



## 山东省不同生态条件气候因素对谷子产量的影响

杨延兵<sup>1</sup>, 秦岭<sup>1</sup>, 王润丰<sup>1</sup>, 陈二影<sup>1</sup>, 尹秀波<sup>2</sup>, 刘玉芹<sup>3</sup>, 张素梅<sup>3</sup>, 丛新军<sup>4</sup>,  
李国瑜<sup>4</sup>, 王乐政<sup>5</sup>, 管延安<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 山东省农业科学院作物研究所/山东省特色作物工程实验室, 济南 250100; <sup>2</sup> 山东省农业技术推广总站, 济南 250100; <sup>3</sup> 临沂市农业科学院, 山东临沂 276000; <sup>4</sup> 泰安市农业科学院, 山东泰安 271000; <sup>5</sup> 德州市农业科学院, 山东德州 253000)

**摘要:**【目的】谷子籽粒产量是谷子生产最重要指标之一。气候因素的变化对农业生产影响巨大, 研究山东地区不同生态条件下气候因素的变化对谷子产量的影响, 解析不同生态条件下育成谷子品种籽粒产量的变化规律, 为优质特色谷子品种选育及生产利用提供科学依据。【方法】利用华北夏谷区选育的 8 个优质、特色谷子新品种, 2016—2017 年种植在山东省不同生态条件下的 5 个试点, 成熟收获后测定谷子籽粒产量, 进行多因素方差分析, 利用 Duncan 方法检测籽粒产量差异显著性; 利用 Pearson 方法对谷子产量和谷子生育期间气温、降水量、日照时数等因素进行相关性分析。【结果】不同年份、地点×年份、地点×品种对谷子籽粒产量影响极显著 ( $P < 0.01$ ), 品种、品种×年份、地点×品种×年份对籽粒产量影响显著 ( $P < 0.05$ )。地点、地点×年份、地点×品种、品种对谷子产量变异贡献率较大, 分别为 50.05%、19.76%、12.32%和 8.67%; 年份、品种×年份变异贡献率相对较小, 分别为 2.70%和 1.69%。2017 年谷子产量总体比 2016 年提高 4.55%, 但是试点之间表现不一致; 济南市、临沂市、济宁市 2017 年产量比 2016 年分别提高 21.64%、18.47%和 3.96%, 而德州市、泰安市试点 2017 年产量水平分别比 2016 年低 8.66%和 9.78%, 同一试点不同年份之间产量差异显著的原因主要由气候因素引起, 特别是降水量和降水时间的分布。2 年 5 个试点 8 个谷子品种平均产量为 5 657.2 kg·hm<sup>-2</sup>, 变幅为 5 267.8—5 926.0 kg·hm<sup>-2</sup>, 豫谷 18 产量最低, 济谷 20 产量最高。济谷 20、济谷 22、济绿谷 1 号、济糯谷 2 号和中谷 2 号产量差异不显著, 但显著高于济谷 19 和豫谷 18。相关性分析表明, 谷子籽粒产量与各时段平均气温正相关 ( $P > 0.05$ ); 与生育期总平均气温显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 与各时段最高温度正相关 ( $P > 0.05$ ); 与 6 月中旬、6 月下旬苗期降雨量负相关 ( $P > 0.05$ ), 与 7 月下旬至 8 月中旬孕穗至开花期的降雨量负相关 ( $P > 0.05$ ); 与 9 月中下旬灌浆中后期光照时间正相关 ( $P > 0.05$ )。【结论】山东地区不同年份、地点、品种、地点×年份、地点×品种等因素对谷子产量影响有较大影响; 不同年份、不同地点的气温和降水是影响谷子产量的重要原因, 谷子全生育期平均气温升高提高了谷子籽粒产量; 苗期、抽穗开花期降雨多对谷子产量有不利影响。不同年份、不同地点品种产量存在较大差异, 济谷 20、济谷 22、济绿谷 1 号、济糯谷 2 号、中谷 2 号等品种在山东地区不同生态条件下有较好的丰产性和稳定性。

**关键词:** 谷子; 产量; 生态条件; 气温; 降水量; 光照时间

## Effects of Climatic Factors Under Diverse Ecological Conditions on Foxtail Millet (*Setaria italica*) Yield in Shandong

YANG YanBing<sup>1</sup>, QIN Ling<sup>1</sup>, WANG RunFeng<sup>1</sup>, CHEN ErYing<sup>1</sup>, YIN XiuBo<sup>2</sup>, LIU YuQin<sup>3</sup>, ZHANG SuMei<sup>3</sup>,  
CONG XinJun<sup>4</sup>, LI GuoYu<sup>4</sup>, WANG LeZheng<sup>5</sup>, GUAN YanAn<sup>1</sup>

收稿日期: 2019-06-19; 接受日期: 2019-12-23

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系创新团队专项资金 (SDAIT-15-03)、山东种业集团股份有限公司创新项目 (ZYCX2016016)、山东省农业科学院创新工程 (CXGC2018D02)、现代农业产业技术体系专项 (CARS-06)

联系方式: 杨延兵, E-mail: ybyang\_666@163.com. 通信作者管延安, E-mail: yguan65@163.com

(<sup>1</sup>Institute of Crop, Shandong Academy of Agricultural Sciences/Shandong Engineering Laboratory for Featured Crop, Jinan 250100; <sup>2</sup>Shandong General Station of Agricultural Technology Extension, Jinan 250100; <sup>3</sup>Linyi Academy of Agricultural Sciences, Linyi 276000, Shandong; <sup>4</sup>Taian Academy of Agricultural Sciences, Taian 271000, Shandong; <sup>5</sup>Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253000, Shandong)

