

不同区域对谷子农艺性状的影响

段宏凯 王宏富* 王钰云 原向阳 董淑琦 郭平毅

(山西农业大学 农学院,山西 太谷 030801)

摘要 为明确两个谷子品种的高产优势区,并探讨如何通过光温获得目标性状,本研究以山西7个典型地域:山西五台县(A1)、山西定襄县(A2)、山西平定县(A3)、山西省农科院高粱所(山西晋中市,A4)、山西省农科院经济作物所(山西汾阳市,A5)、山西省农科院谷子所(山西长治市,A6)和山西高平市(A7)为试验地点,以农大8号和长农35号为材料,对农艺性状进行研究分析。结果表明,不同地域显著影响谷子生育期、主茎高、留苗密度和穗粒重以及产量。品种差异是造成千粒重与穗长的主要因素。农大8号生育期显著小于长农35。由于谷子的分蘖能力可以随环境而自我调节,使得不同地域谷子穗数差异不显著,也使得不同地域谷子穗数与留苗密度的相关性不明显。本试验中穗重与穗粒重是构成产量的主要因素。农大8号的穗粒重与主茎高对地域反应很敏感且跟纬度呈正相关关系。在产量、千粒重、穗数与穗长方面农大8号在7个地域均表现适应,且综合评价结果明显好于对照品种,而长农35号的穗长在山西五台县表现最好,长农35在主茎高方面综合评价优于农大8号。除主茎高方面外,农大8号的抗逆性高于长农35号。在栽培过程中可以通过对光温的控制与调节来协调各因素以调整谷子农艺性状。

关键词 地域; 谷子; 农艺性状; 抗逆性

中图分类号 S515 **文章编号** 1007-4333(2018)11-0040-07 **文献标志码** A

Effect of different regions on the agronomic traits of millet

DUAN Hongkai, WANG Hongfu*, WANG Yuyun, YUAN Xiangyang, DONG Shuqi, GUO Pingyi

(College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract The aims of this study were to clarify the advantages of the high-yield areas of two varieties and coordinate various factors to achieve specific results and conduct research by adjusting light and temperature in the future. This study investigated the agronomic traits of 2 millet varieties, Nongda 8 and Changnong 35, in 7 typical areas in Shanxi Province. The results showed that different regions displayed significant effects on the growth period, main stem height, density of seedlings, grain weight per spike and production of millet. The variety difference was the main factor causing 1 000-grain weight and spike length differences. The growth period of Nongda-8 was significantly shorter than that of Changnong 35. As the millet's tillering ability was automatically adjusted with the environment, the difference in the number of spike of millet in different regions was not significant, resulting in the correlation between the number of spike of millet and the density of seedlings in different regions was not obvious. In this study, the weight of spike and the spike grain weight were the main factors contributing on yield. The spike grain weight and the plant height of Nongda 8 were very sensitive to the local reaction and positively correlated with latitude. In terms of yield, 1 000-grain weight, number of spike and length of spike, Nongda 8 adapted all seven regions and the overall evaluation result of it was obviously better than those of the control varieties. The spike length of Changnong 35 performed best in Shanxi Wutai County. Changnong 35 was superior to Nongda 8 in the stress resistance of main stems. In addition to the main stem high, the stress resistance of Nongda 8 was higher than that of Changnong 35. During cultivation process, various

收稿日期: 2017-12-12

基金项目: 国家自然科学基金(31301269);山西省农业综合开发项目(201617);山西省农业科技成果转化和推广示范工程项目(SXNKTG04);山西省科技重点研发计划项目(2015-TN-09)

第一作者: 段宏凯, 硕士研究生, E-mail: 13403664793@163.com

通讯作者: 王宏富, 教授, 研究方向为作物栽培学与耕作学, E-mail: ndwhf@126.com

factors could be coordinated to achieve the expected effect through the control and adjustment of the light and temperature.

