田翔,郑婷婷,郭伟,等.不同产地'晋谷21'小米品质特性差异研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(1):61-72.
Tian X, Zheng T T, Guo W,et al.Differences in quality characteristics of 'Jingu 21' millet across different regions[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(1):61-72.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202402029

不同产地'晋谷21'小米品质特性差异研究

田翔[1,2],郑婷婷[3],郭伟[3],乔治军[2*],刁现民[4*]

(1.山西农业大学 农业基因资源研究中心,山西 太原,030031;2.农业农村部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室,山西 太原,030031;3.山西农业大学 农学院,山西 晋中,030801;4.中国农业科学院 作物科学研究所,北京,100081)

摘　要:[目的]探明不同生态环境小米在营养及加工等品质方面的差异,有利于实现优质谷子品种的合理布局,改良小米品质。[方法]以山西、陕西、宁夏、甘肃、北京的24个产地种植的谷子品种'晋谷21'去壳后所得小米为材料,对其营养组分、淀粉糊化特性及小米粥、小米饭质构特性进行对比分析,并运用灰色关联分析评价法对其营养组分进行综合评价。[结果]不同产地的'晋谷21'小米间纤维素和灰分含量变异系数最大,黄色素、脂肪、蛋白质、直链淀粉含量也存在较大差异,24个产地的'晋谷21'小米淀粉及蛋白质含量整体较高。不同产地间小米粥浓稠度差异较大,小米饭蒸煮品质各有差异,小米凝聚力差异不大,表现出较好的一致性。山西临县和陕西的志丹、定边、米脂的小米崩解值高于其它产地;山西临县、北京延庆、陕西定边的小米回生值明显高于其它产地。灰色关联分析结果显示,各营养成分的权重表现为淀粉含量>蛋白质含量>脂肪含量>黄色素含量>直链淀粉含量>纤维素含量>灰分含量,各产地间的关联度较为接近,其综合品质相差不大。其中,山西兴县的'晋谷21'与理想品种最为接近,综合品质最好;山西汾阳的'晋谷21'与理想品种相差最大。[结论]生态环境对'晋谷21'小米品质影响较大,且对多种营养组分影响较大。除基因筛选方法外,还可通过生态环境条件改善培育优良谷子品种。

关键词:小米; 产地差异; 品质特性; 灰色关联分析
中图分类号:S515　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)01-0061-12

Differences in quality characteristics of ´Jingu 21´ millet across different regions

Tian Xiang[1,3], Zheng Tingting[2], Guo Wei[2], Qiao Zhijun[3*], Diao Xianmin[4*]

(*1.Center for Agricultural Genetic Resources Research, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 2.College of agriculture, Shanxi Agricultural university, Jinzhong 030801, China; 3.Key Laboratory of Crop Gene Resources & Germplasm Enhancement on Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Taiyuan 030031, China; 4.Institute of crop science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: [Objective] This study aimed to investigate the differences in nutritional and processing qualities of 'Jingu 21' millet under different ecological environments, optimize the regional layout of high-quality millet varieties, and improve millet quality. [Methods] 'Jingu 21' millet planted in 24 regions, including Shanxi, Shaanxi, Ningxia, Gansu, and Beijing, was analyzed for its nutritional components, starch gelatinization characteristics, and the texture characteristics of millet porridge and millet rice. Grey correlation analysis was used to comprehensively evaluate the nutritional components of 'Jingu 21' from different regions. [Results] The results showed that the coefficients of variation for cellulose and ash in 'Jingu 21' millet across different regions were the largest, with significant differences also observed in yellow pigment, fat, protein, and amylose content. Starch and

收稿日期:2024-02-26　　**修回日期**:2024-09-27
基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-06-14.5-A16);山西省基础研究计划项目(202103021223148);科技部、财政部国家科技资源共享服务平台项目(NCGRC-2023-026)
作者简介:田翔(ORCID:0000-0003-0758-1912),副研究员,研究方向:农作物品质,E-mail:704193015@qq.com
*通信作者:乔治军(ORCID:0009-0005-7908-9494),研究员,研究方向:农作物种质资源,E-mail:qiaozhijun@sxau.edu.cn;刁现民(ORCID:0000-0002-8957-4101),研究方向:谷子遗传育种,E-mail:diaoxianmin@caas.cn

protein contents were generally higher in 'Jingu 21' millet from all 24 regions. The concentration of millet porridge varied considerably among regions. While cooking quality differed across regions, the cohesion of millet was relatively consistent, indicating good uniformity. Millet from Lin County in Shanxi Province and Zhidan County, Dingbian County, and Mizhi County in Shaanxi Province showed higher disintegration values than millet from other regions. The retrogradation value was significantly higher in millet from Lin County in Shanxi Province, Yanqing in Beijing City, and Dingbian in Shaanxi Province compared to other regions. Grey relational analysis showed that the weight of nutrient components followed the order: starch content> protein content>fat content>yellow pigment content>amylose content>cellulose content>ash content. The correlation degree among different regions was relatively close, indicating minimal differences in comprehensive quality. Among them, 'Jingu 21' from Lin County in Shanxi Province exhibited the closest characteristics to the ideal variety and the best overall quality, while Fenyang City in Shanxi Province showed the greatest divergence from the ideal variety. [Conclusion] Environmental factors significantly influenced the quality of 'Jingu 21' millet, with varying impacts on different nutritional qualities. Beyond genetic selection, cultivating high-quality millet varieties can also be achieved by improving ecological environmental conditions.

Keywords: Millet, Regional differences, Quality characteristics, Grey relational analysis

谷子(*Setaria italica* (L.) Beauv.)古称粟、稷,是起源于中国的古老作物之一,距今已有上万年的驯化栽培历史[1]。谷子去壳后即为小米,小米的营养价值丰富,其本身富含多种必需氨基酸、不饱和脂肪酸、粗蛋白、膳食纤维以及抗氧化活性物质,是一种药食同源的优质杂粮[2-4],此外还具有健脾养胃、降脂降压、保护肝脏、抗肿瘤、提高人体免疫力等保健功效[5-6]。谷子作为粮饲兼用作物,一直是旱作地区绿色可持续农业的主要栽培作物。

我国谷子的种植范围主要分布在山西省、河北省、内蒙古自治区、陕西省、辽宁省、甘肃省、宁夏回族自治区、山东省、北京市等13个北方省(区)市。近年来,随着人们对于食物的需求多元化,小米广受消费者喜爱。然而长期以来,国内外关于谷子的研究主要集中在提高产量和增强抗性等方面,对小米的营养品质和加工品质关注不够。由于地理、气候、土壤等条件的差异,谷子的品质特性受基因型和生态环境互作的影响。杨延兵等[7]研究发现生态环境对于小米外观品质影响较大,种植区域对于小米黄色素含量的变异贡献为27.57%。李珊珊[8]研究表明,小米灰分含量与土壤矿物质含量相关,土壤矿物质含量越少,其灰分含量越低。禾璐等[9]发现随种植地区海拔高度、日均温差的升高,小米蛋白质含量呈下降趋势,而纤维素、脂肪、灰分含量与种植区域的日均温差、日照时数呈正相关。赵海云等[10]的研究表明高纬度及高海拔有利于小米营养品质的提升,海拔越高,米色越黄;当海拔低于800 m时,小米品质有明显下降。梁克红等[11]认为,地域因素主要对小米中的蛋白质、脂肪、膳食纤维和灰分含量影响显著。目前有关生态环境对小米品质特性的影响研究还很有限,特别是不同基因型和生态环境互作对小米品质特性的影响机理鲜见报道,探明生态环境与谷子品质差异之间的关系,对谷子资源的可持续利用具有重要意义。从不同生态环境因素着手,揭示不同产地小米品质的差异,对于挖掘区域优势、合理布局优质谷子品种也具有重要意义。