**Abstract: 【Objective】** Grain yield is one of the most important indicators in evaluating foxtail millet productivity and is greatly affected by the fluctuation of climatic factors. The researches on the effects of climatic factors on grain yield and the varietal response of grain yield to different ecological conditions in Shandong can provide scientific basis for selecting, breeding and planting high-quality foxtail millet. **【Method】** Eight newly released foxtail millet cultivars selected from the summer-sown region of North China were planted at five locations in two consecutive years (2016 and 2017). Grain yields of these cultivars were measured. Analysis of Variance (ANOVA) was used to determine the significance of differences in grain yields by Duncan's Multiple Range Test. And correlation analysis between grain yield and air temperature, rainfall, and sunshine duration were conducted by Pearson's method. **【Result】** ANOVA showed that growing years, growing locations  $\times$  growing years, and growing locations  $\times$  cultivar genotypes had highly significant effects on the variations in grain yields ( $P < 0.01$ ). Similarly, cultivar genotypes, cultivar genotypes  $\times$  growing years, and growing years  $\times$  cultivar genotypes  $\times$  growing years showed significant influence on grain yields ( $P < 0.05$ ). Growing locations, growing locations  $\times$  growing years, growing locations  $\times$  cultivar genotypes and cultivar genotypes had high contribution rates (50.05%, 19.76%, 12.32%, and 8.67%, respectively), whereas growing years, cultivar genotypes  $\times$  growing years had low contribution rates (2.70% and 1.69%, respectively) to the variations in grain yields. In 2017, the average yield per unit area of eight foxtail millet cultivars was 4.55% higher than that in 2016, however, that was not consistent between growing locations. The annual outputs from Jinan, Linyi and Jining in 2017 were increased by 21.64%, 18.47% and 3.96%, respectively, while from Dezhou and Taian the annual outputs were decreased by 8.66% and 9.78%, respectively, compared with those in 2016. The average yields of eight cultivars from five locations across two years were  $5\,657.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  ranging from  $5\,267.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  to  $5\,926.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ . The yield of Yugu18 had the lowest yield while Jigu20 had the highest yield. No significant difference in grain yields was observed between cultivars Jigu20, Jigu22, Jilugu1, Jinuogu2 and Zhonggu2, however, grain yields of these cultivars were significantly higher than Jigu19 and Yugu18. Correlation analysis showed that the grain yield was positively but not significantly correlated with the average temperature and maximum temperature at each time period ( $P > 0.05$ ). However, it was significantly positively correlated with the total average temperature of the whole growth period ( $P < 0.05$ ). On the other hand, grain yield was negatively correlated with the rainfall at seedling stage (middle and late June) ( $P > 0.05$ ), and the rainfall during the periods from pregnancy heading to flowering (from late July to middle August) ( $P > 0.05$ ). Furthermore, grain yield was positively correlated with sunshine duration in middle and late September ( $P > 0.05$ ). **【Conclusion】** Growing years, growing locations, cultivar genotypes, growing locations  $\times$  growing years and growing locations  $\times$  cultivar genotypes had significant effects on the yields of foxtail millet in Shandong. The fluctuation of ecological factors across different years and different locations, especially the air temperature and rainfall were the important factors affecting the yields. Higher average air temperature during the whole growth period was beneficial to increasing grain yield. Excessive rainfall at seedling and heading stages had negative effects on grain yields. The yield of testing cultivars was significantly different between years and between experimental sites. The cultivars, Jigu20, Jigu22, Jilugu1, Jinuogu2 and Zhonggu2 had good fertility and stability across ecological conditions.

**Key words:** foxtail millet; yield; ecological conditions; air temperature; rainfall; sunshine

## 0 引言

**【研究意义】**不同生态环境的地点之间,不仅存在土壤肥力、质地、耕作栽培制度等差异,而且当地的气候因素(气温、降水、日照等)等也存在较大的差异,气候因素的变化对农业生产的影响受到越来越多的关注<sup>[1-8]</sup>。考察不同生态环境特别是气候因素对作物的影响,有利于应对气候变化对作物带来的负面影响<sup>[9-11]</sup>。谷子是中国起源的粟类作物<sup>[12]</sup>,其抗旱耐瘠,节水省

肥,是典型的环境友好型作物,在旱作生态可持续农业建设和种植业结构调整中具有重要作用,也是应对未来更加干旱环境的战略储备作物<sup>[13]</sup>。近年来,谷子育种工作取得重要进展,2001—2015年通过国家谷子区域试验鉴定的夏谷型品种有51个,这些品种为华北夏谷区谷子生产提供了品种保证<sup>[14]</sup>。研究育成谷子品种在不同生态条件下的综合表现,分析气候因素对谷子产量和品质的影响,解析品种对生态环境的适应性,探讨实现谷子丰产、稳产的途径,不仅可以为育种工作提供借

鉴和参考,而且为品种的生产利用和布局提供技术支持。【前人研究进展】关于气候生态因素对谷子产量的影响有较多研究。何少斌等<sup>[15]</sup>通过分析长治地区 1956—1980 年的谷子产量和气候资料,研究产量和气候变化的关系,表明该地区谷子全生育期(5—9 月)的总降水量与产量呈正相关,7 月下旬至 9 月上旬的降水量与谷子产量达到极显著水平,这一时期正是谷子抽穗开花和灌浆的主要时期,是谷子一生需水最多的关键时期,降水多少对谷子产量的高低有很大影响。刘猛等<sup>[16]</sup>依据武安市 1983—2012 年 30 年的降雨和谷子单产数据,研究了干旱雨养区自然降雨与谷子单产水平的关系,认为谷子生育期(5—9 月)降雨量在 490 mm 以内时,谷子单产随着降雨量的增加呈现增长的趋势,降雨量超过 490 mm,谷子的单产与降雨量呈负相关,谷子的单产受 7 月和 8 月的降雨量影响显著。郭天财等<sup>[17]</sup>对河南济源县 25 年(1961—1985 年)夏谷产量和气温、降水和日照等气象因素的关系做了统计分析,认为总降水量不足和降雨时间分配不合理是该县影响夏谷产量的主要因素,9 月上旬降水偏少对产量影响最大。张荣等<sup>[18]</sup>对大同市 1961—2010 年谷子单产与气温、降水和日照等气象因子的关系进行分析,表明大同市谷子生育期内温、光、水的变化趋势与谷子生长发育的需求基本吻合,造成谷子产量波动的主要原因是降水量和日照时数在时间分配上的不合理,同时谷子全生育期的总积温和生育期平均气温也通过影响谷子所需要的水分严重地影响谷子产量。曹玲等<sup>[19]</sup>收集甘肃省不同区域气温、降水和谷子产量资料数据,分析了气候因素变化对甘肃省谷子产量的影响,表明气候暖干化是该区域气候变化的特点,气候变暖有利于谷子产量增加,区域内谷子产量与温度、降水量显著相关,旱作区谷子产量随生育期内气温增高、降水量增多而提高,绿洲灌区谷子产量随气温增高而提高,各地谷子产量的年际波动主要受气象因素的影响。以上这些研究多基于某一区域的特点或历史资料研究气候因素变化对谷子产量的影响。一般来说随着温度的升高,谷子籽粒产量上升,降水量的大小和时间分布对谷子产量有重要影响。然而不同区域气候因素的变化存在差异,而且当前的生产条件已经出现了较大的变化。张婷等<sup>[20]</sup>认为近十多年来华北夏谷区谷子生育期气候趋向于暖湿,造成谷子产量显著差异的原因主要取决于气候因素,谷子产量与最低温、降水量呈极显著负相关;对产量贡献较大且为负效应的是最低温,为正效应的是最高温。李志江等<sup>[21]</sup>也认为东北春谷区气候条件严重影响谷子的产量。李国瑜等<sup>[22]</sup>研究了积

