

## 小米粥食用品质与米粒感官品质及营养成分的相关性分析

刘建奎, 常柳, 洪宇, 张东, 孙辉, 段晓亮\*

(国家粮食和物资储备局科学研究院 北京 102629)

**摘要** 为深入探究小米粥食用品质与米粒感官品质及营养成分的相关性,收集 49 份代表性商品黄小米,对小米粥的食用品质、米粒感官品质和营养成分含量、三者的相关性进行较为全面的分析。米粒的色泽、均匀性和气味是影响小米粥色泽和滋味的关键因素,而通过米粒的感官评分无法直接判定小米粥的均匀性和适口性。小米粥的色泽与脂肪酸值和维生素 B<sub>1</sub> 的含量呈显著负相关关系;粥的均匀性与不溶性膳食纤维和维生素 B<sub>1</sub> 含量均呈显著负相关关系;粥的滋味与粗蛋白、粗脂肪、不溶性膳食纤维、多数维生素和氨基酸的含量及脂肪酸值均呈显著负相关关系;粥的适口性与直链淀粉含量呈极显著正相关关系,与其它多数营养成分的含量均呈显著负相关关系。小米粒的色泽和均匀性均与维生素 B<sub>1</sub> 含量呈显著负相关关系;米粒完整性与多数营养成分含量呈显著正相关关系,与直链淀粉含量呈显著负相关关系;米粒的气味与可溶性膳食纤维及总膳食纤维含量均呈显著正相关关系。色泽、均匀性和气味好的小米煮粥的色泽和滋味也好,而完整性好的小米营养价值更高。

**关键词** 小米;食用品质;感官品质;营养成分;直链淀粉

**文章编号** 1009-7848(2023)08-0406-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.08.040

小米是起源于中国的古老农作物<sup>[1]</sup>,它不仅富含淀粉、蛋白质、脂肪、膳食纤维、维生素等营养物质<sup>[2-3]</sup>,具有重要的营养价值;而且含有丰富的酚类、活性肽、类胡萝卜素等功能活性成分,具有降血糖、降血脂、降血压等多种保健功能<sup>[4-5]</sup>。因此,小米可以满足人们对营养健康食物的需求,也受到人们越来越多的关注。

小米的食用方式以煮粥为主<sup>[6]</sup>,且已有成熟的小米粥食用品质感官评价方法<sup>[7]</sup>,而有关小米籽粒感官评价的报道相对较少,且主要集中在米色的成分分析方面<sup>[8]</sup>;也有用色泽、米色一致性和均匀度衡量小米的感官品质,并与黄色素的含量进行关联<sup>[9]</sup>。也有少量报道将小米的食用品质与米粒感官品质进行关联,如有研究表明色泽好的小米品种制作的小米饭的适口性也好<sup>[10]</sup>,而有关小米粥食用品质与米粒感官品质的关联尚未见系统报道。相关性分析在评价食品营养成分和食用品质方面被广泛应用。现有的小米粥食用品质与营养

成分含量的关系研究中,有报道称小米粥的食味品质与小米粒蛋白质含量呈极显著负相关关系,与脂肪和粗纤维含量的相关性均不显著<sup>[11]</sup>。然而,目前研究用的样本量通常较少,且分析的指标较少,部分指标之间的相关性可能被忽略<sup>[12]</sup>。

为深入探究小米粥食用品质与米粒感官品质及营养成分的相关性,本研究从全国主产省收集 49 份商品黄小米,首先对小米粥食用品质和米粒感官品质进行评价,并分析小米籽粒的营养成分,进一步系统分析并深入揭示小米粥食用品质与米粒感官品质及营养成分的相关性,为消费者从感官上选择好吃又营养的小米提供数据支持。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与试剂

从全国主产省收集 49 份商品黄小米,均为 2017 年收获,2018 年初完成各项检测。样品采集省份及数量分别为山西 18 份、内蒙古 5 份、甘肃 6 份、吉林 10 份、陕西 5 份、河北 2 份、宁夏 2 份、山东 1 份。

马铃薯直链淀粉(货号 A0512)、玉米支链淀粉(货号 10120),Sigma-Aldrich(上海)贸易有限公司;膳食纤维试剂盒(货号 K-INTDF),爱尔兰 Megazyme 公司。

收稿日期: 2022-08-26

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项课题(JY2103-1,ZX1927)