Keywords region; millet; agronomic traits; resistance

谷子在我国栽培历史悠久,其果实小米是北方人民餐桌上必不可少的食物^[1]。山西是一个多山多丘陵的省份,形成许多各具特色的地域,构成了丰富多彩的生态环境。而且山西是全国谷子播种面积最大的省份,挖掘谷子中优良性状应该成为山西农业研究开发的重点^[2]。但由于谷子是一种对光与温度十分敏感的作物^[3],因此研究不同地域的生态环境对谷子农艺性状的影响具有重要意义。

由于谷子的光温敏特性,在光、温对谷子生长发育方面的研究已有很多^[4]。李秀芝等^[5]和刘为红等^[6]研究发现环境积温与谷子籽粒中蛋白质和脂肪等含量呈负相关。贺微仙等^[7]对我国不同生态区谷子籽粒中蛋白质研究中发现从南到北,从东到西谷子籽粒中蛋白质含量逐渐升高,从而推论出日照时间越长、昼夜温差越大,海拔越高越适宜谷子的栽培生产。邵丽华等^[8-9]在对山西地区谷子叶酸含量分析时提出春播晚熟区的叶酸含量显著高于春播中熟区,降雨量也显著影响谷子叶酸含量,小米颜色差异显著影响叶酸含量。也有研究提出随着海拔的升高,谷子籽粒中的蛋白质含量呈增加趋势^[10],淀粉含量呈降低趋势^[11]。而王玉文等^[12]、杨官厅等^[13]和何继红等^[14]在研究谷子与水分关系时提出:在谷

子生育期降雨量越少,谷子籽粒中蛋白质与脂肪含量越高。综上所述,不同地域对谷子品质会产生显著影响。

而针对山西中晚熟谷子区谷子农艺性状的变化规律方面的研究尚未见报道。本研究通过对山西 7 个典型区域种植农大 8 号与长农 35 农艺性状的分析,确定农大 8 号的优势种植区,探究区域对谷子农艺性状的综合影响,以期为山西划分谷子高产优质优势区提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验基本概况

试验于 2014,2015 年分别在山西五台县(A1)、山西定襄县(A2)、山西平定县(A3)、山西省农科院高粱所(山西晋中市,A4)、山西省农科院经济作物所(山西汾阳市,A5)、山西省农科院谷子所(山西长治市,A6)和山西高平市(A7)选取区域种植谷子农大 8 号(B1)与对照品种长农 35 号(CK),采用等行距不覆膜条播种植模式,每个区域每个品种种 3 次重复。于 2016 年在五台、高平、山西省农科院高粱所、山西省农科院经济作物所和山西省农科院谷子所进行验证性试验。不同地域的基本概况如表 1。

表 1 不同区域的基本概况

Table 1 Basic overview of different regions

区域 Area	平均气温 /°C Average temperature	年均降雨量 /mm Average annual rainfall	≥10 °C 积温/°C ≥10 accumulated temperature	无霜期/d Frost-free period	年均日照 时间/h Annual sunshine hours	经度/(°) Longitude	纬度/(°) Latitude
山西定襄县	8.7	433	3 197.1	158	2 734.6	112°54′	38°24′
山西高平县	9.8	589.4	2 600~3 400	180~200	2 532.5	113°00′	35°50′
山西平定县	10.5	500	3 644.4	111~186	2 795.7	113°30′	37°40′
山西省农科院高粱所	10.5	440.7	3 400~3 600	160~165	2 450	112°45′	37°41′
山西省农科院谷子所	9.7	549.2	3 140	156.8~181.9	2 311~2 664	112°18′	35°49′
山西省农科院经作所	10.4	450~500	3 300	177	2 637	111°46′	37°18′
山西五台县	9.3	500	1 880~2 740	90~150	2 400~2 700	113°15′	38°44′

1.2 试验材料及设计

试验谷子品种农大 8 号由山西农业大学农学院

谷子团队提供,长农 35 由山西省农科院谷子所提供作为对照品种。长农 35 号的幼苗叶鞘呈绿色,其主

茎高 155 cm, 茎粗 0.7 cm, 穗长 20.2 cm, 穗粗 2.6 cm, 单穗重 26.5 g, 单穗粒重 21.9 g, 出谷率 82.6%, 千粒重 2.8 g, 穗呈棒型, 穗码较紧, 刚毛短, 白谷黄米, 播种量大约为 15 kg/hm², 留苗密度为 37.5 万~45 万株, 属春播晚熟种, 适宜在山西省中南部等类似的旱地春播。2014 和 2015 年中两个品种均在 7 个区域同时种植, 每个品种设 3 次重复, 2016 年在其中 5 个区域种植农大 8 号, 且种植面积较前两年更大。管理模式与常规管理一致, 连续 3 年调查谷子农艺性状与产量。

