



秦岭, 陈国秋, 陈二影, 黎飞飞, 杨延兵, 张会笛, 刘振宇, 管延安. 不同生态环境对谷子营养品质和淀粉特性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(05): 28-39.
QIN ling, CHEN Guoqiu, CHEN Erying, LI Feifei, YANG Yanbing, ZHANG Huidi, Liu Zhenyu, GUAN Yanan. Effects of different ecological environments on the nutritional quality and starch characteristics of foxtail millet[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(05): 28-39.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.05.03

不同生态环境对谷子营养品质和淀粉特性的影响

秦岭¹ 陈国秋² 陈二影¹ 黎飞飞¹ 杨延兵¹ 张会笛¹ 刘振宇¹ 管延安^{1*}

(1. 山东省农业科学院作物研究所/特色杂粮作物山东省工程研究中心, 济南 250100;

2. 辽宁省旱地农林研究所, 辽宁 朝阳 122000)

摘要 为明确不同生态环境对华北夏谷区育成谷子品种营养成分及淀粉特性的影响, 选用9个夏谷区代表性谷子品种, 在辽宁朝阳、山东济南和海南三亚3个生态点种植, 测定不同生态环境下谷子营养成分含量以及小米淀粉特性指标。结果表明: 谷子营养成分含量在品种间、地点间以及交互间的差异均达到极显著水平。粗蛋白含量由高到低表现为朝阳>济南>三亚, 呈现随纬度升高而增大的趋势。粗脂肪含量由高到低表现为三亚>济南>朝阳, 呈现随纬度的升高而逐渐减小的趋势。济南试点的类胡萝卜素含量最高, 与其他2个试点差异显著。总淀粉含量济南试点最高, 随纬度变化规律不明显; 直链淀粉含量由高到低表现为三亚>济南>朝阳, 呈现随纬度的升高而逐渐减小的趋势; 朝阳试点的淀粉支直比最高, 趋势与直链淀粉表现相反。种植地点对淀粉RVA谱的7项特征值均存在极显著影响; 品种、地点×品种对峰值时间的影响均未达到显著水平。热浆粘度、最终粘度以及消减值由高到低均表现为三亚>济南>朝阳, 呈现随纬度的增加而降低的趋势。崩解值以及峰值粘度均以山东济南最高, 随纬度变化规律不明显。种植地点和品种对谷子营养成分含量以及淀粉RVA谱特征值均有显著影响; 种植地点对谷子蛋白质、脂肪、淀粉以及类胡萝卜素含量的影响都较大。高纬度有利于蛋白质的积累, 而脂肪含量则随纬度的增加而降低。综上所述, 谷子营养品质和淀粉特性受生态环境影响较大, 因此, 可以根据不同纬度谷子的营养及食味品质不同的特性筛选出适宜特定地区种植的优良谷子品种, 便于划分各优质谷子品种的产区。

关键词 谷子; 营养成分; RVA谱; 纬度

中图分类号 S515

文章编号 1007-4333(2024)05-0028-12

文献标志码 A

Effects of different ecological environments on the nutritional quality and starch characteristics of foxtail millet

QIN Ling¹, CHEN Guoqiu², CHEN Erying¹, LI Feifei¹, YANG Yanbing¹, ZHANG Huidi¹,
LIU Zhenyu¹, GUAN Yan'an^{1*}

(1. Crop Research Institute/Shandong Provincial Engineering Research Center for Featured Minor Crops, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

2. Liaoning Institute of Dryland Agriculture and Forestry in Arid Areas, Chaoyang 122000, China)

Abstract To clarify the influence of different ecological environments on the nutritional composition and starch characteristics of foxtail millet in the summer-sowing region of North China, nine foxtail millet varieties were selected as materials, and the changes of nutrient content and their effects on starch characteristics were studied at three different ecological environments in Chaoyang, Liaoning Province, Jinan, Shandong

收稿日期: 2023-12-04

基金项目: 山东省农业良种工程(2021LZGC006); 国家现代农业产业技术体系(CARS-06-14.5-A19); 山东省现代农业产业技术体系创新团队专项(SDAIT-15-03); 国家自然科学基金(32301916)

第一作者: 秦岭(0000-0001-6991-4757), 副研究员, 主要从事谷子栽培生理研究, E-mail: qinling1021@163.com

通讯作者: 管延安(0000-0002-4411-5534), 研究员, 主要从事谷子遗传育种研究, E-mail: Yguan65@163.com

Province and Sanya, Hainan Province. The results indicated that there were significant differences in the nutrient content among varieties, environments and interactions. The crude protein content was the highest in Chaoyang, followed by Jinan and Sanya, showing an increasing trend with the increasing of latitude. The order of crude fat content from large to small was Sanya >Jinan >Chaoyang, showing a trend of decreasing with the increasing of latitude. The total starch content was the highest in Jinan, and the variation with latitude was not obvious. The order of amylose content from large to small was Sanya >Jinan >Chaoyang, showing a decreasing trend with the increase of latitude; The ratio of amylopectin to amylose was the highest in Chaoyang, and the trend was opposite to amylose. The carotenoid content was the highest in Jinan, which was significantly different compared with the other two sites. The 7 characteristic values of starch RVA spectrum were significantly affected by the planting environment. The influence of variety, location and variety interaction on peak time was not significant. The viscosity, final viscosity and subtractive value of thermo plasma were Sanya > Jinan > Chaoyang, showing a decreasing trend with the increase of latitude. The disintegration value and peak viscosity were the highest in Jinan of Shandong Province. The planting environment and variety displayed significant effects on the nutrient content and the characteristic value of starch RVA spectrum of millet. The cultivation environment significantly influenced the content of protein, fat, starch and carotenoid in foxtail millet. High latitude was beneficial to the accumulation of protein, while fat content decreased with the increase of latitude. In conclusion, the nutritional quality and starch characteristics of foxtail millet are greatly influenced by environmental effects. Therefore, according to the different characteristics of nutrition and taste quality of foxtail millet at different latitudes, the optimal variety suitable for planting in specific areas can be selected, and the producing areas of each high-quality varieties can be easily identified.