本研究以山西省种植面积最大的优质谷子品种'晋谷21'为材料,在山西、陕西、宁夏、甘肃、北京的24个产地种植,深入分析不同产地所收获的'晋谷21'小米营养组分及加工品质的差异,旨在为不同产地小米的优质栽培提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

2021年5月,将'晋谷21'在山西、陕西、宁夏、甘肃、北京的24个不同产地进行种植(编号见表1),于2021年10月上旬收获。'晋谷21'种子由山西农业大学经济作物研究所提供。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 营养组分

测定前对谷子进行机械脱壳处理,所得小米籽粒清理除杂后粉碎,过40目筛。淀粉含量参考《NY/T 11-1985 谷物籽粒粗淀粉测定法》,采用旋光法测定[12],直链淀粉含量参考《NY 55-1987 水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法》,采用分光光度法测定[13];蛋白质含量测定依据《GB 5009.5-2016 食品安全国家标准-食品中蛋白质的测定》,采用凯氏定氮法测定[14];脂肪含量采用《GB 5009.6-2016 食品安全国家标准-食品中脂肪的测

表1　‘晋谷21’的24个产地及编号

Table 1　The 24 production areas and codes of 'Jingu 21'

编号 Number	产地 Origin	编号 Number	产地 Origin
Q1	山西省晋中市太谷区	Q13	山西省吕梁市柳林县
Q2	山西省长治市沁县	Q14	山西省吕梁市汾阳市
Q3	山西省吕梁市石楼县	Q15	甘肃省平凉市静宁县
Q4	山西省临汾市古县	Q16	山西省忻州市定襄县
Q5	山西省吕梁市临县	Q17	山西省太原市娄烦县
Q6	北京市延庆区	Q18	陕西省延安市子长市
Q7	山西省晋中市昔阳县	Q19	山西省太原市阳曲县
Q8	陕西省延安市志丹县	Q20	山西省吕梁市兴县
Q9	山西省朔州市山阴县	Q21	宁夏回族自治区中卫市海原县
Q10	山西省吕梁市离石区	Q22	山西省晋中市榆社县
Q11	山西省晋城市沁水县	Q23	陕西省榆林市定边县
Q12	山西省忻州市原平市	Q24	陕西省榆林市米脂县

定》[15];灰分含量测定参照《GB 5009.4-2016 食品安全国家标准-食品中灰分的测定》[16];粗纤维含量测定参照《GBT 5515-2008 粮油检验-粮食中粗纤维素含量测定-介质过滤法》[17]进行。黄色素含量参照杨延兵[7]等的方法测定。

1.2.2　小米粥质构特性

称取等量小米和水,使用自来水洗小米2次,小米:水的比例(W/V)为1:15,水沸腾后加米进行熬煮,24种小米粥同一时间开火,电磁炉功率600 W,开锅后煮28 min后统一关火。小米粥质构特性参照张凡[18]方法进行测定,包括硬度、浓稠度、凝聚力、粘度指数4个指标,部分质构参数设定稍有改动:测试前、中、后速度分别为1、1、10 mm/s,下压距离5 mm,触发力2.0 g。

1.2.3　小米饭质构特性

小米饭的质构特性参照尹瑞旸[19]的方法测定,包括咀嚼性、胶黏性、硬度3个指标,部分质构参数设定稍有改动:变形量为45%;每个样品重复测定10次,选取平行性好的3组,求其平均值。

1.2.4　小米淀粉糊化特性

参照刘辉[20]的方法对24种小米淀粉糊化特性进行测定。

1.3　统计分析

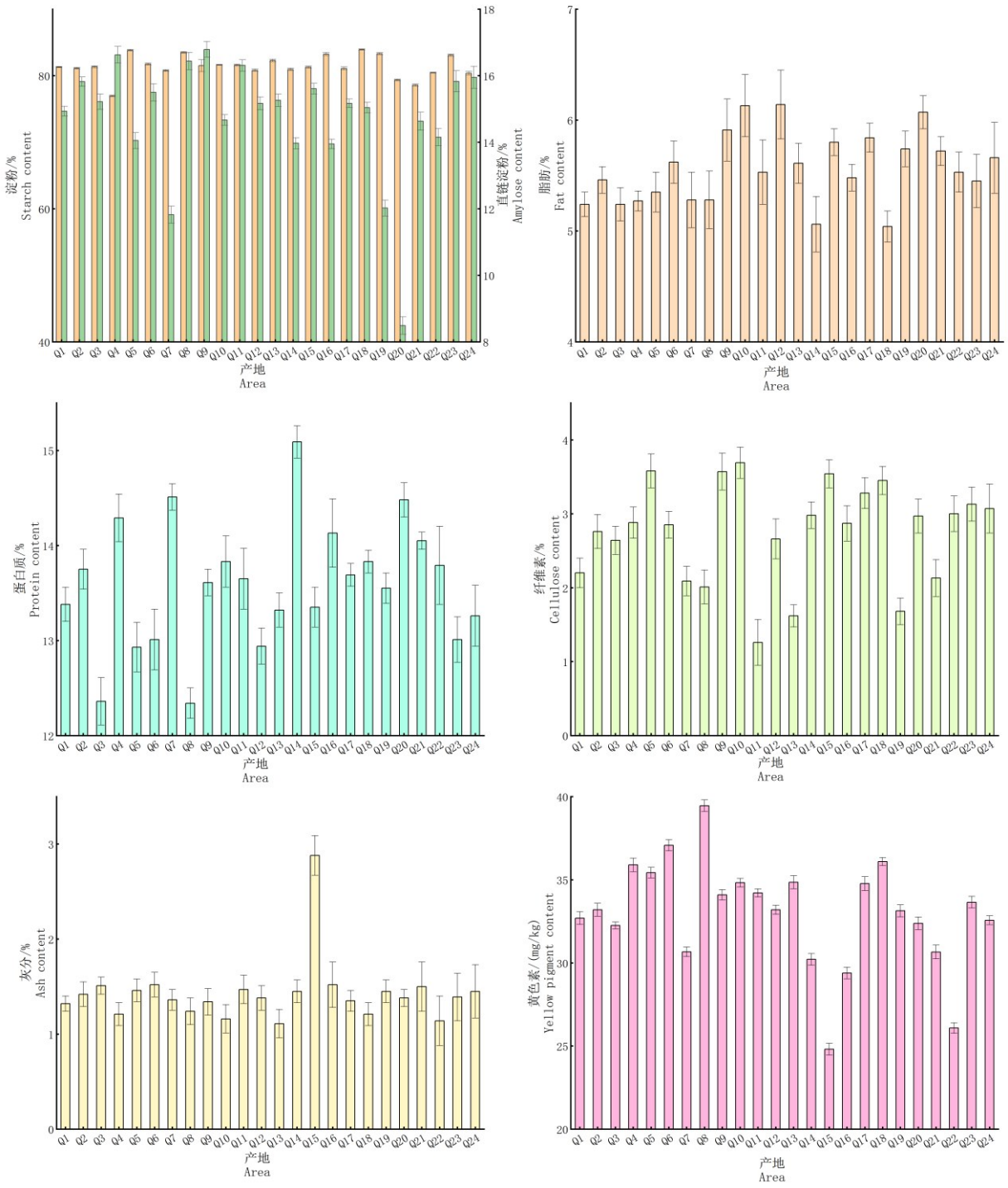
参照黄薇等[21]的方法对24种小米的营养品质进行灰色关联分析评价。将所有产地的‘晋谷21’看作一个完整的灰色系统,各产地材料视为其中的一个因素,通过比较各因素关联度来判断因素间的相似程度,并根据所测指标在感官评定中的影响构建理想参考序列。通过参试品种与理想品种关联性的度量构建综合评价模型,其加权关联度越大,参试品种越接近理想参考序列,该品种综合评价越好。