1.2 试验取样方法

于 2014、2015 和 2016 年谷子成熟期选取样品调查谷子的生育期、留苗密度、亩穗数、主茎高、穗长、穗粒重、千粒重以及亩产等数据。

1.3 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2010 进行数据归纳整理和 DPS 7.05 对数据统计分析和一年多点分析。显著性检验用 Duncan 法。

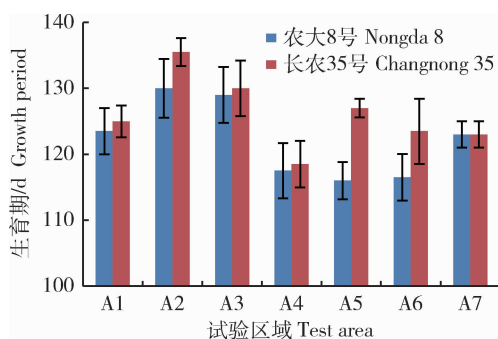
2 结果与分析

2.1 不同区域对谷子生育期的影响

不同区域对谷子生育期产生显著影响(图 1), A2 和 A3 区域谷子生育期极显著地高于 A6 和 A4 区域, 平均多 13 d 左右。A7、A6、A5 与 A4 之间生育期差异不大, 均为 120 d 左右, 结合 7 个区域位置分析得出不同区域的积温导致谷子生育期差异显著。农大 8 号在 A2 与 A3 区域的生育期较 A5 区域的生育期差异极显著, 大概晚熟 14 d 左右。而长农 35 号在 A2 区域的生育期较 A4 区域的生育期差异极显著, 大概晚熟 17 d 左右, 说明两种谷子对积温要求同样不一样。在 A5 区域中, 农大 8 号较长农 35 号晚熟 9 d 左右, 差异达到显著水平, 其余各区域中谷子生育期差异不显著。综合各区域分析农大 8 号与长农 35 号的生育期差异达显著水平, 晚熟 4 d 左右。

2.2 不同区域对谷子穗数的影响

不同区域对 2 个谷子品种的穗数影响不显著(图 2(a)), 但 A6 区域种植的谷子穗数与 A4 区域的谷子穗数差异较大。结合留苗密度分析发现(图 2(b)), A6 区域谷子留苗密度与 A4、A2 和 A1 区域的谷子留苗穗数差异显著, 农大 8 号在 A6 区域谷子留苗密度显著高于 A2 区域 51.7%, 但穗数差异不显著, 推论由于谷子分蘖能力与密度呈负相关, 以



A1, 山西五台县; A2, 山西定襄县; A3, 山西平定县; A4, 山西省农科院高粱所(山西榆次); A5, 山西省农科院经济作物所(山西汾阳); A6, 山西省农科院谷子所(山西长治); A7, 山西高平市。下同。

A1, Shanxi Wutai County; A2, Shanxi Dingxiang County; A3, Shanxi Pingding County; A4, Institute of Sorghum in Shanxi Academy of Agricultural Sciences (Shanxi Yuci County); A5, Institute of economic crops in Shanxi Academy of Agricultural Sciences (Shanxi Fenyang County); A6, Millet Research Institute in Shanxi Academy of Agricultural Sciences (Shanxi Changzhi County); A7, Shanxi Gaoping County. The same below.

图 1 山西 7 个区域对农大 8 号和长农 35 号生育期的影响

Fig. 1 Effects of 7 regions in Shanxi on the growth period of Nongda 8 and Changnong 35

至于谷子通过调节分蘖能力使得亩穗数差异性不大。但由于不同区域肥水管理模式和谷子分蘖能力差异较大等因素使得穗数与留苗密度的关系没有显著规律。通过一年多点分析得出: 农大 8 号在 7 个不同区域均适宜, 且综合评价为较好。从另一角度看长农 35 号在前两年的试验中穗数差异性较农大 8 号差异大, 显示出农大 8 号的抗逆性及环境适应能力较长农 35 号好。