第一作者: 刘建奎,男,博士,助理研究员

通信作者: 段晓亮 E-mail: dxl@ags.ac.cn

## 1.2 仪器与设备

FIBERTEC 1023 型膳食纤维分析仪、Soxtec 8000 型索氏提取仪、CT293 型旋风式样品磨, 丹麦福斯分析仪器有限公司; E2695 型高效液相色谱仪, 美国 Waters 公司; 8900 型电感耦合等离子体质谱(ICP-MS/MS), 美国安捷伦科技有限公司; P9 型紫外/可见分光光度计, 上海美谱达仪器有限公司; Eppendorf 5430R 型高速冷冻式离心机, 德国 Eppendorf 公司; C21-WT2118 型电磁炉、直径 22 cm 不锈钢材质带盖平底锅, 美的集团股份有限公司等。

## 1.3 方法

1.3.1 小米粥制作及食用品质感官评价方法 小米粥的制作参考刘建奎等<sup>[7]</sup>的方法并略有改动, 简述如下: 用天平称取 100 g 小米, 放入直径 22 cm

的带盖平底锅中, 用自来水快速淘洗 2 次, 沥尽水分。按米水质量比 1:20 加入预先烧开的饮用水, 盖上锅盖, 在电磁炉 2 100 W 下煮沸; 取下锅盖, 将电磁炉功率调至 1 400 W, 继续煮至 25 min。期间间歇搅拌几次, 防止粥沸腾溢出。将锅从电磁炉上取下, 室温下放置, 待温度降至 65~70 ℃ (约 20 min) 时, 供感官品质评价。

小米粥食用品质感官评价方法及评分标准参考刘建奎等<sup>[7]</sup>的方法。评价员由 18 名经过培训的来自全国科研院所、高校及企业的小米行业专家组成。

1.3.2 小米粒感官品质评定方法 小米粒感官品质评定时, 对比参照样品对评分表中各评分项目分别进行评分。评价员组成同 1.3.1 节。

表 1 小米粒感官品质评分表

Table 1 Evaluation standards for sensory quality of milled foxtail millet kernel

项目	评分标准
色泽(40分)	好, 34~40分; 中, 27~33分; 差, 20~26分
均匀性(30分)	好, 26~30分; 中, 21~25分; 差, 16~20分
完整性(20分)	好, 18~20分; 中, 15~17分; 差, 11~14分
气味(10分)	好, 9~10分; 中, 7~8分; 差, 5~6分

1.3.3 小米粒营养成分测定方法 水分按 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的第一法测定; 粗蛋白按 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的第一法测定; 氨基酸按 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》中的方法测定; 粗脂肪按 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的第一法测定; 脂肪酸值按 GB/T 29405-2012《粮油检验 谷物及制品脂肪酸值测定 仪器法》中的方法测定; 直链淀粉按 GB/T 15683-2008《大米 直链淀粉含量的测定》中的方法测定; 膳食纤维按 GB 5009.88-2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》中的方法测定; 维生素 B<sub>1</sub> 按 GB 5009.84-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B<sub>1</sub> 的测定》中的第一法测定; 维生素 B<sub>2</sub> 按 GB 5009.85-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B<sub>2</sub> 的测定》中的第一法测定; 维生素 A 和维生素 E 按 GB 5009.82-

2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》中的方法测定; 矿物元素按 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中的方法测定, 其中铁、铜、锌按第一法, 钙、镁按第二法测定。所有营养成分均以干基计。营养指标检测主要由具有 CMA(中国计量认证)资质的第三方检测机构完成。

## 1.4 结果表示与数据处理

每个试验重复 2 次, 结果以平均值表示。若 2 次独立测定结果超过各标准方法中规定的误差范围, 则重新做双试样测试。小米粥食用品质和小米粒感官品质评价时, 根据每个评价员的综合评分结果计算平均值, 较平均值误差大的分值(误差超过平均分 5 分以上)应舍弃, 舍弃后重新计算平均值, 最后以综合评分的平均值作为感官评定的结果。为更好地进行统计和比较, 感官评分结果保留小数点后 1 位。用 Minitab 17.3.1 软件进行 Pearson 相关性分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 小米粥食用品质和小米粒感官品质评分分布

小米粥食用品质中色泽评分变幅为 14.8~18.5 分,均匀性变幅为 15.5~18.4 分,滋味变幅为 23.9~26.8 分,适口性变幅为 23.0~27.2 分,小米粥综合评分变幅为 79.7~89.9 分。小米粥食用品质评分中变异系数最大的为粥的色泽,其次是粥的适口性,再次为粥的均匀性,小米粥滋味的变异系数最小(表 2)。

小米粒感官品质中色泽评分变幅为 30.6~36.6 分,均匀性变幅为 24.1~27.1 分,完整性变幅为 16.1~18.4 分,气味变幅为 8.4~9.1 分,小米粒感