使用Excel 2019软件进行数据整理,采用Origin 2024软件进行数据分析及绘图。

2　结果与分析

2.1　不同产地‘晋谷21’小米营养品质分析

从图1与表2可见,24个产地的‘晋谷21’小米淀粉含量范围为76.95%~83.93%,平均含量81.43%;直链淀粉含量范围为8.49%~16.79%,其平均含量为14.73%,各个产地小米直链淀粉含量均在18%以下,皆为低直链淀粉含量。小米蛋白质含量变化范围为12.34%~15.09%,平均值13.59%,大部分产地的‘晋谷21’小米蛋白含量在平均值以上,蛋白质含量整体较高。纤维素含量的变化范围为1.26%~3.69%,其中山西的离石(Q10)产地小米纤维素含量最高。24个产地‘晋谷21’小米灰分含量范围为1.11%~2.88%,平均为1.43%,与Singh等[22]研究结果一致(灰分含量为1.47%~2.58%)。脂肪含量范围为5.24%~6.14%,平均为5.56%。小米颜色越鲜黄,小米外观色泽越好[23],陕西的志丹(Q8)产地的‘晋谷21’小米黄色素含量最高,为39.45 mg/kg。不同产地‘晋谷21’小米纤维素和灰分含量的变异系数最大,分别为24.51%和23.42%,黄色素、脂肪、蛋白



Q1～Q24所对应的产地见表1

The corresponding origins of Q1～Q24 were shown in Table 1

图1 不同产地小米营养组分

Fig. 1 Nutritional quality evaluation of millet from different origins

质、直链淀粉含量的变异系数也存在较大差异,淀粉含量的变异系数最小(2.03%);直链淀粉、纤维素、灰分含量的变异系数均在10%以上,表明这些指标受生态环境影响较大。

2.2 不同产地'晋谷21'小米粥蒸煮品质分析

浓稠度反映了小米在蒸煮过程中固形物溶出

表2　24个产地小米营养组分均值

Table 2　Nutritional quality evaluation of millet from different origins

变量 Variables	淀粉总含量/% Starch content	脂肪含量/% Fat content	直链淀粉含量/% Amylose content	蛋白质含量/% Protein content	纤维素含量/% Cellulose content	灰分含量/% Ash content	黄色素含量/(mg/kg) Yellow pigment content
均值 Average value	81.43	5.56	14.73	13.59	2.75	1.43	32.98
变幅 Range of change	6.98	1.10	8.30	2.75	2.43	1.77	14.64
变异系数/% Coefficient of variation	2.03	5.68	12.37	4.84	24.51	23.42	9.85

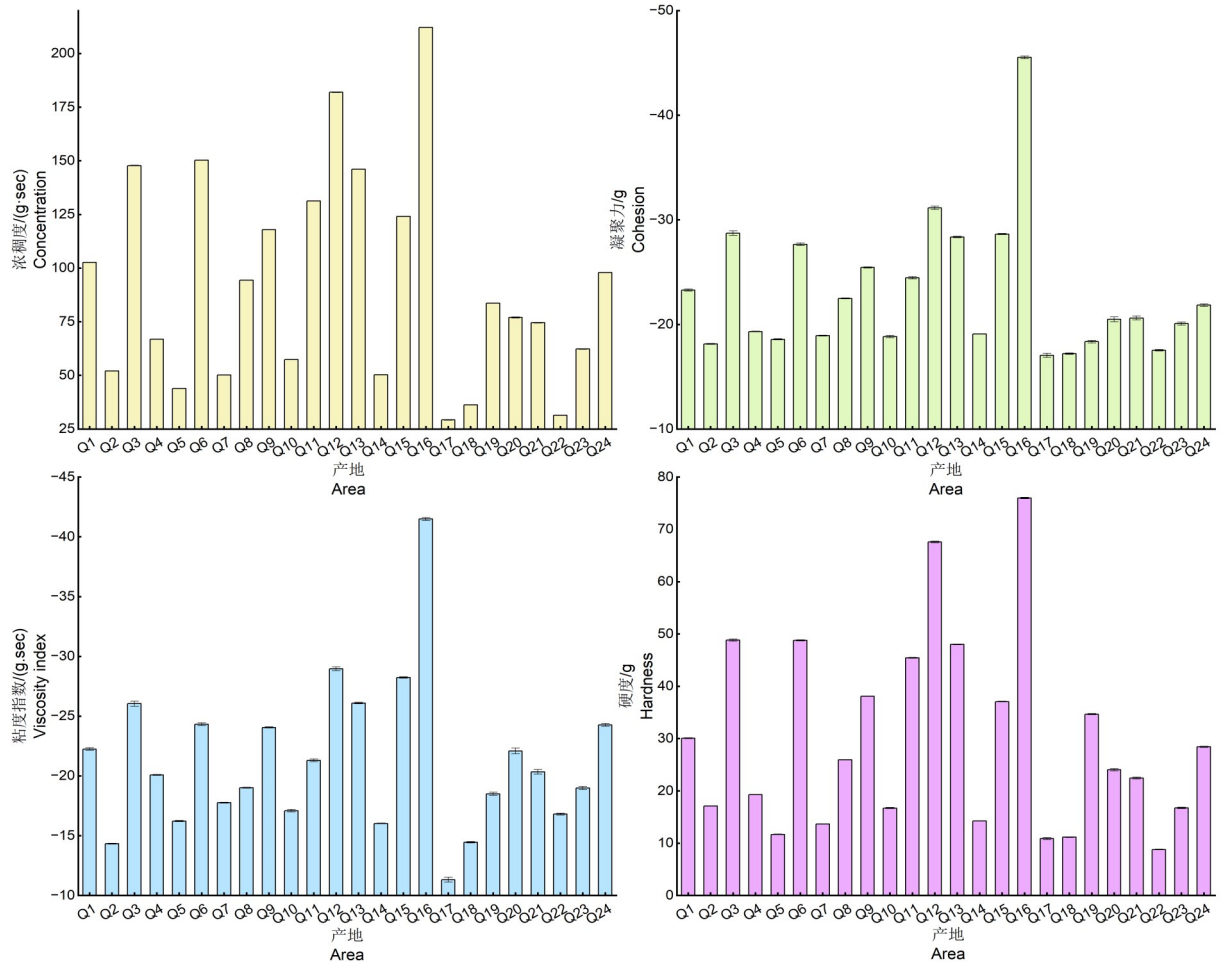
情况,在蒸煮过程中,各营养组分如淀粉、蛋白质、纤维素等内部结构被破坏,导致固形物因吸水膨胀而溶出,进而影响米粥浓稠度。不同产地的'晋谷21'小米粥pH值为7.99～8.61,均为弱碱性。由图2可见,从硬度指标来看,忻州地区的小米粥硬度较大,定襄(Q16)、原平(Q12)的小米粥硬度明显高于其它产地的小米,而山西榆社(Q22)的米粥硬度最小。不同产地小米的小米粥浓稠度差异较大,山西定襄(Q16)的米粥浓稠度最大。此外,浓稠度与其硬度特性可能密切相关,硬度越大,其浓稠度也越大。由图1中可以看出,山西娄烦(Q17)的小米粥凝聚力跟粘度指数最大,山西定襄(Q16)的小米粥凝聚力跟粘度指数最小。