温和降水对夏谷品种济谷 16 和济谷 18 生长发育的影响,认为夏谷生产应依据降雨、气温及光照等气象因素,确定适宜的播种时期,使夏谷需水关键期与当地自然降水规律相匹配,减轻生育期内不利气象条件的影响,最大限度地使拔节、幼穗分化期与多雨时段相吻合,从而夏谷实现高产、稳产。【本研究切入点】山东省谷子主要种植在济南市、济宁市、临沂市、泰安市等丘陵山区及部分平原地区。总之,区域内光、温、水等气候资源丰富,雨热同季。谷子主要种植区为旱作雨养区,主要依靠自然降水从事谷子生产。谷子的生长区域性较强,而且谷子生态条件、生产条件不同区域差异较大,年际之间有一定的波动。针对山东省区域内不同的生态条件,研究育成品种的适应性,及气候因素的变化对谷子的产量的影响,相关研究缺乏。【拟解决的关键问题】本研究选用当前华北夏谷区选育的优质、特色夏谷新品种,在山东省不同生态条件的 5 个试点,统计这些谷子品种的产量表现,分析谷子产量与气候因素等生态条件变化的规律,探讨实现区域内谷子优质、稳产、高产的途径,为优质品种的选育和生产利用提供科学依据,同时可以为同类型地区的谷子生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

选取当前山东谷子生产中推广种植的 8 个谷子新品种作为供试材料(电子附表 1),于 2016—2017 年在山东省不同生态条件下谷子主要产区进行试验,试验点包括济南市(山东省农业科学院作物研究所试验基地,117.09°E/36.71°N,海拔 24 m)、济宁市(山东圣丰种业试验地,115.01°E/35.42°N,56 m)、临沂市(临沂市农业科学研究院试验地,118.26°E/35.09°N,海拔 51 m)、泰安市(泰安市农业科学研究院试验基地,116.46°E/36.14°N,海拔 85 m)、德州市(德州市农业科学研究院试验地,116.33°E/37.34°N,海拔 22 m),各试验点 2016—2017 年谷子生育期 6 月—9 月的主要气象因素(平均气温、降雨量和光照时数)如电子附表 2,各试验点的气象因素来源于山东气象服务网(<http://112.33.4.68:9090/index.php>)或试验点自测数据。

每品种种植 6 行,行长 5 m,行距 0.5 m,亩留苗密度 4.0 万,3 次重复,随机区组排列,调查抽穗期、成熟期等物候期性状。管理措施高于普通大田。成熟时小区全收获计产,收获时每小区取样 20 株,调查主要农艺性状。各试验点于当年的 6 月中旬播种,9 月下旬收获,具体见电子附表 3。

1.2 数据处理与分析

用 Microsoft Excel 2010 处理数据，用 DPS v7.05 数据处理系统进行方差分析和差异显著性检验（Duncan 新复极差法），利用 SPSS 22.0 进行相关性分析（Pearson 法）。

2 结果

2.1 产量的多因素方差分析及变异贡献率

通过对产量进行 2 年 5 点方差分析和因素贡献率

分析（表 1），年份间、地点×年份、地点×品种对产量影响差异极显著（ $P<0.01$ ），品种、品种×年份、地点×品种×年份之间影响差异显著（ $P<0.05$ ）；而变异的贡献率分析表明，地点对产量变异贡献率最大，为 50.05%；其次为地点和年份互作、地点和品种互作，分别为 19.76%和 12.32%；品种对产量变异的贡献率为 8.67%；地点×品种×年份三因素互作变异贡献率为 4.81%，年份、品种×年份变异贡献率相对较小，分别为 2.70%和 1.69%。

表 1 谷子籽粒产量多因素方差分析和变因贡献率

Table 1 Multiple factors variance analysis of grain yield of foxtail millet and contribution rate of variable factors

变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	<i>P</i>	贡献率
Source	<i>SS</i>	<i>df</i>	Mean square			Contribution rate (%)
区组 Block	4388491.5	20	219424.6			
年份 Year	3805125.9	1	3805125.9	27.15	0.0001	2.70
地点 Location	70602182.5	4	17650545.6	2.53	0.1949	50.05
品种 Cultivar	12231908.4	7	1747415.5	5.13	0.0233	8.67
地点×年份 Location×Year	27862874.4	4	6965718.6	49.71	0.0001	19.76
品种×年份 Cultivar×Year	2382977.3	7	340425.3	2.43	0.0223	1.69
地点×品种 Location×Cultivar	17371868.6	28	620423.9	4.43	0.0078	12.32
地点×品种×年份 Location×Cultivar×Year	6793459.7	28	242623.6	1.73	0.0204	4.81
误差 Error	19618704.8	140	140133.6			
总计 Total	165057593.1	239				

贡献率（%）= $SS_{\text{变因}} \times 100\% / (SS_{\text{总}} - SS_{\text{误}} - SS_{\text{区组}})$  Contribution rate (%)= $SS_F \times 100\% / (SS_T - SS_E - SS_B)$

2.2 年份、地点对谷子籽粒产量的影响

2 年 5 点 8 个品种谷子籽粒平均产量 5 657.2 kg·hm<sup>-2</sup>（表 2）。2017 年 5 个试验点平均产量比 2016 年升高 251.8 kg·hm<sup>-2</sup>，提高 4.55%，但是各试点产量表现并不一致。同一地点不同年份产量差异极大，济南市、临沂市、济宁市试点 2017 年产量比 2016 年分别升高 1 092.0、928.1 和 257.6 kg·hm<sup>-2</sup>；尤其是济南市、临沂市试点 2017 年比 2016 年产量提高 21.64%和 18.47%。而德州市、泰安市试点 2017 年产量比 2016 年下降 509.2 和 509.4 kg·hm<sup>-2</sup>，分别降低 8.66%和 9.78%。

2016—2017 年 5 个试点的产量表现并不完全一致（表 2），2016 年产量变幅为 5 024.7—6 499.6 kg·hm<sup>-2</sup>，试点之间差异显著；试点产量水平依次为济宁市>德州市>泰安市>济南市>临沂市。2017 年产量变幅 4 699.9—6 757.3 kg·hm<sup>-2</sup>，试点之间产量差异显著，试点产量水平依次为济宁市>济南市>临沂市>德州市