官品质综合评分变幅为 81.0~90.5 分。小米粒感官品质中变异系数最大的为米粒色泽,其次是米粒完整性,再次为米粒的均匀性,米粒气味的变异系数最小(表 2)。

小米粥食用品质和小米粒感官品质中差异最大的均是色泽评分,小米粥和小米粒的色泽均从深黄色有光泽到浅黄色无光泽,肉眼比较容易观察和区分;且有报道称小米的颜色主要受黄色素含量的影响<sup>[9]</sup>。差异最小的分别是粥的滋味和米粒的气味评分,可能是因为人的味觉和嗅觉器官对不同粥的滋味和米的气味区分度不大,因此,可以借助电子舌<sup>[11]</sup>或电子鼻<sup>[13]</sup>等仪器来进行更好的区分。

表 2 小米粥食用品质和小米粒感官品质评分结果

Table 2 Porridge eating quality and kernel sensory quality of milled foxtail millet

类别	项目	下四分位			上四分位			变异系数/ %
		最小值/分	数(P25)/ 分	中位数/分	数(P75)/ 分	最大值/分	平均值/分	
小米粥食用品质	色泽	14.8	16.4	17.0	17.4	18.5	16.9	5.2
	均匀性	15.5	17.2	17.5	17.9	18.4	17.5	3.4
	滋味	23.9	25.2	25.8	26.2	26.8	25.7	2.6
	适口性	23.0	25.0	26.1	26.5	27.2	25.7	4.0
	综合评分	79.7	83.8	85.9	87.7	89.9	85.8	3.0
小米粒感官品质	色泽	30.6	34.2	34.8	35.6	36.6	34.7	3.3
	均匀性	24.1	25.6	26.0	26.4	27.1	25.9	2.4
	完整性	16.1	17.3	17.5	17.8	18.4	17.5	2.6
	气味	8.4	8.6	8.8	8.8	9.1	8.7	1.9
	综合评分	81.0	85.7	86.8	88.1	90.5	86.8	2.3

### 2.2 小米样品的主要营养成分含量分布

小米常规营养成分中粗蛋白含量变幅为 9.0~12.9 g/100 g,粗脂肪含量变幅为 1.7~5.6 g/100 g;不溶性膳食纤维含量变幅为 1.15~6.12 g/100 g,可溶性膳食纤维含量变幅为 0.10~3.44 g/100 g,总膳食纤维含量变幅为 1.57~8.17 g/100 g。其中变异系数较大的是可溶性膳食纤维和不溶性膳食纤维的含量,其次为总膳食纤维和粗脂肪含量,粗蛋白含量的变异系数最小。维生素含量中维生素 B<sub>1</sub> 含量变幅为 0.137~0.286 mg/100 g,维生素 B<sub>2</sub> 含量变幅为 0.009~0.054 mg/100 g,维生素 A 含量变幅为 0.070~0.199 mg/100 g,维生素 E 含量变幅为 1.24~6.12 mg/100 g。其中变异系数最大的是维生素 E

含量,达 44.3%;其次为维生素 B<sub>2</sub> 含量,变异系数为 30.4%;维生素 A 和维生素 B<sub>1</sub> 含量的变异系数相对较小,分别为 22.0%和 20.3%(表 3)。

矿物元素中,钙含量变幅为 85~247 mg/kg,镁含量变幅为 562~2 844 mg/kg,铁含量变幅为 11.1~63.5 mg/kg,铜含量变幅为 2.57~11.32 mg/kg,锌含量变幅为 16.6~56.0 mg/kg,硒含量变幅为 0~3.12 mg/kg。其中变异系数最大的是硒含量,达 378.5%;其次为镁、铁、铜含量,变异系数均在 30%以上;锌和钙含量的变异系数相对较小,分别为 24.7%和 23.3%。氨基酸组成中,天冬氨酸含量变幅为 0.468~0.793 g/100 g,谷氨酸含量变幅为 1.584~2.478 g/100 g,甘氨酸含量变幅为 0.205~

0.504 g/100 g, 丙氨酸含量变幅为 0.738~1.129 g/100 g, 酪氨酸含量变幅为 0.120~0.558 g/100 g, 苯丙氨酸含量变幅为 0.420~0.664 g/100 g。其中变异系数最大的是酪氨酸含量, 达 24.7%, 其次为甘氨酸, 变异系数为 19.0%; 再次为苯丙氨酸、丙氨酸和谷氨酸, 变异系数均超过 10%; 天冬氨酸含量的变异系数最小, 为 9.3%(表 3)。

同时还对影响小米粥食用品质的两个重要指标——脂肪酸值和直链淀粉含量进行了检测, 显示脂肪酸值变幅为 18.6~186.4 mg/100 g, 变异系数达 55.6%; 直链淀粉含量变幅为 15.4%~23.9%, 变异系数为 10.0%(表 3)。