2.3　不同产地'晋谷21'小米饭蒸煮品质分析

加工方式对蒸煮品质有很大的影响,对24种小米饭蒸煮品质分析发现,不同产地小米饭蒸煮品质存在较大差异(图3)。山西沁县(Q2)、山西石楼(Q3)、山西阳曲(Q19)等地小米饭硬度较大,与陕西志丹(Q8)、山西柳林(Q13)、山西定襄(Q16)等地存在明显差异,其它产地间差异不明显。不同产地小米饭粘性为-0.064～-1.657 g·sec,其中山西柳林(Q13)小米饭粘性最高(-0.064 g·sec),其次为山西兴县(Q20;-0.352 g·sec),山西娄烦(Q17)最低(-1.657 g·sec)。不同产地小米饭弹性为0.857～2.822 g,其中山西柳林(Q13)弹性最高(2.882 g),其次为甘肃静宁(Q15;0.881 g),山西沁水(Q11)小米饭弹性最低(0.857 g)。各产地小米凝聚力差异不大,表现出较好的一致性。由图4可见,24个产地小米饭的硬度、胶黏性、咀嚼度变化范围较小,表现出较好的一致性。但也出现了2.822(弹性)、245.761(硬度)、167.633(胶黏性)、612.682(咀嚼性)这4个异常值,意味着各产地的小米品质在生产和分析过程中可能会受到生态环境等因素的影响,产生一定的误差。

2.4　不同产地'晋谷21'小米淀粉糊化特性分析

糊化是指经过加温后淀粉颗粒晶体逐渐溶胀分解变成糊状溶液的不可逆过程[24],糊化时间和糊化温度可以反映小米糊化的难易程度,糊化时间越短、糊化温度越低,小米越易糊化,其蒸煮性越好。从表2可见,24个产地小米粉的糊化温度差距不大,变幅为79.5～88.0 ℃,以山西沁水(Q11)糊化温度最低(79.5 ℃),山西汾阳(Q14)糊化温度最高(88.0 ℃),这与胡强等[25]的研究中小米粉的糊化温度介于73.4～101.8 ℃相似。崩解值反映了淀粉颗粒在糊化过程中分解的难易程度,崩解值越大,淀粉热稳定性和抗剪切能力越差。如表2所示,山西的临县(Q5)与陕西的志丹(Q8)、定边(Q23)、米脂(Q24)的小米崩解值高于其它产地,表明这4个产地所产小米的抗剪切能力较差,山西汾阳(Q14)崩解值最小为374.5 cP,其淀粉热稳定性最好。回生值是淀粉从开始冷却到冷却结束的黏度变化,可反映小米的冷糊稳定性及凝胶性。回生值越高,小米冷糊稳定性越差,凝胶性越强。山西临县(Q5)、北京延庆(Q6)、陕西定边(Q23)的回生值分别是2 508.5、2 517.0和2 497.0 cP,明显高于其它产地,说明其在冷却过程中老化速度较快[26],小米更适合生产口感顺滑、有弹性的凝胶食品;相反,山西汾阳(Q14)、山西定襄(Q16)等地小米淀粉回生值较小,更适合做即食食品。24个产地小米粉峰值黏度为1 343.0～1 838.5 cP,其中山西汾阳(Q14)小米峰值黏度最小为1343 cP,而陕西米脂(Q24)小米峰值黏度最大为1 838.5 cP;



