[36]</sup>等作物表型性状的综合评价中得到应用。综合评价结果显示, 山西谷子的性状综合得分  $F$  值为 0.521, 与王海岗等<sup>[11]</sup>对来自世界各地的 878 份谷子核心种质的性状综合得分  $F$  值 0.555 相近。来自临汾的黄疙瘩  $F$  值 (0.709) 最高,  $F$  值排名前五的谷子品种有 3 个来源于山西南部品种, 说明山西南部品种综合表现更好。本研究中排名靠前的山西谷子南部品种可作为本生态区特异种质在谷子新品种选育中加以利用。利用综合得分  $F$  值和表型性状构建最优回归方程, 株高、穗长、茎长、码数、码粒数、单穗重、蛋白质、直/支比和粒色 9 个性状可作为山西谷子综合评价指标, 为山西谷子地方品种的深入评价和新品种选育提供了参考依据。

#### 3.4 直/支比可作为谷子种质资源综合评价指标

谷子品质是一个综合性状, 包括营养品质、商品外观、加工品质与食味品质等<sup>[37]</sup>。目前, 鉴定小米食味品质已由感官评价转为理化指标分析, 在优质谷子育种研究上, 也开始从只关注外观品质转向理化指标与外观品质并重<sup>[38]</sup>。淀粉的结构与性质直接影响小米的食用品质和加工工艺, 直链淀粉和支链淀粉的含量及比例影响着小米蒸煮品质及食味品质。研究发现, 山西谷子种质资源淀粉含量变幅较小, 变异程度低, 变异系数仅为 3.35%, 是 15 个性状中变异系数最低的; 而直/支比的变异系数高达 17.47% (表 1), 说明直/

支比可能是山西谷子蒸煮品质及食味品质表现优异的一个重要因素。相关性分析表明,表型综合得分  $F$  值与直/支比呈显著正相关(表 5),说明直/支比可作为评价指标引入到谷子种质资源的综合评价中。主成分分析显示,由直/支比组成的第 VI 主成分对山西谷子品种的贡献率为 5.86%(表 4),在山西谷子地方品种资源综合评价中具有重要作用。因此,直/支比可以为山西谷子地方品种优质谷子的选育提供理论指导。

## 4 结 论

山西谷子地方品种变异幅度较大,群体多样性丰富。将山西谷子资源划分为 3 大类群,南部品种、中部品种和北部品种,划分结果与地理来源吻合。南部品种在产量相关性状和品质性状的变异高于北部品种,显示山西谷子南部资源多样性更丰富,能更好地作为谷子品质和特色育种的资源材料。