>泰安市。济宁市试点 2 年平均产量水平较高，泰安市试点产量水平最低，济宁市和泰安市试点产量差异显著，其他试点平均产量差异不显著。

2.3 品种对籽粒产量的影响

通过对 2016—2017 年品种产量的统计分析（表 3）。2016 年产量变幅为 5 117.7—5 914.8 kg·hm<sup>-2</sup>，济谷 20 最高，济谷 19 最低，品种产量差异显著，产量水平依次为济谷 20>济绿谷 1 号>中谷 2 号>济谷 22>济糯谷 2 号>济谷 21>豫谷 18>济谷 19。2017 年产量变幅为 5 252.3—6 070.4 kg·hm<sup>-2</sup>，济糯谷 2 号最高，豫谷 18 最低，产量水平依次为济糯谷 2 号>济谷 22>济谷 20>济绿谷 1 号>中谷 2 号>济谷 21>济谷 19>豫谷 18；而且济糯谷 2 号、济谷 22、济谷 20、济绿谷 1 号、中谷 2 号和济谷 21 产量差异不显著。2 年 8 个品种的产量水平并不完全一致，说明品种对年际环境条件的表现存在差异。2 年 8 个品种平均产量变幅为 5 267.8—5 926.0 kg·hm<sup>-2</sup>，豫谷 18 产量最低，

表 2 2016—2017 年不同地点谷子籽粒产量的差异

Table 2 Differences of grains yield of foxtail millet at different locations in 2016-2017

地点 Location	籽粒产量 Grain yield (kg·hm <sup>-2</sup> )			2017 比 2016 增产率 Yield-increase rate (%)
	2016	2017	均值 Mean	
济南市 Jinan	5045.3c	6137.3b	5591.3ab	21.64
德州市 Dezhou	5877.7b	5368.5c	5623.1ab	-8.66
临沂市 Linyi	5024.7c	5952.8b	5488.8ab	18.47
济宁市 Jining	6499.6a	6757.3a	6628.5a	3.96
泰安市 Taian	5209.3c	4699.9d	4954.6b	-9.78
均值 Mean	5531.3	5783.2	5657.2	4.55

表中数据为平均值，同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5%显著水平。下同  
Means of values followed by different small letters in the same column mean significant difference at 0.05 level. The same as below

表 3 不同品种谷子品种产量的差异及变异度

Table 3 Differences and CVs of grain yields of different cultivars

品种 Cultivar	2016		2017		品种均值 Mean (kg·hm <sup>-2</sup> )	变异度 CV (%)
	产量 Yield (kg·hm <sup>-2</sup> )	变异度 CV (%)	产量 Yield (kg·hm <sup>-2</sup> )	变异度 CV(%)		
济谷 19 Jigu19	5117.7d	7.74	5529.9bc	9.25	5323.8bc	7.02
济谷 20 Jigu20	5914.8a	2.33	5937.1a	3.75	5926.0a	2.14
济谷 21 Jigu21	5463.9bc	4.77	5742.3ab	3.74	5603.1ab	3.83
济糯谷 2 号 Jinuogu2	5471.7bc	6.99	6070.4a	4.28	5771.0a	4.82
中谷 2 号 Zhonggu2	5630.0b	5.49	5835.2ab	8.14	5732.6a	6.74
济绿谷 1 号 Jilugu1	5741.8ab	5.36	5872.4a	5.09	5807.1a	3.15
济谷 22 Jigu22	5627.5b	2.83	6025.6a	9.54	5826.5a	5.94
豫谷 18 Yugu18	5283.3cd	9.14	5252.3c	6.13	5267.8c	7.15
均值 Mean	5531.3		5783.2		5657.2	

济谷 20 产量最高。济谷 20、济谷 21、济谷 22、济绿谷 1 号、济糯谷 2 号和中谷 2 号产量显著高于济谷 19 和豫谷 18；济谷 20、济谷 22、济绿谷 1 号、济糯谷 2 号和中谷 2 号产量差异不显著，济谷 19 和豫谷 18 产量差异不显著。

2016 年各品种产量变异度为 2.83%—9.14%，济谷 22 变异度最小，豫谷 18 变异度最大；2017 年品种变异度为 3.74%—9.54%，济谷 21 最低，济谷 22 最高。2 年 5 点综合变异度为 2.14%—7.15%，济谷 20 产量表现最好，变异度最小，稳产性好；济谷 22、济绿谷 1 号、济糯谷 2 号、中谷 2 号和济谷 21 变异较小，产量水平较高，济谷 19 和豫谷 18 变异度较大，分别为 7.02%和 7.15%。

2.4 年份、地点、品种互作对产量的影响

2016—2017 年 5 个试点 8 个品种的产量水平及差

异显著性见表 4。

2016 年济南市试点产量变幅为 4 834.9—5 285.6 kg·hm<sup>-2</sup>，8 个品种产量差异不显著。德州市试点除济谷 19 外，其他品种产量变幅 5 728.1—6 358.6 kg·hm<sup>-2</sup>，差异不显著。临沂市试点济谷 20、济绿谷 1 号、中谷 2 号产量为 5 260.0—5 641.9 kg·hm<sup>-2</sup>，差异不显著，显著高于其他 5 个品种。济宁市试点和临沂市试点类似，济谷 20、中谷 2 号和济绿谷 1 号产量差异不显著，显著高于其他品种。泰安市试点济谷 20、济谷 21、济绿谷 1 号和济谷 22 差异不显著；但显著高于济谷 19、济糯谷 2 号、中谷 2 号和豫谷 18；2016 年豫谷 18 在泰安试点谷瘟病发病严重，产量水平仅有 4 230.8 kg·hm<sup>-2</sup>，其他品种都较豫谷 18 显著增产。2016 年综合 5 个试点表现，济谷 20 和济绿谷 1 号产量显著高于其他品种。

2017 年各试点的品种表现和 2016 年有所不同。济南市试点总体各品种表现较好, 产量变幅为 5 694.5—6 518.1 kg·hm<sup>-2</sup>, 平均产量超过 6 000 kg·hm<sup>-2</sup>, 济谷 20 和济绿谷 1 号产量最高。德州市试点 8 个品种间产量变幅为 4 824.7—5 833.6 kg·hm<sup>-2</sup>, 但差异不显著, 这与部分品种发生倒伏, 小区之间产量差异较大有关。临沂市试点产量水平较 2016 年有较大的提升, 整体提高 18.5%; 其中, 中谷 2 号、济糯谷 2 号和济谷 22 表现较好, 产量显著高于其他品种。济宁市试点 8 个品种产量变幅为 6 539.2—7 092.0 kg·hm<sup>-2</sup>, 差异不显著。泰安市试点产量水平总体较低, 平均为 4 699.9 kg·hm<sup>-2</sup>, 变幅为 3 974.21—5 682.6 kg·hm<sup>-2</sup>, 济谷 22 表现最好, 2017 年泰安试点豫谷 18 谷瘟病依然严重, 产量最低。2017 年综合 5 个试点表现, 济谷 20、济糯谷 2 号、济绿谷 1 号和济谷 22 产量表现最好。