Keywords foxtail millet; nutrient composition; RVA spectrum; latitude

谷子是世界上最古老的栽培作物之一,也是新兴的C₄模式作物^[1-2],原产于我国北方,种植历史悠久。具有抗旱耐瘠、适应性广的特点,从热带到亚热带、低海拔到高海拔均有种植^[3]。谷子属于短日照作物,对生态条件(光照、温度等)反应敏感,同一品种在不同地域和栽培模式下产量和品质存在很大的差异。谷子去壳后为小米,富含人体所必须的多种营养成分,主要包括淀粉、蛋白质、脂肪、维生素和矿物质等,并且脂肪、粗纤维、维生素B的含量显著高于小麦和大米^[4]。随着人们多元化健康饮食观念的增强,谷子因其营养丰富、物质均衡成为最受欢迎的杂粮之一^[5],品质优良的小米已成为谷子科研和产业发展的目标。生态条件是影响小米品质的重要因素,不合理的种植区域可能导致优质品种不能发挥其品种优势。因此明确生态条件对品质的影响,对于服务产业及指导优质小米品种产区划分具有重要的现实意义。

作物品质主要包括商品品质(外观品质、蒸煮品质以及食味品质)、加工品质以及营养品质等^[6-7],基因型和环境影响作物生长发育及品质,种植在不同生态条件下的作物品质存在差异^[8]。已有研究表明不同谷子品种淀粉^[9-10]和蛋白质^[11]特性均不同。

李星等^[12]对陕西、山西、河北等地地的15个品种的小米品质特性进行分析发现,蛋白质和淀粉含量均存在显著差异,而水分和脂肪含量差异不显著。Sun等^[5]比较了90个来自不同生态区的谷子品质指标发现,品质与地域密切相关。不同收获时期的谷子籽粒脂肪酸组成和含量也不同^[13]。Liang等^[14]研究发现,与传统种植条件相比,有机种植提高了谷子果糖和葡萄糖含量。

生态环境对作物品质影响显著^[15-16],主要是由气温、降水量、日照时数等生态因子的差异造成^[10,17]。Graziano等^[16]研究表明,小麦灌浆期降雨量偏多使籽粒谷蛋白含量降低。光照、温度和湿度均可显著影响大米的碾米、营养以及蒸煮品质^[17-18]。海拔、降雨、积温均在一定程度上影响谷子的营养品质,蛋白质和脂肪含量随着海拔以及纬度的增高而增加^[19-20],而积温与籽粒中蛋白质和脂肪呈高度负相关^[21]。目前,有关生态条件对谷子产量和品质影响的研究主要集中于纬度跨度较小的同一省内不同地点,而跨区域大纬度对谷子营养品质和淀粉特性等影响的研究鲜见报道。本研究选择9个华北夏谷区主栽品种在纬度跨度较大的海南三亚、山东济南和辽宁朝阳3个不同地点,测定3种不同生态条件

下谷子的主要营养成分含量以及淀粉加工特性等指标,旨在探究大跨度纬度生态环境对小米品质的影响,以期为优质谷子品种的合理布局提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

选取9个华北夏谷区具有代表性谷子品种,分别是山东省农业科学院作物研究所选育的‘济矮1’‘济谷20’‘济谷21’‘济谷22’;河北省农林科学院谷子研究所选育的‘冀谷39’‘冀谷42’;安阳市农业科学院选育的‘豫谷35’和沧州市农林科学院选育的‘沧谷3号’。

1.2 试验设计

自南向北选择纬度跨度较大的3个试验地点,分别为海南省三亚市崖城区山东省农业科学院南繁基地(108.56°E,18.09°N,海拔11m)、山东省农业科学院

作物研究所济南基地(117.09°E,36.71°N,海拔24m)、辽宁省朝阳市辽宁省旱地农林研究所试验基地(122.25°E,41.12°N,海拔168m)。试验地土壤养分状况见表1,气候条件见表2。三亚试验点于2019年11月下旬种植,2020年2月下旬收获;朝阳试验点2020年5月中旬播种,9月中旬收获。济南试验点2020年6月中旬播种,9月下旬收获。各试点试验都为3次重复,随机区组排列。三亚试点4m行长6行区,行距30cm;济南试点5m行长6行区,行距50cm;朝阳试点5m行长6行区,行距60cm。谷子成熟后,各试验点统一取样。取样后在室温下保存3个月,待其理化性质趋于稳定后,使用砉谷机脱壳碾成糙米,旋风磨粉碎后过100目筛,进行品质指标测定。品质指标(粗蛋白及粗脂肪、总淀粉、直链淀粉、支链淀粉、类胡萝卜素含量及淀粉RVA谱特征值)测定的由上海三季生物科技有限公司完成。

表1 各试验点土壤理化性质

Table 1 Soil conditions of each test location

地点 Location	有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total N	碱解氮/(mg/kg) Available N	速效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K	pH
朝阳 Chaoyang	13.58	0.98	66.11	28.96	329.52	7.82
济南 Jinan	9.65	1.02	78.12	20.10	259.43	8.02
三亚 Sanya	10.56	0.89	75.16	86.83	339.00	7.09

表2 各试验点气候条件

Table 2 Climatic conditions of each test location

地点 Location	月份 Month	日照时长/h Sunshine hour	气温/°C Temperature	降雨量/mm Rainfall	土壤类型 Soil types	纬度(N)/° Latitude
朝阳 Chaoyang	5	329.3	18.4	56.2	壤土	41.12
	6	363.3	24.3	35.2		
	7	360.6	25.9	67.0		
	8	324.9	25.0	154.5		
	9	277.4	18.2	69.1		
济南 Jinan	6	318.5	26.3	80.7	壤土	36.71
	7	318.8	25.1	75.7		
	8	263.6	26.5	248.5		
	9	226.9	16.0	35.5		
三亚 Sanya	11	188.6	24.6	43.3	砂土	18.09
	12	187.4	22.0	2.1		
	1	192.1	22.2	3.9		
	2	178.0	22.8	1.3		

1.3 数据统计

采用Excel 2013软件进行数据汇总,Mini Tab软件进行方差分析和多重比较(LSD)。

2 结果与分析

2.1 生态环境及品种对谷子营养组分含量的影响

2.1.1 生态环境、品种对谷子营养组分含量的主效和互作效应

由表3可知,地点、品种以及地点×品种对谷子粗蛋白、粗脂肪、类胡萝卜素、总淀粉、直链淀粉、支链淀粉含量和淀粉支直比均存在极显著影响。从F来看,所有品质指标均表现为地点效应远大于品种效应和地点×品种互作效应,表明种植地点的生态条件是决定谷子蛋白、脂肪、淀粉以及类胡萝卜素含量的关键因素。

2.1.2 不同生态条件对谷子营养组分含量的影响

由表4可知,不同谷子品种小米粗蛋白、粗脂

肪、类胡萝卜素、总淀粉、直链淀粉、支链淀粉含量以及支直比差异显著($P < 0.05$)。粗蛋白含量最高的是‘济矮1’,含量为12.00 g/100 g,最低的是‘济谷20’,含量为10.42 g/100 g。粗脂肪含量最高的是‘济谷20’,为3.84 g/100 g,最低的是‘济谷21’和‘济谷22’,均为3.21 g/100 g。类胡萝卜素含量最高的是‘济谷21’,最低的是白米品种‘济谷23’,说明籽粒类胡萝卜素含量与小米颜色呈显著正相关($P < 0.05$)。‘豫谷35’和‘冀谷42’的总淀粉含量均较高,分别为70.37和70.18 g/100 g,与其他品种均差异显著,最低的是‘济谷22’,为64.04 g/100 g。直链淀粉含量最高的是‘济谷21’,为18.00 g/100 g,支链淀粉含量较高的是‘济谷23’‘豫谷35’和‘冀谷42’。淀粉支直比最高的是‘济谷23’,为3.33,比值最低的是‘济谷21’,为2.74。各营养成分的变异度为6.04%~38.65%,直链淀粉的变异度最小,类胡萝卜素的变异度最大(表4)。