2.3 不同区域对谷子主茎高的影响

不同区域对谷子主茎高有显著影响(图 3), A1 区域的谷子主茎高与 A3、A4 区域的主茎高差异达显著水平, 且极显著高于 A6 区域谷子主茎高 27.2%。农大 8 号与长农 35 号的主茎高分别在 A1 区域极显著高于 A6 区域, 且分别高出 27.6% 与 26.7%, 反映出谷子主茎高与区域纬度呈正相关关系。在 A7 区域, 长农 35 主茎高显著高于农大 8 号主茎高, 且除 A2 区域外的其他区域以及综合各区域分析, 均为长农 35 的主茎高, 高于农大 8 号。通过一年多点分析得出, 长农 35 号的主茎高在 7 个区域的综合评价明显好于农大 8 号。

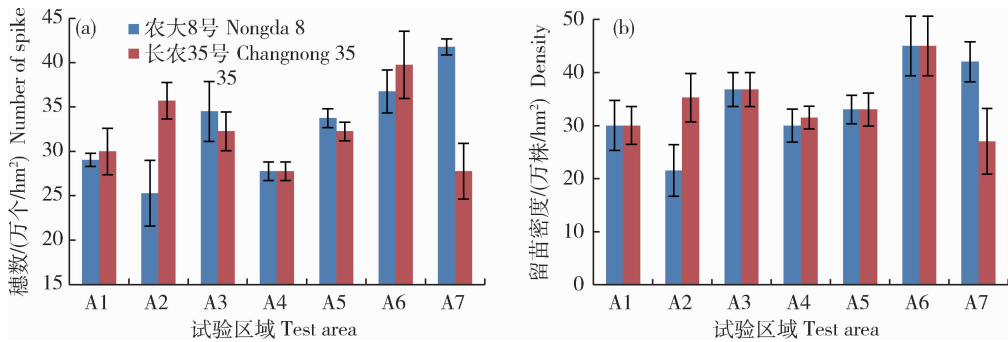


图 2 山西 7 个区域对农大 8 号和长农 35 号穗数 (a) 和留苗密度 (b) 的影响

Fig. 2 Effects of 7 regions in Shanxi on the number of spike (a) and density (b) of Nongda 8 and Changnong 35

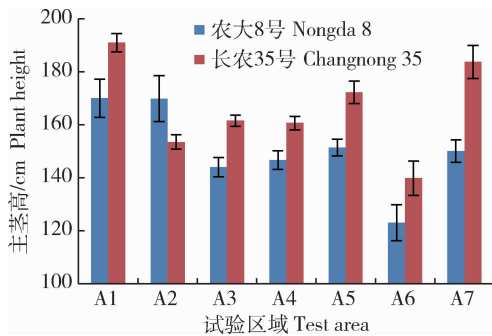


图 3 山西 7 个区域对农大 8 号和长农 35 号主茎高的影响

Fig. 3 Effects of 7 regions in Shanxi on the plant height of Nongda 8 and Changnong 35

2.4 不同区域对谷子穗部性状的影响

长农 35 和农大 8 号两个品种在不同区域的穗长表现无显著差异(图 4(a)),反映出谷子穗长与种植地域无相关关系。在 A7、A3 区域以及综合各区域分析,农大 8 号穗长均显著长于长农 35 的 37.5%、34.1%以及 29.5%,其他区域也均为农大 8 号穗较长。通过 1 年多点分析得,农大 8 号的综合评价高于长农 35 号,且农大 8 号适应于试验的各个区域。在穗粒重方面(图 4(b)),农大 8 号的穗粒重在 A2 区域显著高于长农 35 号,高出 47.4%,其他区域以及综合各区域分析发现两种谷子品种穗粒重没有达到显著差异水平。A4 与 A7 在谷子穗粒重差异达到显著水平,高出约 37%。而农大 8 号在 A1 极显著高于 A7 区域中前两年平均穗粒重,高出 62.5%,反映出农大 8 号对区域反应很敏感且跟纬度关系紧密。而品种长农 35 在各区域的穗粒重表现差异不

显著,说明对照品种的穗粒重在山西地区适应能力较农大 8 号强。在千粒重方面(图 4(c)),农大 8 号在各个区域的千粒重表现不显著。农大 8 号的千粒重在不同区域的表现规律与长农 35 千粒重在不同区域的表现规律一致,长农 35 号在 A5 区域的千粒重极显著高于 A2 和 A1 区域的千粒重,分别高出 23.1%和 29.2%。且在不同区域中,均为农大 8 号千粒重高于长农 35 号,其中 A1、A2 区域中农大 8 号千粒重显著高于长农 35 号。说明农大 8 号的千粒重对环境的适应能力高于长农 35,且相比区域差异,品种差异是造成千粒重差异的主要原因。