## References

- [1] 刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系. 北京: 中国农业科学与技术出版社, 2011: 20-30.  
DIAO X M. *Chinese Industry and Technical System of Foxtail Millet*. Beijing: China Agricultural Sciences and Technology Press, 2011: 20-30. (in Chinese)
- [2] 刘三才, 朱志华, 李为喜, 刘方, 李燕, 黄蓉. 谷子品种资源微量元素硒和蛋白质含量的测定与评价. 中国农业科学, 2009, 42(11): 3812-3818.  
LIU S C, ZHU Z H, LI W X, LIU F, LI Y, HUANG R. Evaluation of selenium and protein content of foxtail millet landraces originated from different ecological regions of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(11): 3812-3818. (in Chinese)
- [3] 刘敏轩, 陆平. 中国谷子育成品种维生素 E 含量分布规律及其与主要农艺性状和类胡萝卜素的相关性分析. 作物学报, 2013, 39(3): 398-408.  
LIU M X, LU P. Distribution of vitamin E content and its correlation with agronomic trait and carotenoids content in foxtail millet varieties in China. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(3): 398-408. (in Chinese)
- [4] 邵丽华, 王莉, 白文文, 刘雅娟. 山西谷子资源叶酸含量分析及评价. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1265-1272.  
SHAO L H, WANG L, BAI W W, LIU Y J. Evaluation and Analysis of the folic acid content in millet from the different ecological regions in Shanxi province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(7): 1265-1272. (in Chinese)
- [5] 刘旭, 黎裕, 曹永生, 董玉琛, 方涛, 陆平. 中国禾谷类作物种质资源地理分布及其富集中心研究. 植物遗传资源学报, 2009, 10(1): 1-8.  
LIU X, LI Y, CAO Y S, DONG Y C, FANG W, LU P. Geographic distribution and germplasm-rich region of cereals in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2009, 10(1): 1-8. (in Chinese)
- [6] LI Y, WU S Z, CAO Y S, ZHANG X Z. A phenotypic diversity analysis of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv) landraces of Chinese origin. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1996, 43(4): 377-384.
- [7] DOUST A, KELLOGG E A, DEVOS K M, BENNETZEN J L. Foxtail millet: A sequence-driven grass model system. *Plant Physiology*, 2009, 149(1): 137-141.
- [8] 王晓娟, 祁旭升, 王兴荣, 苏俊阳. 甘肃省谷子地方种质资源遗传多样性分析. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 129-153.  
WANG X J, QI X S, WANG X M, SU J Y. Genetic diversity of foxtail landrace germplasm in Gansu Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(6): 129-153. (in Chinese)
- [9] 闫锋, 崔秀辉, 李清泉, 王成, 曾玲玲, 刘峰, 寄生栋. 谷子农艺性状的遗传多样性分析. 湖南农业科学, 2010(3): 8-9.  
YAN F, CUI X H, LI Q Q, WANG C, ZENG L L, LIU F, JI S D. Genetic diversity analysis of millet based on agronomic traits. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010(3): 8-9, 12.
- [10] 田伯红. 谷子地方品种和育成品种的遗传多样性研究. 植物遗传资源学报, 2010, 11: 224-228.  
TIAN B H. Genetic diversity of landrace and improved cultivars in foxtail millet. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11: 224-228. (in Chinese)
- [11] 王海岗, 贾冠清, 智慧, 温琪汾, 董俊丽, 陈凌, 王君杰, 曹晓宁, 刘思辰, 王纶, 乔治军, 刁现民. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价. 作物学报, 2016, 42(1): 19-30.  
WANG H G, JIA G Q, ZHI H, WEN Q F, DONG J L, CHEN L, WANG J J, CAO X N, LIU S C, WANG L, QIAO Z J, DIAO X M. Phenotypic diversity evaluations of foxtail millet core collections. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(1): 19-30. (in Chinese)
- [12] 杨慧卿, 王军, 王智兰, 杜晓芬, 郭二虎, 王玉文, 袁峰, 田岗, 刘鑫, 王秋兰, 李会霞, 张林义, 彭书忠. 分蘖型谷子资源的表型和遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 685-695.  
YANG H Q, WANG J, WANG Z L, DU X F, GUO E H, WANG Y W, YUAN F, TIAN G, LIU X, WANG Q L, LI H X, ZHANG L Y, PENG S Z. Analysis of phenotype and genetic diversity of foxtail millet germplasm with tillering. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(4): 685-695. (in Chinese)