表3 谷子籽粒品质性状多因素方差分析(F)

Table 3 Combination analysis of variance of quality traits by F

因素 Factor	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	类胡萝卜素 Carotenoid	总淀粉 Starch	直链淀粉 Amylose	支链淀粉 Amylopectin	淀粉支直比 Amylopectin/ amylose ratio
地点 Location	244.46**	190.53**	421.40**	261.17**	45.75**	266.79**	143.29**
品种 Variety	109.63**	14.57**	282.38**	102.16**	39.11**	68.04**	33.68**
地点×品种 Location × Variety	72.57**	7.28**	21.80**	173.19**	23.24**	112.79**	29.74**

注:*和**分别表示处理间差异达5%和1%显著水平,下同。

Note: * and ** represent significances at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

由表5可知,不同品种的营养品质在不同地点表现不一致,相同品种在不同地点的品质指标存在差异。粗蛋白含量除‘冀谷39’在3个种植地点无显著差异外,其他品种在不同纬度的试点差异均达显著水平。除‘济矮1’和‘豫谷35’外其他品种粗蛋白含量均随纬度的增加而增大。除‘冀谷39’粗脂肪含量济南试点略高于三亚试点,但差异不显著,其他品种粗脂肪含量均以三亚试点

最高。总淀粉含量 < 60 g/100 g的品种只有1个,是济南试点的‘济谷22’,而含量最高的是济南试点的‘冀谷42’,比‘济谷22’高34.45%。大部分品种支链淀粉含量以低纬度的三亚试点最低,而直链淀粉大部分品种在三亚试点的含量最高。类胡萝卜素含量各品种间差异较大,最高的是朝阳试点的‘济谷21’,3个试点均是白米品种‘济谷23’最低。

表4 不同品种谷子的营养成分含量差异及变异度

Table 4 Differences and CVs of quality traits of different varieties

品种 Variety	粗蛋白/ (g/100 g) Crude protein	粗脂肪/ (g/100 g) Crude fat	类胡萝卜素/ (mg/100 g) Carotenoid	总淀粉/ (g/100 g) Total starch	直链淀粉/ (g/100 g) Amylose	支链淀粉/ (g/100 g) Amylopectin	淀粉支直比 Amylopectin/ amylose ratio
济谷 20 Jigu 20	10.42±1.89 ef	3.84±0.34 a	0.67±0.16 d	65.39±2.07 d	16.85±0.36 c	48.54±2.31 d	2.88±0.19 e
济谷 21 Jigu 21	10.78±0.26 d	3.21±0.53 cde	0.84±0.29 a	67.24±5.49 c	18.00±0.75 a	49.24±5.32 bcd	2.74±0.29 f
济谷 22 Jigu 22	11.07±0.97 c	3.21±0.75 cde	0.65±0.13 d	64.04±5.94 e	15.80±0.94 d	48.24±6.03 d	3.06±0.46 bc
济谷 23 Jigu 23	10.92±1.38 cd	3.19±0.65 de	0.16±0.03 f	69.14±3.21 b	16.09±1.38 d	53.05±4.53 a	3.33±0.59 a
豫谷 35 Yugu 35	10.37±0.40 f	3.08±0.64 e	0.74±0.14 bc	70.37±4.69 a	17.58±1.01 b	52.79±4.50 a	3.01±0.30 bcd
冀谷 39 Jigu 39	11.74±0.16 ab	3.55±0.58 ab	0.68±0.19 cd	67.16±3.54 c	17.19±0.39 bc	49.97±3.60 bc	2.91±0.23 de
冀谷 42 Jigu 42	11.54±0.64 b	3.41±0.84 bcd	0.80±0.21 a	70.18±6.57 a	17.06±0.67 bc	53.12±5.95 a	3.11±0.24 b
济矮 1 Jiai 1	12.00±0.55 a	3.66±0.67 ab	0.47±0.11 e	66.15±3.38 d	17.25±1.35 bc	48.90±2.43 cd	2.84±0.19 ef
沧谷 3 Canggu 3	10.67±0.51 de	3.52±0.22 bc	0.78±0.20 ab	66.88±7.00 c	17.04±1.08 bc	49.84±6.10 b	2.92±0.23 cde
变异度/% CV	8.59	16.49	38.65	6.80	6.04	8.59	10.78

注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异达5%显著水平。下同。

Note: Means of values followed by different small letters in the same column mean significant difference at 0.05 level. The same below.

表5 3个试验点各品种品质性状的差异

Table 5 Differences in quality traits of different foxtail millet varieties at 3 locations

品种 Variety	地点 Location	粗蛋白/ (g/100 g) Crude protein	粗脂肪/ (g/100 g) Crude fat	总淀粉/ (g/100 g) Total starch	直链淀粉/ (g/100 g) Amylose	支链淀粉/ (g/100 g) Amylopectin	淀粉支直比 amylose ratio	类胡萝卜素 /(mg/kg) Carotenoid
	三亚 Sanya	8.47±0.42 c	4.24±0.21 a	64.02±0.04 b	17.22±0.18 a	46.81±0.20 b	2.72±0.04 c	5.20±0.10 c
济谷 20 Jigu 20	济南 Jinan	10.57±0.19 b	3.69±0.32 ab	67.72±0.35 a	16.62±0.11 b	51.10±0.46 a	3.07±0.05 a	8.36±0.20 a
	朝阳 Chaoyang	12.21±0.16 a	3.60±0.18 b	64.24±0.92 b	16.58±0.34 b	47.66±0.59 b	2.87±0.03 b	6.63±0.61 b
	三亚 Sanya	11.06±0.14 a	3.79±0.18 a	64.52±0.15 b	18.63±0.61 a	45.88±0.76 b	2.46±0.12 c	5.30±0.15 c
济谷 21 Jigu 21	济南 Jinan	10.74±0.22 ab	2.76±0.15 b	63.28±1.01 b	17.18±0.14 b	46.11±0.88 b	2.68±0.03 b	8.67±0.31 b
	朝阳 Chaoyang	10.55±0.14 b	3.06±0.09 b	73.62±0.40 a	18.19±0.07 a	55.43±0.47 a	3.05±0.04 a	11.09±0.90 a

表 5 (续)