2.5 不同区域对谷子产量的影响

不同区域对谷子产量的影响达到显著水平(图 5)。农大 8 号的产量在 A2 区域与 A3、A7 区域形成显著差异,与 A5、A1 区域形成极显著差异。长农 35 在 A4 区域的产量分别显著高于 A3、A7 以及 A1 产量 29.8%、30.4%与 32.5%。综合分析各区域谷子产量变化情况,A4、A2 与其他区域产量差异形成显著水平,其中 A4 与 A3、A5、A7 以及 A1 区域谷子产量差异极显著。说明不同区域与品种对谷子产量能够造成显著差异,且 A2 与 A4 适宜谷子获得高产,A1 在谷子产量方面没有优势。结合地理位置分析谷子产量优势区域得出山西中部地区的优势高于山西东部地区,而后高于山西西部地区。就谷子品种来说,在不同区域中农大 8 号产量高于长农 35,且在 A1 区域和综合各区域产量分析中差异达到显著水平。通过相关性分析发现,本试验中穗重与穗粒重与产量的相关系数最高。通过一年多点分析发现农大 8 号的综合评价明显好于长农 35 号。

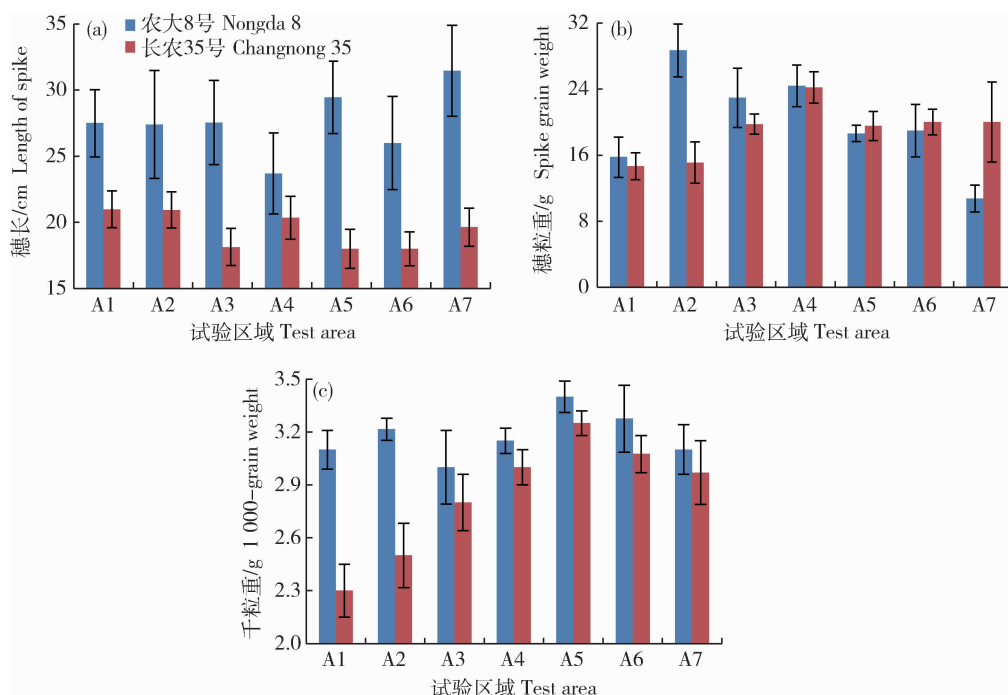


图4 山西7个区域对农大8号和长农35号穗长(a)、穗粒重(b)和千粒重(c)的影响

Fig. 4 Effects of 7 regions in Shanxi on the length of spike (a), spike grain weight (b) and 1 000-grain weight (c) of Nongda 8 and Changnong 35