Q1～Q24所对应的产地见表1

The corresponding origins of Q1～Q24 were shown in Table 1

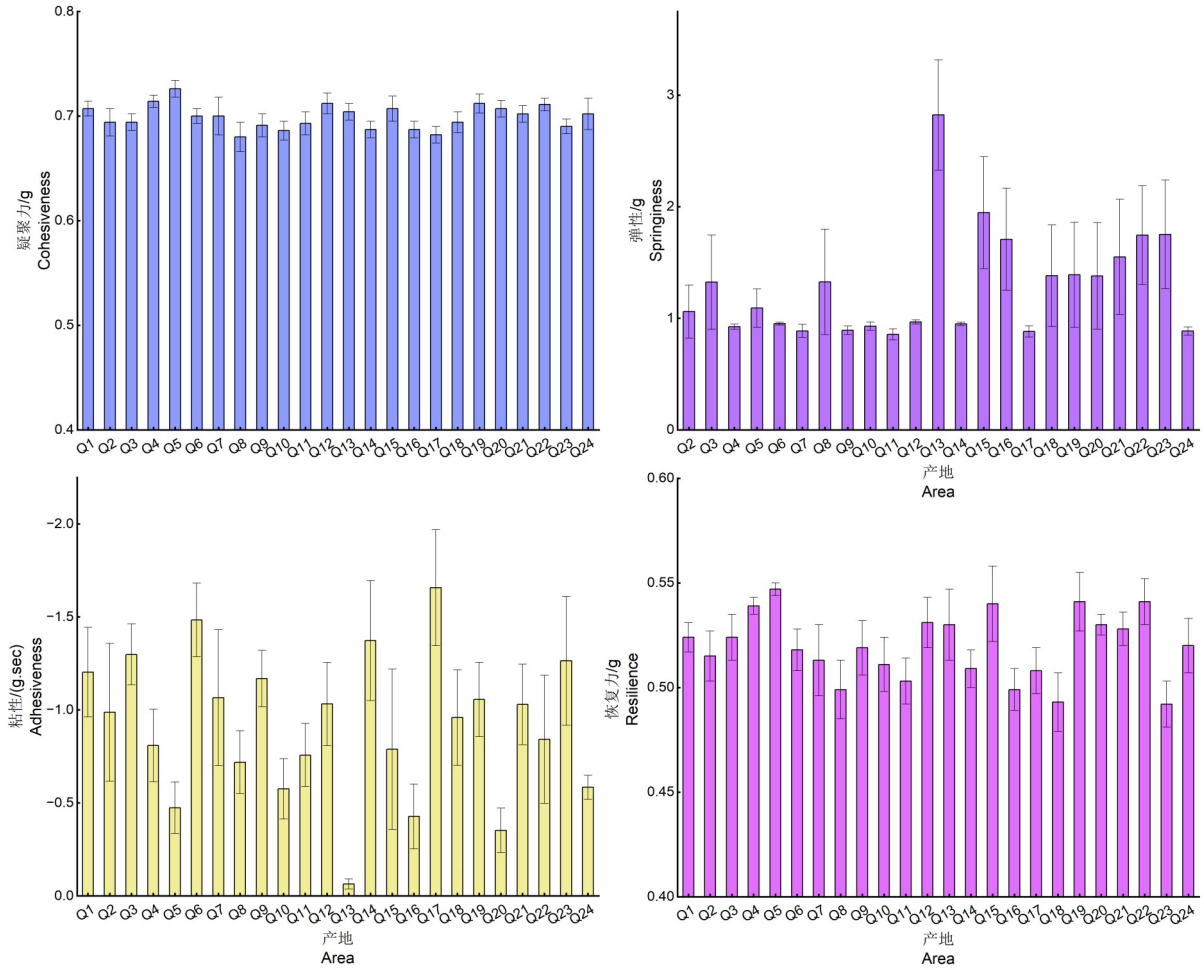
图2 不同产地小米粥蒸煮品质

Fig. 2 Cooking quality of millet porridge from different origins

低谷黏度为828.0～1 209.5 cP,其中陕西志丹(Q8)小米低谷黏度最小为828.0 cP,而山西定襄(Q16)小米低谷黏度最大为1209.5 cP;最终黏度变化范围为2 700.5～3 642.0 cP,北京延庆(Q6)小米最终黏度最大为3 642.0 cP,而吕梁汾阳(Q14)最小为2 700.5 cP。

2.5 '晋谷21'灰色关联度综合评价

依据灰色关联度分析的原理,构建一个理想产地下的'晋谷21',选取淀粉、直链淀粉、蛋白质、脂肪、纤维、灰分、黄色素含量共7项指标为参考指标。根据各参考指标对实际感官评定的影响,其中淀粉、直链淀粉、灰分、蛋白质含量取最小值,脂肪、黄色素、纤维含量取最大值[27-28],构成参考数列。不同产地'晋谷21'参试指标的关联系数范围在0.333～1.000之间(表3)。由于各参试指标的特征重要性不同,所对应的权重值也不同。各营养成分权重表现为淀粉含量>蛋白质含量>脂肪含量>黄色素含量>直链淀粉含量>纤维素含量>灰分含量。根据权重建立综合模型,Y_k=0.185X_1 + 0.174X_2 + 0.122X_3 + 0.176X_4+0.108X_5+0.080X_6+0.155X_7(X_1:淀粉含量;X_2:脂肪含量;X_3:直链淀粉含量;X_4:蛋白质含量;X_5:纤维素含量;X_6:灰分含量;X_7:黄色素含量)。将关联系数带入关联度公式,按灰色综合评价原则,加权关联度能够更全面、明显地对比出参试产地'晋谷21'的综合性状优劣,其加权关联度越大,表明该产地'晋谷21'与理想产地的'晋谷21'越接近。由分析结果可见,各产地间的关联度较为接近,即不同产地'晋谷21'综合品质相差不大(表4)。24个产地的'晋谷21'加权关联度表现为山西兴县>陕

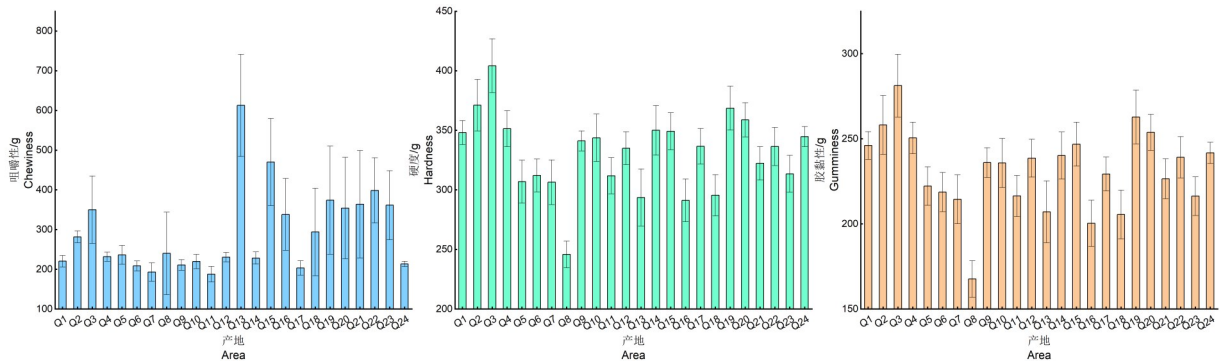


Q1～Q24所对应的产地见表1

The corresponding origins of Q1～Q24 were shown in Table 1

图3　不同产地小米饭的蒸煮品质(凝聚力、弹性、粘性、恢复力)

Fig. 3　Cooking quality of millet from different origins(cohesiveness, springiness, adhesiveness, and resilience)



Q1～Q24所对应的产地见表1

The corresponding origins of Q1～Q24 were shown in Table 1

图4　不同产地小米饭的蒸煮品质(咀嚼性、硬度、胶黏性)

Fig. 4　Cooking quality of millet from different origins(chewiness, hardness, and gumminess)

西志丹＞山西阳曲＞山西沁水＞山西原平＞山西柳林＞北京延庆＞甘肃平凉＞山西离石＞宁夏海原＞山西石楼＞山西娄烦＞山西临县＞陕西米脂＞山西太谷＞山西昔阳＞山西山阴＞山西古

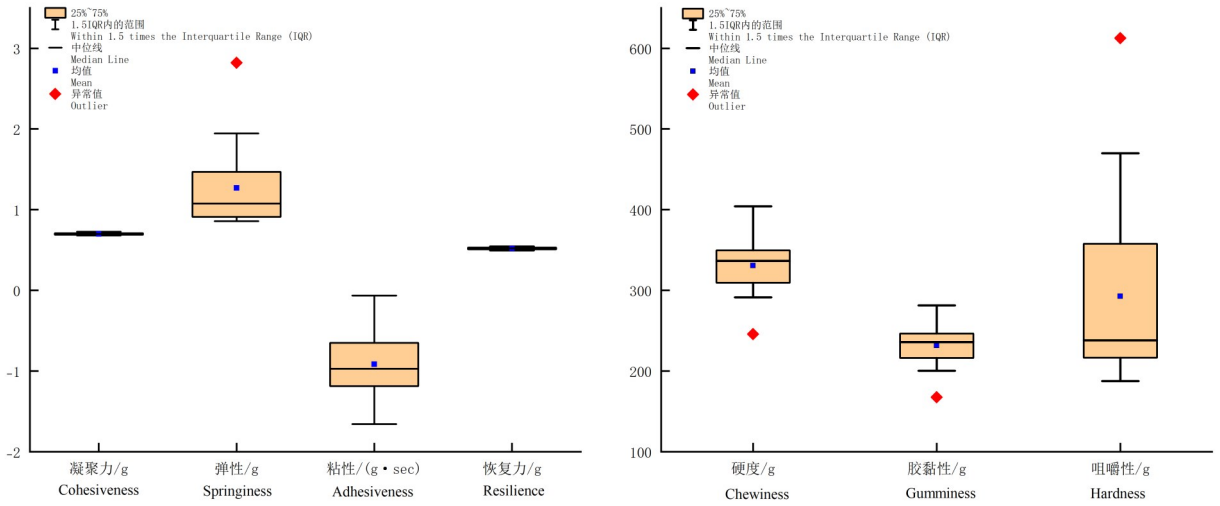


图5 24个产地小米饭蒸煮品质均值

Fig. 5 Average cooking quality of millet rice from 24 original production regions