- [13] 丁银灯, 聂石辉, 王仙, 胡相伟, 冯国郡, 耿洪伟, 战帅帅. 谷子主要育成品种在新疆的遗传多样性研究. 植物遗传资源学报, 2018, 19(2): 232-242.
- DING Y D, NIE S H, WANG X, HU X W, FENG G J, GENG H W, ZHAN S S. Genetic diversity of agronomic traits of foxtail millet (*Setaria italic* (L.) Beauv.) mainly bred varieties in Xinjiang province, China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(2): 232-242. (in Chinese)
- [14] 张逸鸣, 李英慧, 郑桂萍, 常汝镇, 邱丽娟. 吉林省大豆育成品种的遗传多样性特点分析. 植物遗传资源学报, 2007, 8(4): 456-463.
- ZHANG Y M, LI Y H, ZHENG G P, CHANG R Z, QIU L J. Change of genetic diversity for soybean cultivars from Jilin. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2007, 8(4): 456-463. (in Chinese)
- [15] 刘玉皎, 宗绪晓. 青海蚕豆种质资源形态多样性分析. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1): 79-83.
- LIU Y J, ZONG X X. Morphological diversity analysis of Faba bean [*Vicia faba* L.] germplasm resources from Qinghai. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9(1): 79-83. (in Chinese)
- [16] 彭芹, 戴双, 郭骞欢, 程郭公, 李豪圣, 刘爱峰, 刘建军, 赵世杰, 宋健民. 1950 年以来山东省主推小麦品种的遗传多样性演变. 分子植物育种, 2012, 10(2): 228-237.
- PENG Q, DAI S, GUO Q H, CHENG D G, LI H S, LIU A F, LIU J J, ZHAO S J, SONG J M. The evolution of genetic diversity of wheat varieties released in Shandong Province since 1950. *Molecular Plant Breeding*, 2012, 10(2): 228-237. (in Chinese)
- [17] 马晓岗, 李凤珍, 王晓辉, 李德志. 青海省小麦种质材料醇溶蛋白的遗传多样性分析. 麦类作物学报, 2012, 32(6): 1060-1065.
- MA X G, LI F Z, WANG X H, LI D Z. Gliadin genetic diversity analysis of wheat cultivars and germplasms from Qinghai Province. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(6): 1060-1065. (in Chinese)
- [18] 南铭, 马宁, 刘彦明, 任生兰, 边芳. 燕麦种质资源农艺性状的遗传多样性分析. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 262-267.
- NAN M, MA N, LIU Y M, REN S L, BIAN F. Genetic diversity analysis on agronomic characteristics of oat germplasms. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(1): 262-267. (in Chinese)
- [19] 胡标林, 万勇, 李霞, 雷建国, 罗向东, 严文贵, 谢建坤. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.
- HU B L, WAN Y, LI X, LEI J G, LUO X D, YAN W G, XIE J K. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(5): 829-839. (in Chinese)
- [20] 温琪汾, 王纶, 赵卫红, 畅建武. 山西省谷子种质资源的繁种入库. 山西农业科学, 2002, 30(4): 32-34.
- WEN Q F, WANG L, ZHAO W H, CHANG J W. Multiplication and conservation of foxtail millet germplasm resources in Shanxi. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2002, 30(4): 32-34. (in Chinese)
- [21] 任继海, 温琪汾, 王星玉, 王纶. 山西省谷子品种类型及其分布. 华北农学报, 1999, 14(3): 25-30.
- REN J H, WEN Q F, WANG X Y, WANG L. The types and distribution of millet varieties in Shanxi Province. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1999, 14(3): 25-30. (in Chinese)
- [22] 温琪汾, 刘润堂, 王纶, 王星玉, 李原平. 谷子品种资源的抗黑穗病鉴定研究. 石河子大学学报(自然科学版), 2004, 22(7): 40-42.
- WEN Q F, LIU R T, WANG L, WANG X Y, LI Y P. Identification of foxtail millet varieties resource for resistance to smut. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2004, 22(7): 40-42. (in Chinese)
- [23] 温琪汾, 刘润堂, 王纶, 王星玉, 师颖. 谷子种质资源抗黑穗病鉴定与过氧化物酶研究. 植物遗传资源学报, 2006, 7(3): 349-351.
- WEN Q F, LIU R T, WANG L, WANG X Y, SHI Y. Screening of foxtail millet germplasm for resistance to grain smut and related peroxidase study. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(3): 349-351. (in Chinese)
- [24] 温琪汾, 刘润堂, 王纶, 孙贵臣, 畅建武, 王星玉. 山西省谷子品种资源的抗旱性和丰产性研究. 山西农业大学学报, 2004, 24(3): 224-226.
- WEN Q F, LIU R T, WANG L, SUN G C, CHAN J W, WANG X Y. Drought resistance and high yield of foxtail millet germplasm in Shanxi province. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2004, 24(3): 224-226. (in Chinese)
- [25] 温琪汾, 王纶, 王星玉. 山西省谷子种质资源及抗旱种质的筛选利用. 山西农业科学, 2005, 33(4): 32-33.
- WEN Q F, WANG L, WANG X Y. The foxtail millet germplasm resources and screening and utilization of drought resistance germplasm in Shanxi. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2005, 33(4): 32-33. (in Chinese)
- [26] 王海岗, 温琪汾, 乔治军, 穆志新. 山西谷子地方品种的核心种质构建. 农学学报, 2019, 9(4): 26-31.
- WANG H G, WEN Q F, QIAO Z J, MU Z X. Core germplasm construction of foxtail millet landrace in Shanxi. *Journal of Agriculture*, 2019, 9(4): 26-31. (in Chinese)
- [27] 王海岗, 秦慧彬, 田翔, 吕建珍, 陈凌, 王君杰, 曹晓宁, 刘思辰, 王纶, 温琪汾, 穆志新, 乔治军. 山西谷子地方品种表型多样性分析. 中国农学通报, 2018, 34(32): 19-24.
- WANG H G, QIN H B, TIAN X, LÜ J Z, CHEN L, WANG J J, CAO