品种 Variety	地点 Location	粗蛋白/ (g/100 g) Crude protein	粗脂肪/ (g/100 g) Crude fat	总淀粉/ (g/100 g) Total starch	直链淀粉/ (g/100 g) Amylose	支链淀粉/ (g/100 g) Amylopectin	淀粉支直比 Amylopectin/ amylose ratio	类胡萝卜素 /(mg/kg) Carotenoid
济谷 22 Jigu 22	三亚 Sanya	10.56±0.07 b	4.02±0.31 a	64.87±0.07 b	16.87±0.05 a	48.00±0.12 b	2.85±0.02 b	5.10±0.20 c
	济南 Jinan	10.46±0.23 b	3.07±0.21 b	57.68±0.41 c	15.41±0.21 b	42.27±0.61 c	2.74±0.08 b	7.71±0.12 a
	朝阳 Chaoyang	12.17±0.21 a	2.54±0.10 b	69.61±0.37 a	15.14±0.14 b	54.47±0.50 a	3.60±0.06 a	6.64±0.25 b
济谷 23 Jigu 23	三亚 Sanya	9.63±0.21 c	3.83±0.28 a	67.66±0.28 b	17.09±0.04 a	50.57±0.31 b	2.96±0.02 b	1.31±0.08 c
	济南 Jinan	10.75±0.17 b	3.20±0.14 b	66.55±0.52 c	16.68±0.57 a	49.87±1.08 b	2.99±0.17 b	2.00±0.11 a
	朝阳 Chaoyang	12.37±0.20 a	2.53±0.07 c	72.32±0.41 a	14.55±0.45 b	57.77±0.71 a	3.97±0.16 a	1.56±0.11 b
豫谷 35 Yugu 35	三亚 Sanya	10.83±0.11 a	3.72±0.15 a	65.59±0.10 c	17.47±0.29 b	48.12±0.33 c	2.76±0.06 c	6.09±0.90 b
	济南 Jinan	10.07±0.25 b	3.08±0.16 b	74.66±0.87 a	18.44±0.11 a	56.23±0.76 a	3.05±0.02 b	8.81±0.54 a
	朝阳 Chaoyang	10.26±0.17 b	2.44±0.11 c	70.54±0.54 b	16.46±0.43 c	54.08±0.11 b	3.29±0.08 a	7.26±0.15 b
冀谷 39 Jigu 39	三亚 Sanya	11.66±0.15 a	3.88±0.23 a	64.69±0.15 b	17.57±0.50 a	47.12±0.35 b	2.68±0.10 c	4.78±0.20 c
	济南 Jinan	11.62±0.08 a	3.89±0.25 a	71.49±0.96 a	17.11±0.51 a	54.38±0.54 a	3.18±0.07 a	7.25±0.36 b
	朝阳 Chaoyang	11.93±0.22 a	2.89±0.19 b	65.37±0.72 b	16.80±0.10 a	48.57±0.81 b	2.89±0.07 b	8.47±0.29 a
冀谷 42 Jigu 42	三亚 Sanya	11.06±0.19 b	3.90±0.17 a	68.57±0.37 b	17.21±0.35 ab	51.36±0.69 b	2.99±0.10 b	5.71±0.30 c
	济南 Jinan	11.29±0.20 b	3.88±0.18 a	77.55±0.72 a	17.63±0.44 a	59.92±1.16 a	3.40±0.15 a	9.86±0.52 a
	朝阳 Chaoyang	12.26±0.20 a	2.45±0.10 b	64.61±0.46 c	16.37±0.17 b	48.24±0.63 c	2.95±0.07 b	8.38±0.33 b
济矮 1 Jiai 1	三亚 Sanya	12.60±0.15 a	4.32±0.22 a	63.29±0.25 c	16.83±0.30 b	46.46±0.53 b	2.76±0.08 b	3.51±0.12 b
	济南 Jinan	11.64±0.12 b	3.67±0.40 ab	65.39±1.12 b	16.07±0.07 c	49.31±1.19 a	3.07±0.09 a	5.20±0.27 a
	朝阳 Chaoyang	11.72±0.98 b	2.98±0.19 b	69.73±0.62 a	18.61±0.12 a	51.13±0.68 a	2.75±0.05 b	5.53±0.41 a

表5(续)

品种 Variety	地点 Location	粗蛋白/ (g/100 g) Crude protein	粗脂肪/ (g/100 g) Crude fat	总淀粉/ (g/100 g) Total starch	直链淀粉/ (g/100 g) Amylose	支链淀粉/ (g/100 g) Amylopectin	淀粉支直比 Amylopectin/ amylose ratio	类胡萝卜素 (mg/kg) Carotenoid
	三亚 Sanya	10.06±0.08 b	3.77±0.13 a	63.24±0.30 b	17.08±0.55 b	46.15±0.29 b	2.70±0.10 b	5.78±0.20 c
沧谷3 Canggu 3	济南 Jinan	10.86±0.13 a	3.38±0.18 b	74.91±0.75 a	18.07±0.12 a	56.83±0.87 a	3.15±0.07 a	9.77±0.48 a
	朝阳 Chaoyang	11.04±0.21 a	3.41±0.10 b	63.57±1.36 b	15.93±0.19 c	47.64±1.52 b	2.99±0.13 a	7.85±0.57 b

2.2 生态环境及品种对小米RVA谱特征值的影响

2.2.1 生态条件、品种对小米RVA谱特征值的主效和互作效应

由表6可知,地点对淀粉RVA谱的7项特征值均存在极显著影响;品种、地点×品种互作除

对峰值时间影响未达到显著水平外,对其他RVA谱特征值影响均到达极显著水平。从*F*来看,种植地点对淀粉RVA谱的特征值影响极显著,说明生态环境对小米淀粉RVA谱特征值存在很大的影响。

表6 小米淀粉RVA谱特征值多因素方差分析(*F*)Table 6 Combination analysis of variance of RVA profiles characteristic values by *F*

因素 Factor	峰值粘度 PK	热浆粘度 HT	崩解值 BDV	最终粘度 FNV	消减值 SBV	峰值时间 PeT	糊化温度 PaT
地点 Location	242.02**	945.51**	44.29**	434.16**	2 307.05**	5.93**	34.64**
品种 Variety	595.78**	670.04**	496.52**	1 161.83**	2 639.97**	1.72	9.62**
地点×品种 Location×Variety	746.10**	581.25**	1 504.79**	960.23**	3 042.39**	10.91	19.42**

2.2.2 不同生态条件下小米淀粉RVA谱

由表7可知,除峰值时间不同品种之间无显著差异外,其他RVA谱特征值差异显著($P < 0.05$)。7个RVA谱特征值中变异系数(CV)由大到小为崩解值>峰值粘度>热浆粘度>最终粘度>消减值>糊化温度>峰值时间。崩解值的变化范围在279~579 cP,其中‘沧谷3号’最大,‘冀谷39’最小。峰值粘度的变化范围在794~1 330 cP,其中‘冀谷39’和‘豫谷35’的峰值粘度均较小,与峰值粘度最高的‘沧谷3号’差异均达显著水平。热浆粘度变化范围在513~785 cP,‘冀谷42’和‘济谷23’较高,‘冀谷39’最低。最终粘度值最大的是‘冀谷42’,最小的是‘济谷21’。

由表8可知,相同品种在不同地点的RVA谱特征值存在差异。‘济谷23’和‘冀谷42’在三亚试点的峰值粘度、热浆粘度、最终粘度、崩解值、消

减值均较高,糊化温度均较低;‘济谷21’‘豫谷35’和‘冀谷39’在三亚试点除糊化温度较高外,其他RVA谱特征值均较低。济南试点参试品种的糊化温度差异较小,‘冀谷42’和‘豫谷35’糊化温度较低与其他品种间差异显著($P < 0.05$)。并且这2个品种的消减值相对较小。朝阳试点‘豫谷35’的热浆粘度、最终粘度、峰值时间以及糊化温度均为最高,但峰值粘度和崩解值却较低。