县>陕西定边>山西沁县>陕西子长>山西定襄>山西榆社>山西汾阳。其中,山西兴县的'晋谷21'与理想产地最为接近(r*=0.806),综合品质最好。其次是陕西志丹产出的'晋谷21'(r*=0.798),山西汾阳的关联度与理想产地相差最大(r*=0.702)。

3 讨论

小米品质除了受遗传因素控制外,还受生态环境因素影响,且生态环境是影响小米营养品质的重要因素,温度、日照时数、土壤、降水量、海拔高度、纬度等生态环境因子对小米营养成分累积均有不同程度影响[29]。在本研究中,不同产地对各品质指标影响存在差异。淀粉、直链淀粉、蛋白质、脂肪、黄色素、膳食纤维、灰分都是小米的营养组分,其中直链淀粉、纤维素、灰分三者受生态环境影响较大,变异系数分别为12.37%,24.51%和23.42%,其余指标的变异系数均小于10%。说明生态环境对相同基因型谷子营养品质的影响程度不同,品质受基因和生态环境互作的影响。这与梁克红等[10]称地域因素主要对小米中的蛋白质、脂肪、膳食纤维和灰分含量影响显著的研究结果不完全一致,可能是生态环境因素包含变量较多、多种生态环境因素综合作用所造成。多数产地'晋谷21'的营养组分差异较小,可能与所选择产地气候、海拔、降水量及日照时数差异较小有关。

直链淀粉、蛋白质、脂肪含量与小米蒸煮食味品质相关。章洁琼等[30]研究发现,当直链淀粉含量在25%以上,小米饭干燥发硬,口感较差。小米的蛋白质含量越高,米粥的米汤越清澈,黏度越小;淀粉含量越高,米汤固形物含量越高;直链淀粉含量越高,小米粥越黏稠。小米的直链淀粉含量、糊化温度范围与小米粥的各项适口性得分呈极显著负相关。对小米饭而言,直链淀粉含量太低的品种米饭黏性大;直链淀粉含量太高的品种米饭干燥,容易回生,适口性差。一般直链淀粉含量在14%~18%的品种,小米饭蓬松柔软,适口性好。本研究灰色关联分析结果表明,淀粉、脂肪、蛋白质、黄色素含量在评价体系中权重占比较大,可初步作为品种评价与筛选时的关键性状。此外,营养组分与蒸煮品质之间存在一定的相关性,有研究表明蛋白质含量与糊化温度呈显著正相关;直链淀粉含量与峰值黏度、低谷黏度、最终黏度呈显著负相关,与糊化温度呈极显著正相关。蛋白质、粗脂肪及灰分含量增加可以降低淀粉膨胀速率,进而影响淀粉性质[31]。除此之外,各个产地的小米粥硬度均小于小米饭硬度,小米粥与小米饭质构结果差异较大,说明加工方式对小米蒸煮品质也有一定程度的影响。食味品质与峰值黏度和崩解值均呈极显著正相关,表明小米的食味品质越好,其峰值黏度和崩解值越高。因此,峰值黏度和崩解值可作为小米淀粉关键理化性质反映小米的食味品质。种植于山西临县的小米峰值黏度1 812.5 cP,崩解值较高为769 cP,陕西米脂的

表2　不同产地小米淀粉糊化特性

Table 2　Pasting characteristics of millet starch from different regions

产地 Origin	峰值黏度/cP Peak viscosity	低谷黏度/cP Trough viscosity	崩解值/cP Disintegration value	最终黏度/cP Final viscosity	回生值/cP Setback value	糊化时间/min Gelatinization time	糊化温度/℃ Pasting temperature
Q1	1 777.5±82.7	1 073.5±46.0	704.0±36.8	3 406.0±26.0	2 332.5±21.0	5.5±0.0	84.4±0.5
Q2	1 571.5±34.6	1 036.5±6.4	535.0±28.3	3 232.5±65.8	2 196.0±59.4	5.6±0.0	86.5±0.1
Q3	1 665.0±5.7	1 033.5±0.7	631.5±6.4	3 429.0±49.5	2 395.5±48.8	5.5±0.0	85.2±0.5
Q4	1 629.5±64.3	1 003.0±48.1	626.5±16.3	3 254.0±80.6	2 251.0±32.5	5.4±0.0	81.9±0.6
Q5	1 812.5±84.1	1 043.5±51.6	769.0±32.5	3 552.0±75.0	2 508.5±23.3	5.4±0.0	83.2±1.2
Q6	1 831.0±17.0	1 125.5±6.4	705.5±10.6	3 642.5±43.1	2 517.0±36.8	5.6±0.0	84.4±0.6
Q7	1 587.0±19.8	1 115.5±14.8	471.5±4.9	3 347.5±20.1	2 232.0±15.3	5.7±0.0	86.5±0.1
Q8	1 556.0±93.3	828.0±32.5	728.0±60.8	2 850.0±67.9	2 022.0±35.4	5.3±0.0	80.6±1.2
Q9	1 652.5±137.9	1 043.0±60.8	609.5±77.1	3 292.5±11.0	2 249.5±50.2	5.5±0.0	83.2±1.2
Q10	1 444.5±30.4	938.0±9.9	506.5±20.5	2 910.5±36.1	1 972.5±26.2	5.3±0.0	79.9±0.0
Q11	1 522.5±14.8	959.0±145.7	563.5±160.5	3 137.5±35.0	2 178.5±24.4	5.4±0.1	84.0±3.4
Q12	1 533.5±0.7	977.0±21.2	556.5±20.5	3 044.0±24.0	2 067.0±45.3	5.4±0.0	79.5±0.7
Q13	1 530.0±38.2	973.5±0.7	556.5±38.9	3 164.5±40.3	2 191.0±41.0	5.5±0.0	83.2±0.0
Q14	1 343.0±11.3	968.5±6.4	374.5±4.9	2 700.5±19.1	1 732.0±12.7	5.6±0.0	88.0±0.1
Q15	1 586.0±82.0	976.5±26.2	609.5±55.9	3 406.0±7.1	2 429.5±19.1	5.5±0.0	86.9±0.5
Q16	1 837.0±117.4	1 209.5±53.0	627.5±64.3	2 860.0±17.8	1 650.5±13.7	5.6±0.0	86.4±0.0
Q17	1 669.5±34.6	1 009.0±17.0	660.5±17.7	3 394.0±17.0	2 385.0±2.3	5.4±0.0	81.9±0.5
Q18	1 550.5±72.8	846.0±9.9	704.5±62.9	2 881.5±46.0	2 035.5±36.1	5.4±0.0	82.0±0.6
Q19	1 713.0±84.9	1 126.5±54.4	586.5±30.4	3 602.0±13.6	2 475.5±84.1	5.6±0.0	86.0±0.6
Q20	1 441.5±53.0	942.5±10.6	499.0±42.4	2 948.5±19.1	2 006.0±8.5	5.4±0.0	82.3±0.0
Q21	1 457.0±15.6	882.0±5.7	575.0±9.9	3 028.0±11.3	2 146.0±5.7	5.4±0.0	84.8±0.0
Q22	1 523.0±12.7	947.5±9.2	575.5±3.5	3 157.0±14.1	2 209.5±4.9	5.4±0.0	81.5±0.1
Q23	1 734.5±106.8	993.0±35.4	741.5±71.4	3 490.0±13.9	2 497.0±37.6	5.5±0.0	83.6±0.6
Q24	1 838.5±88.4	1 099.5±46.0	739.0±42.4	3 516.0±80.6	2 416.5±34.6	5.6±0.0	84.0±1.1
均值 AVG	1 616.9	1 006.3	610.7	3 218.6	2 212.3	5.5	83.7
最大值 MAX	1 838.5	1 209.5	769.0	3 642.5	2 517.0	5.7	88.0
最小值 MIN	1 343.0	828.0	374.5	2 700.5	1 650.5	5.3	79.5