总之, 谷子生育期多雨, 病害、倒伏成为制约谷子产量的重要因素。豫谷 18 是适应性非常广的品种,

但在不同试点由于谷瘟病发病较重, 严重影响了产量。济谷 20 在 2 年 5 个试点表现总体稳定, 稳产性较好。中谷 2 号中矮秆, 抗倒性较好, 在济宁市、临沂市、德州市、济南市等试点总体表现较好。

2.5 籽粒产量和气象因子的相关性

通过对谷子产量和谷子生育期各旬段平均气温、最高气温、降水量、日照时数进行相关性分析(表 5)。产量与各旬段平均气温呈正相关, 与生育期平均气温呈显著正相关( $P<0.05$ ); 与各旬段的最高气温呈正相关。与各旬段降雨量相关性不一致, 但均不显著( $P>0.05$ ); 表现为与 6 月上旬播种前降雨量呈正相关关系, 与 6 月中下旬苗期降雨量呈负相关关系, 与 7 月上、中旬拔节孕穗阶段降雨量正相关( $P>0.05$ ), 与 7 月下旬、8 月上中旬抽穗开花期降雨量负相关( $P>0.05$ ), 与 8 月下旬、9 月份灌浆期降雨量呈正相关关系( $P>0.05$ )。籽粒产量与各旬段日照时数相关性均不显著, 而且相关系数相对较小, 相关性较弱, 日照时数可能不是山东区域内谷子产量的限制因素。

表 4 2016—2017 年 5 个试验地点各品种产量的差异

Table 4 Differences of grain yield of cultivars at different locations in 2016-2017

年份 Year	品种 Cultivar	籽粒产量 Grain yield (kg·hm <sup>-2</sup> )				
		济南市 Jinan	德州市 Dezhou	临沂市 Linyi	济宁市 Jining	泰安市 Taian
2016	济谷 19 Jigu19	4956.9±57.2a	4789.1±334.4b	4691.9±168.9bc	6111.4±156.5b	5039.1±141.9b
	济谷 20 Jigu20	5285.5±198.5a	6317.0±190.9a	5260.0±88.1ab	6967.0±346.5a	5744.7±219.7a
	济谷 21 Jigu21	5153.3±24.3a	5755.8±218.3ab	4648.8±94.8bc	6275.3±168.8b	5486.4±74.6ab
	济糯谷 2 号 Jinuogu 2	5122.5±87.9a	6358.6±219.0a	4793.3±115.5bc	5944.8±282.8b	5139.1±63.5b
	中谷 2 号 Zhonggu 2	4834.9±162.3a	5939.2±383.8a	5641.9±324.8a	6536.4±255.7ab	5197.5±210.4b
	济绿谷 1 号 Jilügu 1	4995.2±125.2a	5728.1±618.9ab	5515.6±303.5a	7030.9±132.5a	5439.2±185.1ab
	济谷 22 Jigu22	4873.7±363.0a	6117.0±122.8a	5126.6±241ab	6622.6±59.4ab	5397.5±51.0ab
	豫谷 18 Yugu18	5140.4±87.0a	6017±118.3a	4519.7±108.7c	6508.7±70.9ab	4230.8±75.2c
	均值 Mean	5045.3	5877.7	5024.7	6499.6	5209.3
2017	济谷 19 Jigu19	6297.9±292.9ab	4824.7±180.9a	5033.6±346.4c	7092.0±289.2a	4401.3±152.1bc
	济谷 20 Jigu20	6518.1±136.7a	5692.5±277.9a	5918.1±28.9b	6633.7±64.7a	4923.2±102.1abc
	济谷 21 Jigu21	6315±152.6ab	5069.2±38.8a	5933.6±77.0b	6539.2±161.3a	4854.4±102.6abc
	济糯谷 2 号 Jinuogu 2	6234.7±109.6ab	5833.6±410.6a	6518.1±279.1a	6700.3±91.8a	5065.4±210.2ab
	中谷 2 号 Zhonggu 2	5845.7±208.8ab	5253.6±467.7a	6784.8±163.6a	6911.5±407.1a	4380.4±133bc
	济绿谷 1 号 Jilügu 1	6478.2±64.0a	5606.9±405.1a	5922.5±154.4b	7036.5±173.8a	4317.9±128bc
	济谷 22 Jigu22	5694.5±291.6b	5633.6±337.9a	6544.8±40.1a	6572.5±258.8a	5682.6±232.7a
	豫谷 18 Yugu18	5714.4±245.2b	5033.6±115.7a	4966.9±134.7c	6572.6±180.8a	3974.1±371.1c
	均值 Mean	6137.3	5368.5	5952.8	6757.3	4699.9

表 5 谷子籽粒产量和各时段气象因素的相关系数  
Table 5 Correlation coefficient between grain yields and meteorological factors in different periods

月份 Month	旬段 Ten-day interval	气温 Air temperature	最高气温 Maximum temperature	降水量 Rainfall	日照时数 Sunshine hour
6 月 June	上旬 Early	0.228	0.334	0.582	-0.034
	中旬 Middle	0.324	0.467	-0.259	0.203
	下旬 Late	0.443	0.193	-0.097	-0.106
7 月 July	上旬 Early	0.378	0.139	0.548	0.158
	中旬 Middle	0.312	0.192	0.379	0.170
	下旬 Late	0.120	0.066	-0.454	-0.004
8 月 August	上旬 Early	0.370	0.281	-0.164	0.085
	中旬 Middle	0.126	0.324	-0.365	0.042
	下旬 Late	0.397	0.190	0.169	-0.164
9 月 September	上旬 Early	0.011	0.144	0.167	0.001
	中旬 Middle	0.610	0.299	0.169	0.222
	下旬 Late	0.342	0.175	0.045	0.166
平均/总 Mean/Sum		0.710*		0.142	0.170

\*和\*\*分别表示处理间差异达 5%和 1%显著水平  
\* and \*\* represent significances at 0.05 and 0.01 levels, respectively

3 讨论

3.1 品种基因型对谷子产量的影响

谷子产量性状是数量性状，产量水平是品种和环境条件综合作用的结果，除品种自身的遗传因素外，外界环境条件的变化对产量的影响较大<sup>[23-24]</sup>。本研究表明品种基因型对籽粒产量变异贡献率仅占 8.67%，而地点、地点×年份互作对产量变异贡献率分别为 50.5%和 19.76%；与外界环境条件相比，品种基因型对产量变异的贡献率相对较小，特别是气候因素的波动对谷子产量影响较大。曹玲等<sup>[19]</sup>研究表明谷子产量年际气象波动指数占实际产量变异系数的 54%—73%，这和本研究结果相似。品种是基础，外界环境条件通过品种的遗传基础发挥作用，地点×品种互作占变异的 12.32%，影响较大。因此，优异的谷子品种选择适宜的地点，才能发挥品种最大的遗传潜力。