杨延兵等<sup>[14]</sup>报道了全国 270 个谷子品种的蛋白质含量变幅为 8.87%~16.25%, 变异系数 11.08%, 较本研究的变幅大; 脂肪含量变幅为 3.02%~5.06%, 变异系数 10.55%, 较本研究的变幅小。梁克红等<sup>[15]</sup>报道了我国 7 个品种 5 个地区小米膳食纤维含量的变幅为 1.30~2.91 g/100 g。刘晓辉等<sup>[16]</sup>

报道了吉林省 240 个小米品种的维生素 B<sub>1</sub> 含量变幅为 0.477~0.681 mg/100 g, 变异系数为 10.87%; 维生素 B<sub>2</sub> 含量变幅为 0.081~0.168 mg/100 g, 变异系数为 19.81%; 维生素 E 含量变幅为 3.82~7.94 mg/100 g, 变异系数为 20.04%。冯利芳<sup>[17]</sup>报道了内蒙古地区 44 份小米的矿物元素中钙含量变幅为 120.9~344.7 mg/kg, 镁含量变幅为 405.5~1 306.7 mg/kg, 铁含量变幅为 7.69~31.07 mg/kg, 铜含量变幅为 2.06~5.81 mg/kg, 锌含量变幅为 15.10~46.26 mg/kg。Liu 等<sup>[18]</sup>报道了 200 份全国主产区的谷子品种及品系中硒的含量变幅为 0.057~0.179 mg/kg。张桂英等<sup>[19]</sup>报道了 6 个小米品种的直链淀粉含量变幅为 15.73%~21.19%。冯耐红等<sup>[20]</sup>报道了 10 种山西主推品种小米的氨基酸组成。以上研究中除了钙含量之外, 各项指标的变幅均较本研究的变幅小, 原因可能与检测方法和样品代表性不同有关。

表 3 小米样品的主要营养成分含量

Table 3 Main nutrient contents of milled foxtail millet

项目	最小值	下四分位数 (P25)	中位数	上四分位数 (P75)	最大值	平均值
粗蛋白测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	9.0	9.6	10.6	11.0	12.9	10.4
粗蛋白变异系数/%	8.9					
粗脂肪测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	1.7	2.4	3.3	4.2	5.6	3.3
粗脂肪变异系数/%	32.2					
不溶性膳食纤维测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	1.15	1.75	2.85	4.14	6.12	2.94
不溶性膳食纤维变异系数/%	44.3					
可溶性膳食纤维测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	0.10	0.91	1.35	1.57	3.44	1.27
可溶性膳食纤维变异系数/%	46.3					
总膳食纤维测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	1.57	3.18	4.16	5.04	8.17	4.21
总膳食纤维变异系数/%	34.5					
维生素 B <sub>1</sub> 测定结果/mg·(100 g) <sup>-1</sup>	0.137	0.178	0.210	0.244	0.286	0.214
维生素 B <sub>1</sub> 变异系数/%	20.3					
维生素 B <sub>2</sub> 测定结果/mg·(100 g) <sup>-1</sup>	0.009	0.026	0.030	0.040	0.054	0.032
维生素 B <sub>2</sub> 变异系数/%	30.4					
维生素 A 测定结果/mg·(100 g) <sup>-1</sup>	0.070	0.107	0.125	0.143	0.199	0.129
维生素 A 变异系数/%	22.0					
维生素 E 测定结果/mg·(100 g) <sup>-1</sup>	1.24	1.83	2.32	3.76	6.12	2.79
维生素 E 变异系数/%	44.3					
钙测定结果/mg·kg <sup>-1</sup>	85	112	141	165	247	139
钙变异系数/%	23.3					
镁测定结果/mg·kg <sup>-1</sup>	562	850	1 016	1 334	2 844	1 108
镁变异系数/%	38.1					

(续表 3)