注:Q1～Q24所对应的产地见表1。

Note: The corresponding origins of Q1～Q24 were shown in Table 1.

小米峰值黏度较高为1 838.5 cP,崩解值739 cP,这两地的‘晋谷21’适口性好,可以进一步探究土壤肥力和气候因子影响谷子籽粒品质机理,为优质栽培提供理论依据。

山西、陕西、宁夏、甘肃、北京的24个不同产地的种植试验结果表明,若追求小米外观品质较好,适宜在平均气温高、平均降水量大、纬度低、气温日较差小的地区栽种;相反,若追求小米烹饪和食用品质较好,此时更适合在高海拔和高纬度、昼夜温差大、土壤有机质含量高、平均温度和平均降水量低的地区种植。因此,可根据小米的预期用途选择适宜的栽培地点。不足的是,本研究中未进行多年多点试验,还未量化产地生态环境因素如气候特征、土壤肥力、土壤成分等的影响,所选取的评价指标还不够丰富,下一步需增加不同类型品种及试验地点进行深入研究,综合谷子其它生产性能更全面地进行评价。

4　结论

不同产地的‘晋谷21’品质特性受生态环境因素影响,其中纤维素和灰分含量受生态环境影响最大。各营养成分的权重表现为淀粉含量＞蛋白质含量＞脂肪含量＞黄色素含量＞直链淀粉含量＞纤维素含量＞灰分含量。采用加权关联

表3 参试品种与理想参考品种的关联系数

Table 3 Correlation coefficient of experimental varieties and reference varieties

产地 Origin	淀粉含量 Starch content	脂肪含量 Fat content	直链淀粉含量 Amylose content	蛋白质含量 Protein content	纤维素含量 Cellulose content	灰分含量 Ash content	黄色素含量 Yellow pigment content
Q1	0.921	0.793	0.587	0.890	0.610	0.362	0.752
Q2	0.924	0.835	0.555	0.857	0.508	0.377	0.766
Q3	0.920	0.793	0.576	0.998	0.527	0.392	0.740
Q4	1.000	0.799	0.529	0.812	0.491	0.346	0.852
Q5	0.880	0.814	0.622	0.935	0.408	0.384	0.836
Q6	0.913	0.869	0.566	0.926	0.495	0.394	0.896
Q7	0.930	0.801	0.733	0.795	0.635	0.368	0.700
Q8	0.885	0.801	0.535	1.000	0.654	0.350	1.000
Q9	0.917	0.938	0.524	0.869	0.409	0.365	0.792
Q10	0.915	0.997	0.597	0.850	0.398	0.340	0.816
Q11	0.916	0.850	0.539	0.866	0.919	0.386	0.796
Q12	0.929	1.000	0.578	0.934	0.524	0.371	0.766
Q13	0.904	0.867	0.574	0.896	0.770	0.333	0.817
Q14	0.927	0.762	0.625	0.754	0.477	0.382	0.689
Q15	0.921	0.910	0.562	0.893	0.412	1.000	0.583
Q16	0.889	0.839	0.626	0.825	0.492	0.394	0.670
Q17	0.924	0.920	0.578	0.862	0.440	0.366	0.814
Q18	0.879	0.758	0.583	0.850	0.421	0.346	0.859
Q19	0.888	0.896	0.721	0.875	0.749	0.382	0.764
Q20	0.954	0.980	1.000	0.798	0.478	0.371	0.743
Q21	0.969	0.892	0.598	0.831	0.626	0.391	0.699
Q22	0.935	0.850	0.618	0.853	0.474	0.337	0.605
Q23	0.892	0.833	0.555	0.926	0.458	0.373	0.779
Q24	0.936	0.878	0.551	0.902	0.465	0.382	0.748
权重 Weight	0.185	0.174	0.122	0.176	0.108	0.080	0.155

注:Q1～Q24所对应的产地见表1。

Note: The corresponding origins of Q1～Q24 were shown in Table 1.

表4 参试品种加权关联度与排序

Table 4 Weight association and rank of experimental varieties

编号 Number	产地 Origin	加权关联度 Equal relational grade	排名 Ranking	编号 Number	产地 Origin	加权关联度 Equal relational grade	排名 Ranking
Q20	山西兴县	0.806	1	Q5	山西临县	0.749	13
Q8	陕西志丹	0.798	2	Q24	陕西米脂	0.749	14
Q19	山西阳曲	0.792	3	Q1	山西太谷	0.748	15
Q11	山西沁水	0.789	4	Q7	山西昔阳	0.747	16
Q12	山西原平	0.786	5	Q9	山西山阴	0.746	17
Q13	山西柳林	0.782	6	Q4	山西古县	0.744	18
Q6	北京延庆	0.776	7	Q23	陕西定边	0.741	19
Q15	甘肃平凉	0.769	8	Q2	山西沁县	0.739	20
Q10	山西离石	0.762	9	Q18	陕西子长	0.722	21
Q21	宁夏海原	0.761	10	Q16	山西定襄	0.721	22
Q3	山西石楼	0.757	11	Q22	山西榆社	0.719	23
Q17	山西娄烦	0.756	12	Q14	山西汾阳	0.702	24

度进行综合评价,发现不同产地间'晋谷21'综合品质较为接近。其中,山西兴县'晋谷21'的综合品质最好,山西汾阳的'晋谷21'与理想品种相差最大。种植于山西临县和陕西米脂的'晋谷21'适口性较好。谷子籽粒营养品质成分与食味品质密切相关,食味好坏直接关系到谷子商品性,因此,在现有谷子品种的基础上,通过优化栽培管理措施提高谷子品质具有重要意义。

参 考 文 献

[1]李顺国,刘斐,刘猛,等.中国谷子产业和种业发展现状与未来展望[J].中国农业科学,2021,54(3):459-470.
Li S G, Liu F, Liu M, et al. Current status and future prospective of foxtail millet production and seed industry in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(3): 459 - 470.