本研究品种间产量水平差异显著，从综合表现来看，济谷 20 对各地生态条件的适应性最好，适应性最广；济谷 20、济谷 22、济绿谷 1 号、济糯谷 2 号和中谷 2 号 2 年平均产量差异不显著，稳定性较好，且显著高于豫谷 18 和济谷 19。豫谷 18 作为一个适应性较好的品种，先后通过华北夏谷区鉴定、

西北春谷区、东北春谷区区域试验<sup>[25]</sup>，目前仍作为华北夏谷联合鉴定试验的对照品种。本研究中豫谷 18 在各试点谷瘟病较重，产量相对较低，不排除种性退化、抗性降低的原因，其他品种多是近两年鉴定登记的品种，育成品种的产量水平有所提高是另一方面的原因。

近年来，随着豫谷 18、中谷 2 号等中矮秆品种的育成，谷子抗倒性有了较大进步，谷子抗病性，尤其是谷瘟病成为谷子产量水平的重要限制因素。选育抗倒性好、抗病突出，尤其是抗谷瘟病的品种，成为夏谷区近一个阶段谷子丰产、稳产的重要保证。

3.2 气象因素的变化和谷子产量的相关性

本研究表明山东区域内谷子籽粒产量和生育期平均气温显著正相关 ( $P<0.05$ )，说明在一定的气温范围内，平均气温的升高有利于籽粒产量的积累，这和曹玲等<sup>[19]</sup>对甘肃省旱作区和绿洲灌区谷子产量和气温变化的研究结果基本一致。

谷子产量与 6 月上旬播种前降雨量呈正相关关系，与 6 月中、下旬苗期降雨量呈负相关关系，与 7 月下旬、8 月上中旬抽穗开花期降雨量呈负相关关系，与 8 月下旬、9 月份降雨量呈正相关关系。这种相关性基本与谷子生育期需水规律相契合。播种前墒情好有利于苗全、苗齐、苗壮，为丰产奠定良好基础；幼



苗期需水量较少,耐旱性最强,适度干旱有利于根系下扎,农谚中就有:“小苗旱个死,老来一肚籽”的说法;苗期雨水过多,不利于形成壮苗;谷子拔节到抽穗开花(7月上旬—8月中旬)是需水量最多的阶段,此期占全生育期需水总量的 50%—70%;而抽穗开花期雨水较多、光照不足将影响开花授精,对产量形成负面影响。谷子从灌浆到成熟(8月下旬—9月下旬)需水占全生育期需水总量的 30%—40%,此期是决定粒重和穗重的关键时期,如遇干旱,会使秕谷增多,粒重降低,若遇秋涝,光照不足,会增加不育小花数,降低结实率<sup>[26]</sup>。这说明不同生态条件下,而降雨量大小和时间分布与谷子生育进度需水要求是否吻合,成为影响谷子产量重要的气象因素。

本研究中谷子产量与日照时数相关性均不显著,而且相关系数较小,相关性较弱,说明日照时数可能不是山东省区域内谷子产量的限制因子,而气温和降水是影响山东区域谷子产量的重要气象因素。因此,加强农田基本建设,在谷子的需水敏感期,做到旱能浇、涝能排,确保谷子丰产稳产。

### 3.3 不同年份气候因素差异对试点谷子产量的影响

研究表明不同年份各试点谷子产量差异显著,济南市、临沂市试点 2016 年产量比 2017 年分别低 21.64%和 18.47%。年际间气候因子的差异会对作物产量产生显著影响<sup>[27]</sup>,不同年份谷子生育期内气候因素的差异可能是造成谷子产量差异的重要原因。吴国忠<sup>[28]</sup>研究认为旱作区在干旱少雨的情况下,平均气温、降雨量和谷子产量呈正相关关系;刘猛等<sup>[17]</sup>和肖成海等<sup>[29]</sup>研究表明在一定范围内,谷子产量和降雨量正相关,超过一定范围谷子产量和降雨量负相关;其他作物也有类似研究结果<sup>[8]</sup>。本研究中各试点除平均气温升高因素外,降水量和降水分布对谷子产量可能影响较大。

济南市试点 2016 年谷子生育期内降雨量为 821.8 mm,比 2017 年多 390.6 mm。2016 年济南市试点 7 月下旬、8 月上旬和中旬谷子孕穗至开花期间,降雨量分别为 83.9、209.0 和 181.7 mm,分别比常年平均多 32.3%、187.5%和 194.0%。大量降雨造成土壤黏湿、透气性差,空气湿度大,对谷子生长、开花授粉极为不利,而且阴雨天造成部分品种倒伏,病害严重,这可能是 2016 年济南市试点产量水平较低的主要原因。2017 年济南市试点产量平均超过 6 000 kg·km<sup>-2</sup>,7 月下旬、8 月上旬和中旬降雨量分别为 91.6、52.7 和 73.7 mm,比常年平均多 54.2%、-27.5%

和 19.3%,谷子抽穗、开花期降雨相对适中,而且 8 月下旬、9 月上旬和中旬降雨较少,谷子灌浆期光照充足,这可能是 2017 年济南试点产量水平较高的主要原因。

临沂市试验点 2016 年谷子生育期降雨量为 456.2 mm,2017 年降雨量为 663.0 mm,2017 年比 2016 年降雨量多 206.8 mm,而且降雨时间分布差异较大;2016 年临沂试点降雨量 6 月上、中、下旬降雨量分别为 4.1、97.9 和 76.9 mm,而 2017 年 6 月上、中、下分别为 25.4、0 和 15.4 mm。2016 年 6 月中、下旬降雨明显偏多,苗期受到涝害形成弱苗可能是 2016 年临沂试点谷子产量较低的原因。2017 年尽管降雨量较大,但是主要集中在 7 月上旬和中旬,这时谷子处于拔节-抽穗阶段,谷子产生大量气生根,耐涝能力相对较强,而且试验田排水及时,没有造成涝害,其他时段基本适合谷子生长。德州市试点 2016 年谷子产量比 2017 年高 8.66%。谷子生育期德州市试点 2016 年降雨量 402.2 mm,2017 年为 374.5 mm,2017 年谷子生育期降雨量不足可能是影响谷子产量的重要原因。而且 7 月—8 月上旬拔节至开花是谷子一生需水量最大的时候,这个时期水量不足严重影响谷子产量,而德州市试点 2017 年这一时期降雨明显偏少,7 月份 69.4 mm,8 月上旬 20.2 mm。