项目	最小值	下四分位数 (P25)	中位数	上四分位数 (P75)	最大值	平均值
铁测定结果/mg·kg <sup>-1</sup>	11.1	17.8	22.1	27.4	63.5	23.2
铁变异系数/%	36.9					
铜测定结果/mg·kg <sup>-1</sup>	2.57	3.95	4.62	5.79	11.32	4.85
铜变异系数/%	30.6					
锌测定结果/mg·kg <sup>-1</sup>	16.6	22.7	24.6	29.0	56.0	26.0
锌变异系数/%	24.7					
硒测定结果/mg·kg <sup>-1</sup>	0.00	0.00	0.00	0.05	3.12	0.13
硒变异系数/%	378.5					
天冬氨酸测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	0.468	0.606	0.632	0.659	0.793	0.632
天冬氨酸变异系数/%	9.3					
谷氨酸测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	1.584	1.854	1.960	2.131	2.478	2.000
谷氨酸变异系数/%	10.2					
甘氨酸测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	0.205	0.241	0.269	0.285	0.504	0.271
甘氨酸变异系数/%	19.0					
丙氨酸测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	0.738	0.849	0.911	0.998	1.129	0.928
丙氨酸变异系数/%	10.8					
酪氨酸测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	0.120	0.300	0.364	0.402	0.558	0.346
酪氨酸变异系数/%	24.7					
苯丙氨酸测定结果/g·(100 g) <sup>-1</sup>	0.420	0.494	0.533	0.596	0.664	0.539
苯丙氨酸变异系数/%	12.3					
脂肪酸值测定结果/mg·(100 g) <sup>-1</sup>	18.6	43.9	62.9	93.5	186.4	72.7
脂肪酸值变异系数/%	55.6					
直链淀粉测定结果/%	15.4	19.4	20.9	22.0	23.9	20.4
直链淀粉变异系数/%	10.0					

### 2.3 小米粥食用品质与小米粒感官品质的相关性

小米粥食用品质与小米粒感官品质评分的相关性分析显示,小米粥的色泽、均匀性、滋味、适口性及综合评分之间均呈显著正相关关系;小米粒的色泽、均匀性、完整性、气味及综合评分之间均呈极显著正相关关系。小米粥的色泽、滋味和综合评分均同小米粒的色泽、均匀性、气味和综合评分呈显著正相关关系;小米粥的均匀性和适口性与小米粒感官品质评分的相关性均不显著(表4)。

色泽和均匀性好的小米粥,品尝时通常也会滋味浓郁,口感细腻。色泽、均匀性和完整性好的小米粒,闻起来通常气味也好;完整性好的小米粒,通常色泽、均匀性也好,而小米粒的完整性与粥的食用品质之间没有显著的相关性。小米粒的颜色和光泽好,大小均一,具有浓郁的小米香气时,制

作的小米粥同样也具有较好的色泽和滋味;而从小米粒的感官评分无法直接判定煮制的小米粥是否分层及口感是细腻还是粗糙。有研究表明,小米粒色泽对小米饭的适口性影响较大,且色泽好的(金黄或鲜黄)小米品种制作的小米饭适口性好<sup>[10]</sup>,这与本研究的结果不一致;这主要与食用方式不同有关。然而,目前尚未查找到有关小米粥食用品质与小米粒感官品质关联的系统报道。

Pearson 相关系数可以用来衡量两个连续变量间线性相关的强度,通常相关系数绝对值<0.40表示弱相关,相关系数绝对值介于0.40~0.69为中等强度相关,相关系数绝对值≥0.70表示强相关;只要样本足够大,无论相关性P值有多强,统计检验总是有意义的<sup>[21]</sup>,且样本量越大,可接受的相关系数越小<sup>[22]</sup>。本研究中虽然部分指标间的相关系数<0.40,但样本量相对较大,也具有实际意义。

表 4 小米粥食用品质与小米粒感官品质的相关性

Table 4 Correlation between the porridge eating quality and kernel sensory quality of milled foxtail millet

项目	粥色泽	粥均匀性	粥滋味	粥适口性	粥综合评分	米色泽	米均匀性	米完整性	米气味
粥均匀性	0.614**								
粥滋味	0.737**	0.571**							
粥适口性	0.346*	0.398**	0.686**						
粥综合评分	0.804**	0.753**	0.907**	0.792**					
米色泽	0.651**	0.251	0.433**	0.231	0.483**				
米均匀性	0.446**	0.186	0.369**	0.244	0.384**	0.774**			
米完整性	0.271	0.103	0.033	-0.268	0.013	0.423**	0.578**		
米气味	0.482**	0.252	0.306*	0.046	0.323*	0.635**	0.613**	0.648**	
米综合评分	0.597**	0.240	0.382**	0.149	0.414**	0.931**	0.907**	0.678**	0.754**

注:\*表示  $P \leq 0.05$ , \*\*表示  $P \leq 0.01$ 。

## 2.4 小米粥食用品质及米粒感官品质与小米营养成分的相关性

小米粥食用品质与米粒营养成分的相关性分析显示,粥的色泽与脂肪酸值和维生素 B<sub>1</sub> 的含量呈显著负相关关系,与可溶性膳食纤维含量呈显著正相关关系;粥的均匀性与不溶性膳食纤维和维生素 B<sub>1</sub> 含量均呈显著负相关关系;粥的滋味与粗蛋白、粗脂肪、不溶性膳食纤维、维生素 B<sub>1</sub>、维生素 B<sub>2</sub>、维生素 E、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸含量及脂肪酸值均呈显著负相关关系;粥的适口性与直链淀粉含量呈显著正相关关系,与其它多数营养成分的含量均呈显著负相关关系;粥的综合评分同直链淀粉和可溶性膳食纤维含量均呈显著正相关关系,与其它多数营养成分的含量均呈显著负相关关系(表 5)。