- X N, LIU S C, WANG L, WEN Q F, MU Z X, QIAO Z J. Phenotypic diversity of local foxtail millet varieties in Shanxi. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(32): 19-24. (in Chinese)
- [28] 王海岗, 温琪汾, 穆志新, 乔治军. 山西谷子核心资源群体结构及主要农艺性状关联分析. *中国农业科学*, 2019, 52(22): 4088-4099.
- WANG H G, WEN Q F, MU Z X, QIAO Z J. Population structure and association analysis of main agronomic traits of Shanxi core collection in foxtail millet. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(22): 4088-4099. (in Chinese)
- [29] 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. *中国农业科学*, 2016, 49(17): 3261-3263
- DIAO X M. Basic research promoting scientific innovation for traditional Chinese cereals, foxtail millet and common millet. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(17): 3261-3263. (in Chinese)
- [30] 陆平. 谷子种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- LU P. *Resource Description Specification and Data Standard of Foxtail Millet Germplasm*. Beijing: China Agriculture Press, 2006. (in Chinese)
- [31] 田翔, 乔治军, 秦慧彬, 曹永彪, 康国帅. 比色法测定糜子中的直链淀粉. *安徽农业科学*, 2015, 43(9): 283-284.
- TIAN X, QIAO Z J, QIN H B, CAO Y B, KANG G S. A spectrophotometric method for the determination of amylose in *Panicum miliaceum* L. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2015, 43(9): 283-284. (in Chinese)
- [32] 李志华, 穆婷婷, 李会霞, 田岗, 刘鑫, 景小兰. 谷子种质遗传多样性研究进展. *中国种业*, 2017(6): 21-24.
- LI Z X, MU T T, LI H X, TIAN G, LIU X, JING X L. Research progress on genetic diversity of foxtail millet germplasm. *China Seed Industry*, 2017(6): 21-24. (in Chinese)
- [33] 王殿瀛, 郭桂兰, 王节之, 王玉文, 赵太存, 史琴香. 中国谷子主产区谷子生态区划分. *华北农学报*, 1992, 7(4): 123-128.
- WANG D Y, GUO G L, WANG J Z, WANG Y W, ZHAO T C, SHI Q X. Division of eco-zones in main producing areas of foxtail millet. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1992, 7(4): 123-128. (in Chinese)
- [34] 张耀文. 山西小杂粮. 太原: 山西科学技术出版社, 2006.
- ZHANG Y W. *Minor Cereal in Shanxi*. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press, 2006. (in Chinese)
- [35] 代攀虹, 孙君灵, 何守朴, 王立如, 贾银华, 潘兆娥, 庞保印, 杜雄明, 王溢. 利用表型数据构建陆地棉核心种质. *中国农业科学*, 2016, 49(19): 3694-3708.
- DAI P H, SUN J L, HE S P, WANG L R, JIA Y H, PAN Z E, PANG B Y, DU X M, WANG M. Comprehensive evaluation and genetic diversity analysis of phenotypic traits of core collection in upland cotton. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(19): 3694-3708. (in Chinese)
- [36] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王幸, 王晓军, 王伟. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(5): 49-58.
- SUN D L, BIAN N F, CHEN Z D, XING X H, XU Z J, QI Y J, WANG X, WANG X J, WANG W. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(5): 49-58. (in Chinese)
- [37] 于淑婷, 杨延兵, 陈二影, 秦岭, 李国瑜, 管延安. 华北夏谷区近30年来主要谷子育成品种农艺和品质性状演变分析. *山东农业科学*, 2017, 49(2): 15-19.
- YU S T, YANG Y B, CHEN E Y, QIN L, LI G Y, GUAN Y A. Evolution of agronomic and quality traits of main foxtail millet varieties in north China bred in past thirty years. *Shandong Agricultural Sciences*, 2017, 49(2): 15-19. (in Chinese)
- [38] 韩俊华, 张爱霞, 罗敏, 张少丹, 平慧娟, 王慧军. “张杂谷”系列谷子品种淀粉含量的分析与评价. *河北工业科技*, 2012, 29(1): 23-34.
- HAN J H, ZHANG A X, LUO M, ZHANG S D, PING H J, WANG H J. Analysis and evaluation of starch content in “Zhangzagu” millet. *Hebei Journal of Industrial Science and Technology*, 2012, 29(1): 23-34. (in Chinese)

(责任编辑 李莉)