泰安市试点 2016 年谷子产量比 2017 年高 9.78%。考察 2 年的气象因素,2016 年平均气温高于 2017 年 0.4℃,另外一个原因可能是泰安试点谷子生育期内降雨的时间分布。2017 年 8 月中旬至 9 月中旬降雨量偏少,只有 61.8 mm,尤其 9 月份只有 11.5 mm,谷子抽穗开花、灌浆是谷子需水最多的关键时期,降雨不足可能是造成产量较低的另一个原因。

济宁市试点 2 年的产量仅相差 3.96%,差异较小。

总之,一地的气候条件相对稳定,但具体年份之间存在较大差异,尤其是降水量和降水时间分布,属于不可控因素。短时间内的暴雨往往伴随着大风等灾害性天气,极易造成谷子倒伏;降雨多、湿度大、日照时间短也容易引起谷子病害的发生。异常气候因素会对作物生长产生重要影响<sup>[30]</sup>,何继红等<sup>[31]</sup>研究表明谷子产量变幅较大与其任何一个生育阶段的极端降雨及气温变化密切相关。

山东省谷子主产区主要是旱作雨养区,同一地点不同年份谷子产量存在较大差异,说明产量水平极易受到气候因素等外界环境条件的影响。当然谷子产量



差异不仅包含了年份、地点之间气候因素的差异,而且土壤质地、肥力、栽培管理水平等都会影响谷子的产量水平,具体尚需进一步研究。

## 4 结 论

年份、地点、品种、地点×年份和地点×品种等因素对谷子产量影响较大;不同年份、不同地点的气温和降水是影响谷子产量差异的重要原因;生育期内平均气温升高有利于谷子产量的提高;不同年份之间降水量的变化及降水时间分布的差异对谷子产量影响较大;苗期、抽穗开花期过量降雨对谷子产量有不利影响。谷子产量是品种基因型和生态环境因素综合作用的结果,济谷 20、济谷 22、济绿谷 1 号、济糯谷 2 号、中谷 2 号等品种在山东地区不同生态条件下有较好的丰产性和稳定性。

## References

- [1] 李世景, 徐萍, 张正斌, 卫云宗. 黄淮旱地冬小麦农艺性状与生育期气象因子的时空分布特征及互作关系. *中国农业科学*, 2019, 52(10): 1686-1697.  
LI S J, XU P, ZHANG Z B, WEI Y Z. Spatial-temporal distribution characteristic and interaction between agronomic traits of winter wheat and precipitation of growth period in Huang-Huai dry land. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(10): 1686-1697. (in Chinese)
- [2] 凌霄霞, 张作林, 翟景秋, 叶树春, 黄见良. 气候变化对中国水稻生产的影响研究进展. *作物学报*, 2019, 45(3): 323-334.  
LING X X, ZHANG Z L, ZHAI J Q, YE S C, HUANG J L. A review for impacts of climate change on rice production in China. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(3): 323-334. (in Chinese)
- [3] 尚艳, 赵鸿, 柴守玺. 气候变化与品种更新对黄土高原半干旱雨养农业区冬小麦的影响. *干旱地区农业研究*, 2017, 35(5): 66-72.  
SHANG Y, ZHAO H, CHAI S X. Effects of climate change and cultivars change on winter wheat in semi-arid region of loess plateau in northeast China. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(5): 66-72. (in Chinese)
- [4] BATOOL N, SHAH S A, DAR S N, SKINDER S. Rainfall variability and dynamics of cropping pattern in Kashmir Himalayas: A case study of climate change and agriculture. *SN Applied Sciences*, 2019, 1(6): 1-9.
- [5] 孙特生, 李波, 张新时. 内蒙古皇甫川流域作物生长期气候旬变异特征及其对作物产量效应分析. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(3): 184-192.  
SUN T S, LI B, ZHANG X S. Analysis of climate variability in ten-day scale during crop growing season and its effect on crop yield in Huangfuchuan Basin of Inner Mongolia. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2012, 30(3): 184-192. (in Chinese)
- [6] 王亚飞, 廖顺宝. 气候变化对粮食产量影响的研究方法综述. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(12): 54-63.  
WANG Y F, LIAO S B. Impacts of climate change on grain yield: A review of research methods. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(12): 54-63. (in Chinese)
- [7] 邓振镛, 王强, 张强, 倾继祖, 杨启国, 袁志鹏, 刘文婧, 徐金芳. 中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施. *生态学报*, 2010, 30(22): 6278-6288.  
DENG Z Y, WANG Q, ZHANG Q, QING J Z, YANG Q G, YUAN Z P, LIU W J, XU J F. Impact of climate warming and drying on food crops in northern China and the counter measures. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(22): 6278-6288. (in Chinese)
- [8] 陆伟婷, 于欢, 曹胜男, 陈长青. 近 20 年黄淮海地区气候变暖对夏玉米生育进程及产量的影响. *中国农业科学*, 2015, 48(16): 3132-3145.  
LU W T, YU H, CAO S N, CHEN C Q. Effects of climate warming on growth process and yield of summer maize in Huang-Huai-Hai plain in last 20 years. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(16): 3132-3145. (in Chinese)
- [9] AGGARWAL P, VYAS S, THORNTON P, CAMPBELL B M, KROPFF M. Importance of considering technology growth in impact assessments of climate change on agriculture. *Global Food Security*, 2019, 23: 41-48.
- [10] SCHILLERBERG T A, TIAN D, MIAO R. Spatio-temporal patterns of maize and winter wheat yields in the United States: Predictability and impact from climate oscillations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019, 27(5): 208-222.
- [11] HERNANDEZ-OCCHOA I M, PEQUENO D N L, REYNOLDS M, BABAR M A, SONDER K, MILAN A M, HOOGENBOOM G, ROBERTSON R, GERBER S, ROWLAND D L, FRAISSE C W, ASSENG S. Adapting irrigated and rainfed wheat to climate change in semi-arid environments: Management, breeding options and land use change. *European Journal of Agronomy*, 2019, 109(125915): 1-11.
- [12] YANG X Y, WAN Z W, PERRY L, LU H Y, WANG Q, ZHAO C H, LI J, XIE F, YU J C, CUI T X, WANG T, LI M Q, GE Q S. Early millet use in northern China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(10): 3726-3730.
- [13] 刁现民. 中国谷子产业与未来发展//刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 20-30.