小米粒感官品质与其营养成分的相关性分析显示,米粒色泽与可溶性膳食纤维含量呈显著正相关关系,与维生素 B<sub>1</sub> 含量呈显著负相关关系;米粒均匀性与脂肪酸值和维生素 B<sub>1</sub> 含量均呈显著负相关关系;米粒完整性与粗蛋白、粗脂肪、不溶性膳食纤维、总膳食纤维、维生素 B<sub>2</sub>、维生素 E、钙、铜、天冬氨酸及谷氨酸含量均呈显著正相关关系,与直链淀粉含量呈显著负相关关系;米粒的气味与可溶性膳食纤维及总膳食纤维含量均呈显著正相关关系;米粒感官品质综合评分与可溶性膳食纤维含量呈显著正相关关系,与维生素 B<sub>1</sub> 含量呈显著负相关关系(表 5)。

脂肪酸值高的小米煮制的粥通常色泽、滋味

和适口性都差,而直链淀粉含量高的小米煮制的粥通常适口性好,这与 Zhang 等<sup>[22]</sup>报道的较低直链淀粉含量的小米具有更好的蒸煮特性和食品感官评分有所不同。小米粥的适口性与多数营养成分的含量均呈负相关关系,可能与小米的加工精度有关;通常加工精度越低,粗蛋白、粗脂肪、膳食纤维、维生素、矿物质等营养成分的含量也越高<sup>[23-24]</sup>,特别是高膳食纤维含量会导致煮制的小米粥口感粗糙。有研究表明小米粥的食味品质与蛋白质含量呈极显著负相关关系,与脂肪和粗纤维含量的相关性均不显著<sup>[11]</sup>,这与本研究的结果不完全一致,可能是文献报道的样本量较少的缘故。此外,相对于小米粥的适口性,与小米粥滋味呈负相关的营养成分种类略少,可能与加工精度对小米粥的滋味和适口性的影响不同有关。有研究表明,提高大米的加工精度可改善其食用品质,而达到一定精度后食用品质改善并不显著,还会导致挥发性风味物质损失更多,使大米的风味降低<sup>[25]</sup>。

米粒的完整性较好时,多数营养成分如粗蛋白、粗脂肪、不溶性膳食纤维、总膳食纤维、维生素 B<sub>2</sub>、维生素 E 等的含量通常也较高;各营养成分中维生素 B<sub>1</sub> 含量与小米粥的各项感官评分均呈显著负相关关系,也与米粒的色泽和均匀性呈显著负相关关系,这可能与小米的加工精度有关:当加工精度高时,米粒的色泽会更亮黄,米粒大小更均一;煮粥的色泽和均匀性更好,口感也会更细腻,而维生素 B<sub>1</sub> 的损失也更大。刘三才等<sup>[26]</sup>研究发现硒含量与米色没有显著的相关性,与本研究结果

一致。游离氨基酸对食品的鲜味具有十分重要的作用<sup>[27]</sup>,而本研究中呈鲜甜味的6种主要氨基酸<sup>[27-28]</sup>的含量与粥的滋味多呈负相关关系,与米

粒的气味并没有显著的相关性,可能是因为蒸煮前、后氨基酸仍以结合形式为主,产生的游离氨基酸较少而没有达到人体味觉器官阈值的缘故。

表5 小米粥食用品质及米粒感官品质与小米营养成分的相关性

Table 5 Correlation between the porridge eating quality, kernel sensory quality and nutrients of milled foxtail millet