淀粉糊化特征值在不同试点表现不同,大部分品种的消减值和糊化温度随纬度的增加逐渐降低,峰值时间随纬度的升高呈现递增的趋势,其他指标变化无明显的规律。中纬度试点济南的小米淀粉的峰值粘度、热浆粘度以及最终粘度均最高,消减值以及糊化温度均在低纬度试点三亚最高,崩解值和峰值时间则在高纬度朝阳试点最高。

表 7 不同谷子品种小米淀粉 RVA 谱特征值差异

Table 7 Differences of RVA spectrum eigenvalues of different varieties

品种 Variety	峰值粘度/cP PKV	热浆粘度/cP HTP	崩解值/cP BDV	最终粘度/cP FNV	消减值/cP SBV	峰值时间/min PeT	糊化温度/°C PaT
济谷 20 Jigu 20	1 065 abc	681 abc	382 e	1 639 d	573 b	5.00 a	82.05 a
济谷 21 Jigu 21	918 abc	533 bc	386 e	1 153 f	235 i	4.85 a	81.67 ab
济谷 22 Jigu 22	1 177 abc	754 b	431 d	1 692 c	508 d	5.02 a	78.82 c
济谷 23 Jigu 23	1 270 ab	777 a	494 b	1 739 b	467 e	5.04 a	79.30 bc
豫谷 35 Yugu 35	862 bc	528 bc	335 f	1 193 e	327 h	4.97 a	82.79 a
冀谷 39 Jigu 39	794 c	513 c	279 g	1 168 ef	377 g	5.04 a	82.62 a
冀谷 42 Jigu 42	1 240 abc	785 a	456 c	1 789 a	545 c	5.00 a	79.02 c
济矮 1 Jiai 1	1 059 abc	670 abc	386 e	1 684 c	628 a	4.96 a	80.98 abc
沧谷 3 Canggu 3	1 330 a	754 ab	579 a	1 731 b	400 f	4.93 a	78.85 c
变异度/% CV	32.23	28.65	54.78	28.41	28.11	4.33	4.90

表 8 3个试验点各谷子品种淀粉 RVA 谱特征值的差异

Table 8 Starch RVA spectrum eigenvalues of the foxtail millet varieties in 3 test locations

品种 Variety	地点 Location	峰值粘度/cP PKV	热浆粘度/cP HTP	崩解值/cP BDV	最终粘度/cP FNV	消减值/cP SBV	峰值时间/min PeT	糊化温度/°C PaT
济谷 20 Jigu 20	三亚 Sanya	1 021±10 b	705±10 a	314±9 c	1 853±6 a	836±10 a	5.07±0.01 a	84.62±0.66 b
	济南 Jinan	1 168±29 a	692±11 b	472±13 a	1 634±15 b	464±5 b	4.93±0.03 a	80.00±2.00 a
	朝阳 Chaoyang	1 006±14 b	645±22 b	359±11 b	1 428±17 c	420±2 c	5.00±0.10 a	81.52±2.00 ab
济谷 21 Jigu 21	三亚 Sanya	272±8 b	202±7 c	71±4 c	483±9 c	212±2 b	4.92±0.09 a	89.40±0.99 a
	济南 Jinan	1 232±12 a	826±11 a	405±3 b	1 721±21 a	489±11 a	5.00±0.10 a	79.09±0.90 b
	朝阳 Chaoyang	1 250±18 a	571±19 b	680±8 a	1 254±16 b	679±5 c	4.64±0.09 b	76.51±1.75 b
济谷 22 Jigu 22	三亚 Sanya	1 437±61 a	738±17 ab	722±10 a	1 825±10 c	136±7 c	4.73±0.02 b	76.70±1.10 b
	济南 Jinan	1 125±10 b	805±10 a	320±5 b	1 749±28 b	625±9 a	5.08±0.09 a	79.12±1.05 a
	朝阳 Chaoyang	970±18 c	718±13 b	251±10 b	1 503±15 c	536±21 b	5.25±0.22 a	80.65±0.37 a
济谷 23 Jigu 23	三亚 Sanya	1 674±11 a	816±4 b	855±9 a	1 989±11 a	318±4 b	4.73±0.11 b	76.43±0.79 b
	济南 Jinan	974±8 c	880±15 a	95±4 c	1 791±9 a	814±6 a	5.46±0.24 a	83.23±1.96 a
	朝阳 Chaoyang	1 161±55 b	635±14 c	531±23 b	1 438±17 b	269±2 c	4.93±0.02 b	78.24±0.22 b

表8(续)

品种 Variety	地点 Location	峰值粘度/cP PKV	热浆粘度/cP HTP	崩解值/cP BDV	最终粘度/cP FNV	消减值/cP SBV	峰值时间/min PeT	糊化温度/℃ PaT
豫谷 35 Yugu 35	三亚 Sanya	230±9 c	170±12 c	60±2 c	410±5 c	180±2 c	4.93±0.07 b	89.57±0.85 a
	济南 Jinan	1 305±7 a	640±9 b	664±12 a	1 536±16 b	230±4 b	4.65±0.13 b	77.27±1.96 c
	朝阳 Chaoyang	1 051±27 b	775±19 a	281±10 b	1 633±10 a	570±6 a	5.32±0.19 a	81.53±1.10 b
冀谷 39 Jigu 39	三亚 Sanya	273±4 c	245±3 c	28±2 c	628±7 c	355±4 b	5.07±0.06 ab	90.23±2.07 a
	济南 Jinan	1 012±12 b	785±15 a	224±15 b	1 706±13 a	692±5 a	5.23±0.25 a	81.32±1.12 b
	朝阳 Chaoyang	1 096±11 a	508±12 b	583±20 a	1 170±43 b	83±3 c	4.80±0.10 b	76.31±1.04 c
冀谷 42 Jigu 42	三亚 Sanya	1 545±14 a	906±6 a	640±9 a	2 241±21 a	694±6 a	4.82±0.22 b	78.33±1.25 ab
	济南 Jinan	1 145±31 b	634±12 c	508±8 b	1 435±15 c	291±3 c	4.78±0.19 b	77.33±2.11 b
	朝阳 Chaoyang	1 030±26 c	814±12 b	220±19 c	1 689±33 b	649±5 b	5.40±0.20 a	81.40±1.21 a
济矮 1 Jiai 1	三亚 Sanya	1 136±15 a	749±13 a	385±10 b	1 953±18 a	818±10 a	5.00±0.10 a	82.37±1.15 a
	济南 Jinan	933±2 b	696±9 b	237±8 c	1 626±2 b	693±6 b	5.00±0.20 a	81.46±1.17 a
	朝阳 Chaoyang	1 109±12 a	565±19 c	536±23 a	1 471±78 c	373±4 c	4.88±0.06 a	79.10±2.90 a
沧谷 3 Canggu 3	三亚 Sanya	1 443±13 a	760±9 a	681±9 a	1 976±20 a	533±12 a	4.93±0.02 ab	77.56±2.12 a
	济南 Jinan	1 380±30 a	728±10 b	652±16 b	1 589±34 b	214±4 c	4.72±0.10 b	78.25±1.01 a
	朝阳 Chaoyang	1 168±33 b	772±12 a	404±4 c	1 629±8 b	453±6 b	5.14±0.12 a	80.73±1.60 a