[2]Ramashia S E, Anyasi T A, Gwata E T, et al. Processing, nutritional composition and health benefits of finger millet in sub-saharan Africa [J]. Food Science and Technology, 2019, 39 (2): 253-266.

[3]Coulibaly A, Kouakou B, Chen J. Phytic acid in cereal grains: structure, healthy or harmful ways to reduce phytic acid in cereal grains and their effects on nutritional quality [J]. American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology, 2011, 1 (1): 1-22.

[4]Bourassa P, Hasni I, Tajmir-Riahi H A. Folic acid complexes with human and bovine serum albumins [J]. Food Chemistry, 2011, 129 (3): 1148-1155.

[5]Amadou I, Gounga M E, Le G W. Millets: nutritional composition, some health benefits and processing-a review [J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2013, 25 (7): 501-508.

[6]刘建垒,常柳,段晓亮,等.谷子的生产概况及其保健功能与机理研究进展[J].食品工业科技,2022,43(5):389-395.
Liu J L, Chang L, Duan X L, et al. Foxtail millet: production status, advances in health benefits and its mechanism [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43 (5): 389-395.

[7]杨延兵,张涵,王润丰,等.谷子籽粒小米黄色素含量的测定[J].中国粮油学报,2019,34(3):121-125.
Yang Y B, Zhang H, Wang R F, et al. Determination of yellow pigment content in foxtail millet [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(3): 121-125.

[8]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 variety and regional factors related to nutrient quality in millet [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2013.

[9]禾璐,贾苏卿,马磊磊,等.不同栽培生境因子对2个谷子品种营养品质影响的研究[J].种子,2020,39(6):94-98.
He L, Jia S Q, Ma L L, et al. Study on effects of different cultivation habitat factors on nutritional quality of two millet [J]. Seed, 2020, 39(6): 94-98.

[10]赵海云,陈继富,王宏丽,等.不同生态环境对优质谷品质的影响[J].中国生态农业学报,2002,10(3):65-67.
Zhao H Y, Chen J F, Wang H L, et al. Effect of different ecological environment on quality in high-quality millet [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(3): 65-67.

[11]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.

[12]国家标准局.谷物籽粒粗淀粉测定法: NY/T 11-1985[S].北京:中国标准出版社, 1985: 1-3.
National Bureau of Standards of the People's Republic of China. Determination of coarse starch in grains: NY/T 11-1985[S]. Beijing: Standards Press of China, 1985: 1-3.

[13]中华人民共和国农业部.水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法: NY/T 55-1987[S].北京:中国标准出版社, 1987: 1-5.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of amylose in rice, maize and millet: NY/T 55-1987[S].Beijing: Standards Press of China, 1987: 1-5.

[14]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S].
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard-determination of protein in foods: GB 5009.5-2016[S].

[15]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6-2016[S].
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard-determination of fat in foods: GB 5009.6-2016[S].

[16]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4-2016[S].
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard-determination of fat in foods: GB 5009.4-2016[S].

[17]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.粮油检验 粮食中粗纤维素含量测定 介质过滤法: GB/T 5515-2008[S].北京:中国标准出版社, 2008: 1-6.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils-determination of crude cellulose content in grain-medium filtration method: GB/T 5515-2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1-6.

[18]张凡,李书田,王显瑞,等.不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J].食品科学,2020,41(9):23-29.

Zhang F, Li S T, Wang X R, et al. Comparative evaluation and analysis of cooking and eating quality of different foxtail millet varieties[J]. Food Science,2020,41(9):23-29.

[19]尹瑞旸,李星,沈群.小米饭食用品质评价模型的建立[J].中国食品学报,2020,20(6):270-277.
Yin R Y, Li X, Shen Q. Establishment of edible quality evaluating model of millet[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020,20(6): 270-277.

[20]刘辉,张敏.不同品种小米的直链淀粉含量与快速黏度分析仪谱特征值关系研究[J].食品科学,2010,31(15):31-33.
Liu H, Zhang M. Relationships between amylose content and gelatinization characteristics of different varieties of millet[J]. Food Science,2010,31(15):31-33.

[21]黄薇,常巍,余淑艳,等.16份无芒雀麦种质资源生产性能与营养品质的综合评价[J].草业科学,2021,38(11):2237-2246.
Huang W, Chang W, Yu S Y, et al. Comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of 16 *Bromus inermis* germplasm resources [J]. Pratacultural Science, 2021, 38(11): 2237-2246.

[22]Singh P, Srivastava S. Nutrient composition of some new varieties of finger millet (Eleusine coracana)[J]. Journal of Community Mobilization and Sustainable Development,2006,1(2): 115-120.

[23]周湘寒,许思楠,王梦迪,等.不同品种小米营养组分与小米粥品质、风味特性的相关性分析[J].中国粮油学报,2023,38(5):58-65.
Zhou X H, Xu S N, Wang M D, et al. Correlation analysis of different millets' nutritional compositions with quality and flavor characteristics of millet porridge [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2023,38(5): 58-65.

[24]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.

[25]胡强,孟岳成.淀粉糊化和回生的研究[J].食品研究与开发,2004,25(5):63-66.
Hu Q, Meng Y C.A review on the gelatinization of rice starch and aging[J]. Food Research and Development,2004,25(5): 63-66.

[26]张卓敏.黑龙江省小米主栽品种理化特性与感官品质的相关性研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2018.
Zhang Z M. Research on relativity between physical-chemical properties and sensory quality of main cultivar millets in Heilongjiang Province [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2018.

[27]赵欣,梁克红,朱宏,等.不同米色小米营养品质与蒸煮特性研究[J].食品工业科技,2020,41(24):298-303.
Zhao X, Liang K H, Zhu H, et al. Nutritional quality evaluation and analysis on the cooking quality of foxtail millet with different color [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020,41(24): 298-303.

[28]张艾英,郭二虎,刁现民,等.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, et al.Effects of different types of climate and soil on foxtail millet quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(18): 3218-3231.

[29]Ma K, Zhao L R, Zhao X T, et al. The relationship between ecological factors and commercial quality of high-quality foxtail millet"Jingu 21"[J]. Food Research International, 2023, 163: 112225.

[30]章洁琼,刘辉,邹军,等.不同小米品种理化品质及感官品质分析与评价[J].中国粮油学报,2022,37(5):70-78.
Zhang J Q, Liu H, Zou J, et al. Analysis and evaluation of physical and chemical and sensory quality of different varieties of millet [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2022,37(5):70-78.

[31]Makowska A, Szwengiel A, Kubiak P, et al. Characteristics and structure of starch isolated from *Triticale* [J]. Starch - Stärke, 2014, 66(9-10): 895-902.

(编辑:郭玥微)