项目	粥色泽	粥均匀性	粥滋味	粥适口性	粥综合评分	米色泽	米均匀性	米完整性	米气味	米综合评分
粗蛋白	-0.092	-0.123	-0.410**	-0.758**	-0.472**	-0.065	-0.003	0.434**	0.163	0.071
粗脂肪	0.023	-0.170	-0.365**	-0.741**	-0.433**	0.006	0.013	0.522**	0.249	0.144
脂肪酸值	-0.325*	-0.072	-0.589**	-0.498**	-0.469**	-0.296	-0.362**	0.090	-0.137	-0.256
直链淀粉	0.098	0.105	0.274	0.482**	0.327*	0.061	0.110	-0.304*	-0.106	0.000
不溶性膳食纤维	-0.009	-0.299*	-0.310*	-0.645**	-0.422**	-0.010	-0.008	0.475**	0.173	0.109
可溶性膳食纤维	0.304*	0.170	0.245	0.191	0.283*	0.384**	0.277	0.209	0.401**	0.368**
总膳食纤维	0.115	-0.199	-0.179	-0.501**	-0.263	0.146	0.105	0.510**	0.317*	0.246
维生素 B <sub>1</sub>	-0.374**	-0.285*	-0.422**	-0.376**	-0.447**	-0.469**	-0.293*	0.208	-0.150	-0.314*
维生素 B <sub>2</sub>	-0.034	-0.174	-0.294*	-0.635**	-0.395**	-0.079	-0.020	0.390**	0.141	0.052
维生素 A	0.129	-0.062	-0.054	-0.372**	-0.140	-0.108	-0.038	0.160	0.088	-0.031
维生素 E	0.021	-0.172	-0.297*	-0.583**	-0.353*	-0.027	0.010	0.448**	0.122	0.100
钙	0.135	-0.008	-0.124	-0.395**	-0.150	-0.002	0.057	0.329*	0.086	0.100
镁	-0.113	-0.124	-0.274	-0.410**	-0.297*	-0.184	-0.150	0.201	0.005	-0.098
铁	-0.047	-0.049	-0.164	-0.337*	-0.195	-0.063	-0.059	0.230	0.054	0.006
铜	0.031	-0.040	-0.212	-0.463**	-0.240	-0.068	-0.035	0.337*	0.098	0.033
锌	0.046	0.090	-0.121	-0.271	-0.093	-0.027	-0.019	0.266	0.071	0.042
硒	0.107	0.080	0.028	-0.017	0.054	0.087	0.163	0.182	0.269	0.163
天冬氨酸	-0.186	-0.182	-0.361*	-0.666**	-0.467**	-0.095	-0.006	0.452**	0.137	0.056
谷氨酸	-0.028	0.005	-0.256	-0.571**	-0.298*	-0.062	-0.106	0.312*	0.084	0.008
甘氨酸	0.001	-0.202	-0.284*	-0.527**	-0.342*	-0.035	0.079	0.256	0.121	0.078
丙氨酸	-0.106	-0.165	-0.378**	-0.704**	-0.455**	-0.110	-0.099	0.255	0.072	-0.032
酪氨酸	-0.195	-0.080	-0.249	-0.081	-0.172	0.013	0.082	-0.012	-0.051	0.031
苯丙氨酸	-0.188	-0.076	-0.370**	-0.458**	-0.365**	-0.128	-0.136	0.234	-0.039	-0.069

注:\*表示  $P \leq 0.05$ , \*\*表示  $P \leq 0.01$ 。

## 2.5 小米营养成分含量之间的相关性

小米营养成分含量之间的相关性分析显示,小米的直链淀粉含量同多数营养成分均呈显著负相关关系;除了直链淀粉含量外,小米的营养成分之间多数呈显著正相关关系,而可溶性膳食纤维、酪氨酸、硒(数据未显示)含量同多数的营养成分之间没有显著的相关性(表6)。

梁克红等<sup>[29]</sup>研究发现直链淀粉含量与矿物元素中镁、钙、铁、铜、锌等的含量均呈负相关关系,与硒含量虽呈正相关关系,但相关性均不显著。赵欣等<sup>[30]</sup>研究发现直链淀粉含量与矿物元素中镁、

铁、铜、硒含量呈负相关关系,与钙和锌含量呈正相关关系,然而相关性均不显著。以上研究与本研究的结果不完全一致,原因可能与文献中的样品数量较少有关。刘三才等<sup>[26]</sup>研究发现硒和蛋白质含量呈极显著正相关关系,与本研究的结果不一致,原因可能是该研究中测定的样品为糙小米,同商品小米还存在一定的差距。

## 3 结论

小米粥食用品质和小米粒感官品质中差异最大的均是色泽评分,差异最小的分别是粥的滋味、

表 6 小米营养成分含量之间的相关性  
Table 6 Correlation among nutrient contents of milled foxtail millet