- DIAO X M. Current status of foxtail millet production in China and future development direction//DIAO X M. ed. *Foxtail Millet Production and Research System in China*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2011: 20-30. (in Chinese)
- [14] 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. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4469-4474.
- DIAO X M, CHENG R H. Current breeding situation of foxtail millet and common millet in china as revealed by exploitation of 15 years regional adaptation test data. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(23): 4469-4474. (in Chinese)
- [15] 何少斌, 王殿瀛, 郭桂兰. 谷子产量与气象条件的关系. 山西农业科学, 1985(5): 5-7+9.
- HE S B, WANG D Y, GUO G L. Relationship between grain yield and meteorological conditions. *Shanxi Agricultural Sciences*, 1985(5): 5-7+9. (in Chinese)
- [16] 刘猛, 刘斐, 夏雪岩, 宋世佳, 王慧军, 李顺国, 张德荣: 自然降雨与旱地谷子单产水平关系研究——以武安市为例. 中国农业资源与区划, 2016, 37(9): 48-52.
- LIU M, LIU F, XIA X Y, SONG S J, WANG H J, LI S G, ZHANG D R. Relationship between natural rainfall and yield of dry foxtail millet-taking Wu'an city for example. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(9): 48-52. (in Chinese)
- [17] 郭天财, 李春喜, 贾绪初. 济源县夏谷产量与气象要素关系的统计分析, 河南农业大学学报, 1988, 22(1): 49-57.
- GUO T C, LI C X, JIA X C. The statistical analysis for the relationship between the yield of summer millet and the primary meteorological factors in Jiyuan county Henan province. *Acta Agricultural Universitatis Henanensis*, 1988, 22(1): 49-57. (in Chinese)
- [18] 张荣, 班胜林, 冯艳霞, 侯润兰, 张雪梅. 大同市近 50 年谷子产量与气象条件关系分析. 陕西气象, 2013(1): 26-29.
- ZHANG R, BAN S L, FENG Y X, HOU R L, ZHANG X M. Relationship between the yield of foxtail millet and meteorological conditions in Datong city in recent 50 years, *Journal of Shaanxi Meteorology*, 2013(1): 26-29. (in Chinese)
- [19] 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. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2931-2937.
- CAO L, WANG Q, DENG Z Y, GUO X Q, MA X X, NING H F. Effects of climate warming and drying on millet yield in Gansu province and related counter-measures. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(11): 2931-2937. (in Chinese)
- [20] 张婷, 师志刚, 王根平, 高翔, 夏雪岩, 杨伟红, 张喜瑞, 田晓建, 程汝宏, 刁现民. 华北夏谷区 2001-2015 年谷子育种变化, 中国农业科学, 2017, 50(23): 4475-4485.
- ZHANG T, SHI Z G, WANG G P, GAO X, XIA X Y, YANG W H, ZHANG X R, TIAN X J, CHENG R H, DIAO X M. The alterations of foxtail millet breeding in north China summer-sowing region from 2001 to 2015. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(23): 4475-4485. (in Chinese)
- [21] 李志江, 马金丰, 李延东, 李祥羽, 刁现民, 张婷. 东北春谷区近年来谷子育成品种的评价, 中国农业科学, 2017, 50(23): 4507-4516.
- LI Z J, MA J F, LI Y D, LI X Y, DIAO X M, ZHANG T. Evaluation of foxtail millet cultivars developed in northeast China spring-sowing region in recent years. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(23): 4507-4516. (in Chinese)
- [22] 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, 核农学报, 2018, 32(1): 165-176.
- LI G Y, CONG X J, CHEN E Y, SHEN Q, YAN L M, ZOU R F, LI N, GUAN Y A. Effect of accumulated temperature and precipitation on growth of summer-sowing foxtail millet. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32(1): 165-176. (in Chinese)
- [23] FANG X, DONG K, WANG X, LIU T, HE J, REN R, ZHANG L, LIU R, LIU X, LI M, HUANG M, ZHANG Z, YANG T. A high density genetic map and QTL for agronomic and yield traits in foxtail millet [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.]. *BMC Genomics*, 2016, 17: 336.
- [24] 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. 作物杂志, 2002, 5: 43-44.
- HANG Y J, ZHANG Y. The stability analysis to yield and yield components of foxtail millet. *Crops*, 2002, 5: 43-44. (in Chinese)
- [25] 刘金荣, 刘海萍, 宋中强, 王淑君, 路志国, 闫宏山, 王素英, 蒋自可, 李冬花. 豫谷 18 在华北、西北、东北国家谷子区试种植表现和栽培要点. 农业科技通讯—粮食作物, 2013, 6: 202-203.
- LIU J R, LIU H P, SONG Z Q, WANG S J, LU Z G, YAN H S, WANG S Y, JIANG Z K, LI D H. Experimental planting performance and cultivation key points of Yugu18 in region of north China, northwest China and northeast China. *Agricultural Science and Technology Newsletter -Crops*, 2013, 6: 202-203. (in Chinese)
- [26] 山西农业科学院. 中国谷子栽培学, 北京: 中国农业出版社, 1987: 63-71.
- Shanxi Academy of Agricultural Sciences. *Chinese Foxtail Millet Cultivation*. Beijing: China Agricultural Press, 1987: 63-71. (in

- Chinese)
- [27] 安盼盼, 明博, 董朋飞, 张秒, 黄大召, 赵亚丽, 李潮海. 黄淮南部玉米产量对气候生态条件的响应, 作物学报, 2018, 44(3): 442-453.
- AN P P, MING B, DONG P F, ZHANG M, HUANG D Z, ZHAO Y L, LI C H. Response of maize (*Zea mays* L.) yield to climatic ecological condition on the south Huang-Huai rivers plain. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(3): 442-453. (in Chinese)
- [28] 吴国忠. 干旱地区雨量等气象因素的变化对谷子产量的影响, 甘肃农业科技, 1984(5): 21-23.
- WU G Z. Effects of rainfall and other meteorological factors on grain yield of foxtail millet in arid regions, *Gansu Agricultural Science and Technology*, 1984(5): 21-23. (in Chinese)
- [29] 肖成海, 李仁崑. 不同降水量对谷子产量影响的初探, 北京农业, 2009, 18: 8-10.
- XIAO C H, LI R K. Influence of different precipitation on foxtail millet yield. *Beijing Journal of Agriculture*, 2009, 18: 8-10. (in Chinese)
- Chinese)
- [30] 张翠英, 林坤, 李思同. 异常气候对鲁西南冬小麦生产的影响, 中国农业资源与区划, 2018, 39(7): 1-7.
- ZHANG C Y, LIN K, LI S T. Influence of abnormal climate on winter wheat production in southwest Shandong province of China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(7): 1-7. (in Chinese)
- [31] 何继红, 刘天鹏, 董孔军, 任瑞玉, 张磊, 杨天育. 干旱半干旱区谷子多点试验产量及农艺性状的变化特征, 西北农业学报, 2019, 28(4): 546-556.
- HE J H, LIU T P, DONG K J, REN R Y, ZHANG L, YANG T Y. Characteristics of yield and agronomic traits of foxtail millet under multi-environment experiment in arid and semi-arid areas. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2019, 28(4): 546-556. (in Chinese)

(责任编辑 李莉)