3 讨论

品种、产地、收获时期、栽培方法和耕作制度的不同均影响作物品质^[15-17]。光照、温度、水分等环境因子显著影响水稻淀粉支直比和蛋白质含量,进而影响稻米的营养品质和蒸煮食味^[22]。小米是谷子主要的初加工产品,其营养品质是指所含有的蛋白质、脂肪、淀粉、维生素、矿物质等多种营养成分的含量^[20]。这些指标不仅受遗传因素的影响,同时还受到气候条件、土壤类型以及栽培措施等因素影响^[23-26]。本研究结果表明,小米品种间营养指标存在不同程度的变异,其中类胡萝卜素的变异系数最

大(38.65%),其次为粗脂肪,变异系数最小的是直链淀粉(6.04%)。小米中营养成分含量最高的是淀粉,其次是蛋白质,脂肪含量较低,类胡萝卜素的含量最低。本试验参试品种淀粉、蛋白质、脂肪和类胡萝卜素含量较高的分别是‘豫谷 35’‘济矮 1’‘济谷 20’和‘济谷 21’。生态条件对谷子的营养成分含量影响显著,并且效应大于品种。不同作物间的表现具有一定相似性,甘薯的蛋白质含量随着纬度的升高而呈上升趋势,而淀粉和类胡萝卜素含量与纬度变化无关^[27]。本研究结果显示粗蛋白含量大致趋势为随纬度升高而增大,说明日照时长、昼夜温差均有利于蛋白质的积累,这与李珊珊等^[28]

的研究结果一致;粗脂肪含量则呈现相反的趋势,即低纬度的三亚脂肪含量最高,这与何继红等^[29]研究认为的脂肪含量随着纬度的增高而增加的结果不一致,可能是不同基因型谷子对生态条件的响应不同所致。屈非等^[30]研究表明谷子从出苗到抽穗期间,籽粒淀粉含量与日照时长呈显著正相关。本试验结果显示总淀粉含量济南试点最高,最低的是三亚试点,说明灌浆期适宜的温度与光照有利于籽粒淀粉的形成。直链淀粉含量最高的是三亚试点,随纬度的升高而逐渐减小。支链淀粉最低的是三亚试点,与其他2个试点差异显著。淀粉支直比呈现随纬度的升高而逐渐增加的趋势。米色是评价小米外观品质的重要指标,优质小米色泽深黄且一致性好。小米米色与胡萝卜素含量存在显著正相关^[31]。有研究表明低纬度地区的小米颜色较黄^[32]。在本试验中类胡萝卜素含量最高的是济南试点,随纬度变化规律不明显,本试验只选择了华北夏谷区品种,种植地点相对较少,下一步需增加不同类型品种及试验点数进行深入研究。

淀粉糊化特性在谷类作物的蒸煮与食用品质评价及优质品种选育中具有重要的应用价值。测定淀粉糊化特性常用的方法主要有3种,快速黏度测定法(RVA)、差示扫描量热分析法(DSC)和布拉本德黏度测定法(BV)。目前,RVA法已经广泛应用于谷物品质分析中,包括小麦^[33]、水稻^[34]、玉米^[35]、藜麦^[36]、燕麦^[37]和小米^[2]等谷物。王丰等^[38]研究不同食味类型稻米品种的RVA谱特性发现,食味品质优的品种一般都具有较小的回生值,而食味较差的品种则相反。使用DSC法对小米淀粉的糊化温度进行研究结果表明,糊化温度大约在79.69~87.34℃^[39];小米淀粉的糊化温度相对玉米淀粉的糊化温度较高^[40],起始糊化温度稍低于大米^[41]。本研究中不同品种间RVA谱特征值变化较大,其中RVA谱特征值变异系数最大的是崩解值,其次是消减值,说明可以用崩解值和消减值对小米品种进行鉴定,且可以有效地判定小米的适口性。王玉文等^[42]研究表明,消减值>0时,崩解值越小,消减值越大,米饭的口渣感越小,适口性越好。本试验中所用谷子品种‘济谷20’‘济谷21’‘豫谷35’‘冀谷39’以及‘冀谷42’均为全国优质食用粟评选的“一级优质米”,这些小米的外观品质、加工品质、蒸煮品质、食味品质突出,这几个品种在本研究中3

个试点的平均淀粉崩解值均较小,消减值较高,适口性好。作为国家二级优质小米品种的‘济谷22’和‘济谷23’的淀粉崩解值均较高,有口渣感,适口性稍差。但也有例外,‘济矮1号’崩解值较小,消减值较高,其适口性却不佳。相对而言,崩解值越小,消减值越大出现食味品质好的品种几率较大。Ma等^[32]研究发现消减值与纬度呈显著负相关,而崩解值与纬度呈显著正相关,与本研究结果一致。

4 结论

不同纬度的生态条件和品种对谷子营养成分含量以及淀粉RVA谱特征值均显著影响;生态条件是决定谷子蛋白质、脂肪、淀粉以及类胡萝卜素含量的关键。各品种籽粒营养组分差异显著,类胡萝卜素的变异度最高;蛋白质含量显现随纬度的升高而逐渐增大的趋势,脂肪含量则随纬度的增加而降低,类胡萝卜素含量济南试验点最高;与食味品质密切相关的峰值粘度、崩解值和消减值等性状受不同纬度的环境因素影响显著,大部分品种的消减值和糊化起始温度随纬度的增加逐渐降低,高纬度朝阳试点的崩解值最高。

参考文献 References

- [1] Yang Z R, Zhang H S, Li X K, Shen H M, Gao J H, Hou S Y, Zhang B, Mayes S, Bennett M, Ma J X, Wu C Y, Sui Y, Han Y H, Wang X C. A mini foxtail millet with an *Arabidopsis*-like life cycle as a C₄ model system[J]. *Nature Plants*, 2020, 6(9): 1167-1178
- [2] Yang T T T, Tan X M, Huang S, Pan X H, Shi Q H, Zeng Y J, Zhang J, Zeng Y H. Effects of experimental warming on physicochemical properties of indica rice starch in a double rice cropping system[J/OL]. *Food Chemistry*, (2020-04-25). DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125981
- [3] Azevedo H, Silva-Correia J, Oliveira J, Laranjeira S, Barbata C, Amorim-Silva V, Botella M A, Lino-Neto T, Tavares R M. A strategy for the identification of new abiotic stress determinants in *Arabidopsis* using web-based data mining and reverse genetics[J]. *OMICS*, 2011, 15(12): 935-947
- [4] Kaur K D, Jha A, Sabikhi L, Singh A K. Significance of coarse cereals in health and nutrition: A review[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(8): 1429-1441
- [5] Sun M, Kang X, Wang T, Fan L, Zhuge Y. Genotypic diversity of quality traits in Chinese foxtail millet (*Setaria italica* L) and the establishment of a quality evaluation system[J/OL]. *Food Chemistry*, (2021-04-15), DOI: doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129421
- [6] Custodio M C, Cuevas R P, Ynion J, Laborde A G, Velasco M L, Demont M. Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists? [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 92:122-137