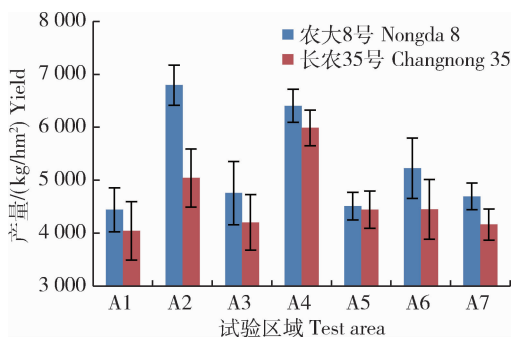


图5 山西7个区域对农大8号和长农35号产量的影响

Fig. 5 Effects of 7 regions in Shanxi on the yield of Nongda 8 and Changnong 35

2.6 试验结果的验证

2016年试验在A1、A4、A5、A6与A7区域扩大试验小区面积,进行生育期、千粒重、穗粒重和产量方面进行研究对比。在生育期方面,与前两年生育期的均值大致一致,均表现为五台最高,高平次之的规律,平均为119.5 d。在穗粒重方面,均值较前两年均值高1.1 g,变化规律同样相近:A4与A6区域的穗粒重最高,A7的最低,说明谷子的穗粒重跟区域关系紧密。千粒重同样跟前两年的差异不明显,不同区域之间的变化也同样不明显。产量均值与前

两年的均值相差不大,A4区域的谷子产量显著高于其他区域谷子产量,A1与A7区域谷子产量变化幅度相对较小。

3 讨论

3.1 不同区域对谷子生育期、穗数以及主茎高的影响

谷子生育期与积温呈负相关关系^[15],积温与区域的海拔、纬度以及年份有相关关系,印证本试验研究结果不同区域的积温导致谷子生育期差异显著。刘蕾蕾^[16]研究表明品种影响水稻的生育期,而本试验中农大8号生育期显著小于长农35的生育期同样表明品种对生育期具有显著影响。李国瑜等^[17]在研究积温时发现谷子苗期对积温的反应比较敏感,与本研究不同区域留苗密度差异显著结果相近。但由于谷子的分蘖能力可以随环境而自主调节,分蘖能力与密度呈负相关关系^[18],使得不同区域谷子穗数差异不显著,也使得不同区域谷子穗数与留苗密度的相关性不明显。本试验中不同区域对谷子主茎高有显著影响,反映出谷子主茎高与区域纬度关系紧密,呈正相关,与王晓娟等^[19]对谷子株高多样性分析结论相近,但其没有收集到同一品种在不同区域的主茎高表现数据。对比两个品种发

现,长农 35 的主茎高高于农大 8 号,农大 8 号在穗数方面的综合评价较长农 35 号好。

3.2 不同区域对谷子产量及相关性状的影响

谷子产量随着积温的升高而升高^[20],结合本试验发现山西省中部地区在谷子高产方面优势大于山西东部地区,也大于山西西部地区,可能由于山西中部地区海拔较低,光照充足,积温较东西部高所致。而本试验中农大 8 号在各个区域产量均高于长农 35,说明不同区域与品种对谷子产量能够造成显著差异。谷子生育期、穗粒重、单穗重以及穗数是构成谷子产量的主要因素^[21-23],与本试验结果相近。而在穗粒重方面,农大 8 号对区域反应很敏感且跟纬度关系紧密。农大 8 号在千粒重方面对环境的适应能力高于长农 35,且结合地理分析,品种差异相比区域差异是造成千粒重和穗长差异的主要原因,与 Sato 等^[24]的研究结果一致。通过一年多点分析发现在产量与穗长方面农大 8 号在 7 个区域均适应,而长农 35 号的穗长在 A1、A2 以及 A4 区域是其适应区域。但积温通过何种机理影响谷子产量以及相关性状的表现还有待进一步研究。

综上所述,山西中部地区是农大 8 号与长农 35 的高产优势区,不同区域显著影响谷子生育期、主茎高、留苗密度、穗粒重以及产量。相比区域差异,品种差异是造成千粒重与穗长的主要因素。因此,山西中部地区是谷子高产优势区,而谷子优质优势区还有待进一步探索。由于光照和温度能够显著影响到谷子生育期、主茎高、留苗密度、穗粒重^[25]以及产量等方面,在栽培过程中应注意通过对光温的控制来协调各因素以达到预期效果。

参考文献 References

[1] Zhu X K, Guo W S, Feng C N. The regulation effect of density and nitrogenous fertilizer quantity on grain yield and quality in hybridwheat[J]. *Journal of Wheat Research*, 1998, 19(2): 6-9

[2] 赵其国,尹学斌. 我们的未来农业—功能农业[J]. 山西农业大学(自然科学版), 2017, 37(7): 457-468, 486

Zhao Q G, Yin X B. Our future agriculture-functional agriculture[J]. *Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2017, 37(7): 457-468, 486 (in Chinese)

[3] Lu H Y, Zhang J P, Liu K B, Wu N Q, Li Y M, Zhou K S, Ye M L, Zhang T Y, Zhang H J, Yang X Y, Shen L C, Xu D K, Li Q. Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10 000 years ago[J].

Proceedings of the national Academy of the Sciences of the United States of America, 2009, 106(18): 7367-7372

[4] 刁现民. 中国谷子生产与产业发展方向. 柴岩. 中国小杂粮产业发展报告[C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 32-43

Diao X M. Chinese millet production and industry development direction. In: Chai Y. China Minor Cereals industry Development Report[C]. Beijing: China Agricultural Science and Technology press, 2007: 32-43(in Chinese)

[5] 李秀芝. 吉林省谷子地方品种蛋白质、脂肪含量的分析[J]. 吉林农业科学, 1987, 1: 24-27

Li X Z. Analysis the content of protein and fat content in local millet variety of Jilin Province[J]. *Jilin Agricultural Science*, 1987, 1: 24-27(in Chinese)

[6] 刘为红, 卢化, 周乃健. 不同生态因子对谷子蛋白质脂肪含量影响的研究[J]. 山西农业大学学报, 1995, 15(3): 244-247

Liu W H, Lu H, Zhou N J. Effects of different ecological factors on protein fat content in millet[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 1995, 15(3): 244-247(in Chinese)

[7] 贺微仙, 王文真, 王会龙. 我国北方谷子资源蛋白质含量研究初报[J]. 作物品种资源, 1985(3): 19-21

He W X, Wang W Z, Wang H L. Preliminary report on protein content of millet resources in northern China[J]. *Crop Variety Resources*, 1985(3): 19-21(in Chinese)

[8] 邵丽华. 山西省小米叶酸含量的研究[D]. 临汾: 山西师范大学, 2014

Shao L H. Study on the content of folic acid in millet in Shanxi province [D]. Linfen: Shanxi Normal Universit, 2014 (in Chinese)

[9] 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[J]. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1265-1272

Shao L H, Wang L, Bai W W, Li Y J. Analysis and evaluation of the content of folic acid in Shanxi millet resources [J]. *China Agricultural Science*, 2014, 47(7): 1265-1272 (in Chinese)

[10] 古世禄, 刘厦. 中国谷子蛋白质氨基酸组成的研究[J]. 华北农学报, 1989, 4(1): 8-15

Gu S L, Liu X. Study on protein amino acid composition of Chinese millet[J]. *North China Agronomy Journal*, 1989, 4(1): 8-15(in Chinese)

[11] 赵淑玲, 李洪, 王殿巧, 郭桂兰, 王玉文. 生态环境对谷子蛋白质、脂肪和淀粉含量的影响[J]. 华北农学报, 1990, 5(4): 48-53

Zhao S L, Li H, Wang D Q, Guo G L, Wang Y W. Effects of ecological environment on the content of protein, fat and starch in millet[J]. *North China Agronomy Journal*, 1990, 5(4): 48-53(in Chinese).

[12] 王玉文, 李会霞, 田岗, 王高鸿. 我国小米品质研究进展及其改良设想[J]. 中国农学通报, 2001, 17(5): 49-51

Wang Y W, Li H X, Tian G, Wang G H. Research progress and improvement ideas of millet quality in China[J]. *Chinese Agronomy Bulletin*, 2001, 17(5): 49-51(in Chinese)