- [7] Zhou H, Xia D, He Y Q. Rice grain quality: Traditional traits for high quality rice and health-plus substances [J/OL]. *Molecular Breeding*, (2019-12-17), DOI:doi.org/10.1007/s11032-019-1080-6
- [8] 王瑞, 李齐霞, 祁丽婷, 王敏, 孙万荣, 邬志远, 李中青. 不同产地谷子籽粒营养品质与食味品质的比较研究[J]. 中国农学通报, 2020, 36(3): 154-157
Wang R, Li Q X, Qi L T, Wang M, Sun W R, Wu Z Y, Li Z Q. Comparative study on nutritional quality and tasting quality of millet grains from different producing areas [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(3): 154-157 (in Chinese)
- [9] Li K H, Zhang T Z, Sui Z Q, Narayanamoorthy S, Jin C, Li S G, Corke H. Genetic variation in starch physicochemical properties of Chinese foxtail millet (*Setaria italica* Beauv) [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 133: 337-345
- [10] Qi Y Y, Wang N, Yu J L, Wang S, Wang S J, Copeland L. Insights into structure-function relationships of starch from foxtail millet cultivars grown in China [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020;155:1176-1183
- [11] Zhang F, Fu Y X, Liu Z Y, Shen Q. Comparison of the characteristics of prolamins among foxtail millet varieties with different palatability: Structural, morphological, and physicochemical properties [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 186: 194-205
- [12] 李星, 王海寰, 沈群. 不同品种小米品质特性研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(7): 248-254
Li X, Wang H H, Shen Q. Studies on the quality characteristics of different varieties of millet [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(7): 248-254 (in Chinese)
- [13] Yuan Y H, Liu C J, Zhao G, Gong X W, Dang K, Yang Q H, Feng B L. Transcriptome analysis reveals the mechanism associated with dynamic changes in fatty acid and phytosterol content in foxtail millet (*Setaria italica*) during seed development [J/OL]. *Food Research International*, (2021-05-21), DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110429
- [14] Liang K H, Liang S, Lu L G, Zhu D Z, Zhu H, Liu P, Zhang M. Metabolic variation and cooking qualities of millet cultivars grown both organically and conventionally [J]. *Food Research International*, 2018, 106: 825-833
- [15] Chen M J, Li Z, Huang J, Yan Y F, Wu T, Bian M D, Zhou J S, Wang Y J, Lv Y J, Hu G H, Jin Y M, Huang K, Guo L P, Jiang W Z, Du X L. Dissecting the meteorological and genetic factors affecting rice grain quality in Northeast China [J]. *Genes & Genomics*, 2021, 43(8): 975-986
- [16] Graziano S, Marando S, Prandi B, Boukid F, Marmiroli N, Francia E, Pecchioni N, Sforza S, Visioli Marmiroli F, Francia N, Pecchioni E, Sforza N, Visioli G, Gulli M. Technological quality and nutritional value of two durum wheat varieties depend on both genetic and environmental factors [J/OL]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(8): 2384-2395
- [17] Li X K, Wu L, Geng X, Xia X H, Wang X H, Xu Z J, Xu Q. Deciphering the environmental impacts on rice quality for different rice cultivated areas [J]. *Rice*, 2018, 11(1): 7-16
- [18] Xu X M, Xu Z J, Matsue Y, Xu Q. Effects of genetic background and environmental conditions on texture properties in a recombinant inbred population of an inter-subspecies cross [J]. *Rice*, 2019, 12(1): 32-42
- [19] 赵淑玲, 李洪, 王殿瀛, 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 Y, Guo G L, Wang Y W. The effects of ecological environment on the contents of protein, fat and starch in millet [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1990, 5(4): 48-53 (in Chinese)
- [20] Sharma N, Niranjana K. Foxtail millet: Properties, processing, health benefits, and uses [J]. *Food Reviews International*, 2018, 34(4): 329-363
- [21] 宁娜. 硒、除草剂及不同生态因子对谷子品质的影响[D]. 太原: 山西农业大学, 2016
Ning N. Effects of Se, herbicide and ecological factors on grain quality of foxtail millet [D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [22] Deng F, Li Q P, Chen H, Zeng Y L, Li B, Zhong X Y, Wang L, Ren W J. Relationship between chalkiness and the structural and thermal properties of rice starch after shading during grain-filling stage [J/OL]. *Carbohydrate Polymers*, (2021-10-14), DOI:10.1016/j.carbpol.2020.117212
- [23] 冯耐红, 侯东辉, 杨成元, 陈丽红, 李婧, 岳忠孝, 沈群, 田翔. 不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 224-229
Feng N H, Hou D H, Yang C Y, Chen L H, Li J, Yue Z X, Shen Q, Tian X. Evaluation of main nutrients and amino acid components of different varieties of foxtail millet [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(8): 224-229 (in Chinese)
- [24] 梁克红, 朱大洲, 孙君茂. 品种与地域对小米营养品质的影响研究[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 192-196
Liang K H, Zhu D Z, Sun J M. Study on variety and regional factors related to nutrient quality in millet [J]. *The Food Industry*, 2017, 38(4): 192-196 (in Chinese)
- [25] 张艾英, 郭二虎, 刁现民, 范惠萍, 李瑜辉, 王丽霞, 张莉, 王瑞, 王军, 郭红亮, 韩芳, 程丽萍, 吴引生. 不同气候和土壤对小米品质的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(18): 3218-3231
Zhang A Y, Guo E H, Diao X M, Fan H P, Li Y H, Wang L X, Zhang L, Wang R, Wang J, Guo H L, Han F, Cheng L P, Wu Y S. Effects of different types of climate and soil on foxtail millet quality [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(18): 3218-3231 (in Chinese)
- [26] 杨延兵, 张会笛, 秦岭, 陈二影, 黎飞飞, 管延安. 种植地点和加工精度对小米营养与安全品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(9): 54-59
Yang Y B, Zhang H D, Qin L, Chen E Y, Li F F, Guan Y A. Effect of planting location and processing fineness on nutrition and safety quality of millet [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(9): 54-59 (in Chinese)
- [27] 后猛, 李强, 唐忠厚, 王欣, 辛国胜, 吴问胜, 王良平, 张允刚, 唐维, 李秀英, 马代夫. 不同生态环境对甘薯主要品质性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(9): 1180-1184
Kou M, Li Q, Tang Z H, Wang X, Xin G S, Wu W S, Wang L P, Zhang Y G, Tang W, Li X Y, Ma D F. Effects of ecological conditions on main quality traits of sweet potato [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(9): 1180-1184 (in Chinese)
- [28] 李珊珊. 品种与地域因素对谷子营养品质的影响研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013
Li S S. Study on varieties and regional factors related to nutritional quality in millet [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2013 (in Chinese)
- [29] 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. Evaluation on nutritive quality of local varieties for foxtail millet in Gansu province [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2002, 3(1): 41-44 (in Chinese)
- [30] 屈非, 王晋, 韵晓冬, 孙常青. 谷子品质受不同生态环境及不同肥料的影响分析[J]. 农业与技术, 2020, 40(20): 43-44
Qu F, Wang J, Yun X D, Sun C Q. Analysis on the influence of different