- [13] 杨官厅,韩淑云,刘名贵.陕西省谷子品种谷粒品质研究初报[J].作物品种资源,1988,16(1):30-31
Yang G T, Han S Y, Liu M G. Preliminary report on grain quality of millet varieties in Shaanxi province [J]. *Crop Variety resources*, 1988, 16(1):30-31(in Chinese)
- [14] 何继红,杨天育,吴国忠.甘肃省谷子地方品种营养品质的分析与评价[J].植物遗传资源科学,2002,3(1):41-44
He J H, Yang T Y, Wu G Z. Analysis and evaluation of nutritional quality of local millet varieties in Gansu Province [J]. *Plant Genetic Resources Science*, 2002, 3(1): 41-44 (in Chinese)
- [15] Yang X Y, Wan Z W, Perry L, Zhao C H, Li J, Xie F, Yui J C, Cui T X, Wang T, Li M Q, Ge Q S. Early millet use in northern China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(10): 3726-3730
- [16] 刘蕾蕾.气候变化、品种更新和管理措施对我国水稻生育期及产量影响的研究[D].南京:南京农业大学,2012
Liu L L. Effects of climate change, cultivars improvement and management practices on rice growth duration and production in china[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [17] 李国瑜,丛新军,陈二影,沈群,颜丽美,邹仁峰,李妮,管延安.积温和降水量对夏谷生长发育的影响[J].核农学报,2018,32(1):165-176
Li G Y, Cong X J, Chen E Y, Sheng Q, Yan L M, Zhou R F, Li N, Guan Y A. Effects of accumulated mild precipitation on growth and development of millet [J]. *Nuclear Agronomy Journal*, 2018, 32(1): 165-176 (in Chinese).
- [18] 杨延兵,秦岭,陈二影,刘宾,管延安.播期和密度对强分蘖谷子书香1号农艺性状和产量的影响[J].山东农业科学,2016,48(8):34-37
Yang Y B, Qin L, Chen E Y, Liu B, Guan Y A. Effects of sowing date and plant density on agronomic characters and yield of foxtail millet cultivar shuxiang 1 with high-tillering capacity[J]. *Shandong Agricultural Science*, 2016, 48(08): 34-37(in Chinese)
- [19] 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[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):129-133, 153
Wang X J, Qi X S, Wang X R, Su J Y. Genetic diversity of local millet germplasm resources in Gansu Province [J]. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2009, 27(6): 129-133, 153(in Chinese)
- [20] 曹玲,王强,邓振镛,郭小芹,马兴祥,宁惠芳.气候暖干化对甘肃省谷子产量的影响及对策[J].应用生态学报,2010,21(11):2931-2937
Cao L, Wang Q, Deng Z F, Guo X Q, Ma X X, Ning H F. Effects of climate warming and drying on millet yield in Gansu Province and counter measures [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(11):2931-2937(in Chinese)
- [21] 任芹勇,樊巧利,李涛,郭世华.65份谷子品种农艺性状聚类和相关性[J].分子植物育种,2017,15(12):5178-5188
Ren Q Y, Fan Q L, Li T, Guo S H. 65 clustering and correlation of agronomic traits of millet varieties [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15(12): 5178-5188 (in Chinese)
- [22] 赵禹凯,王显瑞,陈高勋,赵敏,李书田.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(自然科学版),2014,35(2):35-38
Zhao Y K, Wang X R, Chen G X, Zhao M, Li S T. Correlation and path analysis of main agronomic characters of Millet [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2014, 35(2): 35-38(in Chinese)
- [23] 杨慧卿,王军,袁峰,郭二虎.西北春谷区中晚熟组谷子主要农艺性状的相关和通径分析[J].河北农业科学,2010,14(11):105-106,111
Yang H Q, Wang J, Yuan F, Guo E H. Correlation and path analysis of main agronomic characters of millet in late spring Gorge in northwest China[J]. *Hebei Agricultural Science*, 2010, 14(11): 105-106, 111(in Chinese)
- [24] Sato M, Kokubu T. Genetic properties of Italian millet [*Setaria italica* (L) Beauv] collected by Kagoshima University[J]. *Memoirs of Faculty of Agriculture*, 1988, 24: 91-100
- [25] 杨慧杰,原向阳,祁祥,郭平毅,郭大辛,董淑琦,温银元,张丽光.谷子对拔节期弱光胁迫的光合生理响应[J].核农学报,2017,31(2):386-393
Yang H J, Yuan X Y, Qi X, Guo P Y, Guo D X, Dong S Q, Wen Y Y, Zhang L G. The photosynthetic and physiological responses of the millet to the low light stress at jointing stage of the grain in the [J]. *Nuclear Agriculture Journal*, 2017, 31(2):386-393(in Chinese)

责任编辑:袁文业