- ecological environment and different fertilizers on millet quality [J]. *Agriculture and Technology*, 2020, 40(20): 43-44 (in Chinese)
- [31] 张耀元, 路阳, 张彬, 禾璐, 刘龙龙, 王兴春, 李红英, 韩渊怀. 谷子类胡萝卜素生物合成途径 *SILCYB* 基因与米色形成的关系[J]. *分子植物育种*, 2016, 14(6): 1341-1351
- Zhang Y Y, Lu Y, Zhang B, He L, Liu L L, Wang X C, Li H Y, Han Y H. The relationship between the gene *SILCYB* related to carotenoid synthesis and the colored formation of foxtail millet[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2016, 14(6): 1341-1351 (in Chinese)
- [32] Ma K, Zhao L R, Zhao X T, Li X R, Dong S Q, Zhang L G, Guo P Y, Yuan X Y, Diao X M. The relationship between ecological factors and commercial quality of high-quality foxtail millet "Jingu 21" [J/OL]. *Food Research International*, (2022-11-23). DOI:10.1016/j.foodres.2022.112225
- [33] 刘璇. 小麦淀粉糊化特性的关联分析研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2014
- Liu X. Association analysis of starch Pasting properties in common wheat [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [34] 胡培松, 翟虎渠, 唐绍清, 万建民. 利用RVA快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究[J]. *作物学报*, 2004, 30(6): 519-524
- Hu P S, Zhai H Q, Tang S Q, Wan J M. Rapid evaluation of rice cooking and palatability quality by RVA profile [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(6): 519-524 (in Chinese)
- [35] 李娜, 张英华. 用RVA仪分析玉米淀粉的糊化特性[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(6): 20-24
- Li N, Zhang Y H. Analysis on pasting properties of maize starch by RVA [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2011, 26(6): 20-24 (in Chinese)
- [36] 付丽红, 李晓斌. 基于岭脊分析的藜麦淀粉提取及糊化特性研究[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(18): 299-306
- Fu L H, Li X B. Extraction and gelatinization characteristics of *Chenopodium quinoa* Willd starch based on ridge analysis [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(18): 299-306 (in Chinese)
- [37] 徐丛玥, 刘英, 王筱雯, 黄庆荣. 萌芽燕麦粉面团粉质及糊化特性分析[J]. *粮食与食品工业*, 2013, 20(5): 39-44, 50
- Xu C Y, Liu Y, Wang X W, Huang Q R. Analysis on powder and gelatinization properties of malting oat flour [J]. *Cereal and Food Industry*, 2013, 20(5): 39-44, 50 (in Chinese)
- [38] 王丰, 程方民, 钟连进, 孙宗修. 早籼稻米RVA谱特性的品种间差异及其温度效应特征[J]. *中国水稻科学*, 2003, 17(4): 328-332
- Wang F, Chen F M, Zhong L J, Sun Z X. Difference of RVA profile among different early *indica* rice varieties and effect of temperature at grain filling stage on it[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2003, 17(4): 328-332 (in Chinese)
- [39] 路宏民, 周文超, 曹龙奎. 小米淀粉颗粒特性与热特性的相关性研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2013(16): 1-4
- Lu H M, Zhou W C, Cao L K. Correlation of granular properties and thermal properties in millet starch [J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2013(16):1-4 (in Chinese)
- [40] 马力, 李新华, 路飞, 赵前程. 小米淀粉与玉米淀粉糊性质比较研究[J]. *粮食与油脂*, 2005, 18(2): 22-25
- Ma L, Li X H, Lu F, Zhao Q C. Study on pasting properties between millet starch and maize starch [J]. *Journal of Cereals & Oils*, 2005, 18(2): 22-25 (in Chinese)
- [41] 陈正宏, 乐静, 沈爱光. 小米淀粉特性的研究[J]. *郑州粮食学院学报*, 1993(1): 38-43
- Chen Z H, Le J, Shen A G. Study on starch characteristics of millet[J]. *Journal of Zhengzhou Grain University*, 1993(1): 38-43 (in Chinese)
- [42] 王玉文, 李会霞, 田岗, 孙美荣, 史琴香, 郭二虎. 小米外观品质及淀粉RVA谱特征与米饭适口性的关系[J]. *山西农业科学*, 2008, 36(7): 34-39
- Wang Y W, Li H X, Tian G, Sun M R, Shi Q X, Guo E H. Relationship between cooked millet palatability and both visual quality and RVA profile character of starch[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2008, 36(7): 34-39 (in Chinese)

责任编辑:吕晓梅



第一作者简介: 秦岭, 博士, 山东省农业科学院作物研究所副研究员。主要致力于谷子遗传育种与栽培生理研究, 重点围绕优质高产谷子新品种培育、轻简高效栽培技术以及谷子抗逆机制等开展研究工作。主持或参加国家、省部级研究课题 10 余项。作为主要完成人育成的济谷系列的 12 个通过省或国家审(鉴)定、大面积推广应用的夏谷品种。参与完成的“谷子精播简化栽培技术”被列为 2017 年、2018 年山东省主推技术, 获山东省科技进步二等奖、山东省科技进步三等奖、山东省农科院科技进步一等奖各 1 项。获得国家专利 2 项; 制订山东省谷子标准 4 项。在 *International Journal of Molecular Sciences*、《中国农业科学》《植物遗传资源学报》等学术刊物发表研究论文 30 多篇。



通讯作者简介: 管延安, 博士, 山东省农业科学院作物研究所研究员。主要致力于谷子、高粱等杂粮作物育种与栽培工作, 重点围绕优质高产谷子和高粱新品种培育、轻简高效栽培技术等开展研究工作。团队学术带头人, 国家谷子高粱产业技术体系水分管理与节水栽培岗位科学家。中国作物学会粟类作物专业委员会副会长, 山东省作物学会理事, 《山东农业科学》《河北农业科学》编委。主持或参加国家级和省部级研究课题 30 余项。获山东省科技进步二等奖 2 项, 农业部和山东省科技进步三等奖 5 项(首位或主要完成人), 国家科技进步一等奖 1 项(集体奖, 主要参加人), 发表学术论文 80 余篇。育成了鲁谷和济谷系列的 18 个在山东省和华北地区大面积推广应用的夏谷良种。