项目	粗蛋白	粗脂肪	脂肪 酸值	直链 淀粉	不溶性 膳食纤维	可溶性 膳食纤维	总膳食纤维	维生素 B <sub>2</sub>	维生素 B <sub>2</sub>	维生素 B <sub>2</sub>	维生素 A	维生素 E	镁	钙	铁	铜	锌	天冬 氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	酪氨酸	
粗脂肪	0.661**																						
脂肪酸值	0.373**	0.526**																					
直链淀粉	-0.583**	-0.541**	-0.398**																				
不溶性膳食纤维	0.630**	0.757**	0.249	-0.572**																			
可溶性膳食纤维	0.026	-0.058	-0.186	0.048																			
总膳食纤维	0.575**	0.654**	0.147	-0.537**	0.915**	0.448**																	
维生素 B <sub>1</sub>	0.291*	0.383**	0.345*	-0.506**	0.415**	-0.138	0.315*																
维生素 B <sub>2</sub>	0.572**	0.700**	0.395**	-0.676**	0.624**	-0.202	0.477**	0.478**															
维生素 A	0.416**	0.436**	0.081	-0.297*	0.350*	-0.007	0.311*	0.216	0.365**														
维生素 E	0.561**	0.791**	0.319	-0.667**	0.756**	-0.080	0.627**	0.543**	0.742**	0.498**													
镁	0.396**	0.470**	0.234	-0.439**	0.434**	0.000	0.388**	0.656**	0.544**	0.201	0.622**												
钙	0.428**	0.682**	0.303*	-0.423**	0.490**	0.010	0.442**	0.441**	0.540**	0.257	0.681**	0.725**											
铁	0.385**	0.461**	0.219	-0.315*	0.383*	0.038	0.358*	0.513**	0.393**	0.219	0.544**	0.918**	0.710**										
铜	0.541**	0.652**	0.301*	-0.509**	0.539**	0.044	0.501**	0.557**	0.579**	0.239	0.667**	0.877**	0.817**	0.863**									
锌	0.422**	0.486**	0.349*	-0.260	0.289**	-0.022	0.250	0.291*	0.309*	0.046	0.366**	0.665**	0.703**	0.783**	0.811**								
天冬氨酸	0.688**	0.603**	0.320*	-0.360*	0.682**	-0.007	0.608**	0.555*	0.459**	0.235	0.465**	0.450**	0.395**	0.431**	0.474**	0.370**							
谷氨酸	0.764**	0.490**	0.344*	-0.401**	0.501**	0.032	0.461**	0.275	0.388**	0.346*	0.409**	0.414**	0.417**	0.443**	0.478**	0.426**	0.740**						
甘氨酸	0.441**	0.529**	0.245	-0.109	0.457**	0.098	0.449**	0.075	0.286*	0.286*	0.354*	0.159	0.265	0.152	0.268	0.142	0.543**	0.269					
丙氨酸	0.759**	0.570**	0.344*	-0.365**	0.534**	0.004	0.480**	0.220	0.492**	0.400**	0.435**	0.371**	0.346*	0.344*	0.461**	0.316*	0.789**	0.827**	0.496**				
酪氨酸	0.173	0.067	0.323*	-0.200	0.064	-0.077	0.026	0.014	0.109	-0.159	0.073	0.110	0.100	0.159	0.217	0.281	-0.055	0.002	-0.076	0.091			
苯丙氨酸	0.402**	0.404**	0.423**	-0.430**	0.453**	0.101	0.446**	0.300*	0.372**	0.028	0.338*	0.426**	0.305*	0.332*	0.410**	0.296*	0.598**	0.473**	0.168	0.499**	0.289*		

注: \* 表示  $P \leq 0.05$ , \*\* 表示  $P \leq 0.01$ 。



和米粒的气味评分。米粒的色泽、均匀性和气味是影响小米粥色泽和滋味的关键因素；米粒的完整性与粥的食用品质之间没有显著的相关性；从米粒的感官评分无法直接判定小米粥的均匀性和适口性。

小米粥的色泽与脂肪酸值和维生素 B<sub>1</sub> 的含量呈显著负相关关系；粥的均匀性与不溶性膳食纤维和维生素 B<sub>1</sub> 含量均呈显著负相关关系；粥的滋味与粗蛋白、粗脂肪、不溶性膳食纤维、多数维生素和氨基酸的含量及脂肪酸值均呈显著负相关关系；粥的适口性与直链淀粉含量呈显著正相关关系，与其它多数营养成分的含量均呈显著的负相关。

小米粒的色泽与维生素 B<sub>1</sub> 含量呈极显著负相关关系；米粒均匀性与脂肪酸值和维生素 B<sub>1</sub> 含量均呈显著负相关关系；米粒完整性与多数营养成分含量呈显著正相关关系，与直链淀粉含量呈显著负相关关系；米粒的气味与可溶性膳食纤维及总膳食纤维含量均呈显著正相关关系。除了小米直链淀粉含量同多数营养成分均呈显著负相关关系外，其它营养成分之间多数呈显著正相关关系。

### 参 考 文 献

- [1] 赵志军. 中国农业起源概述[J]. 遗产与保护研究, 2019, 4(1): 1-7.  
ZHAO Z J. Introduction of the origin of agriculture in China[J]. Research on Heritages and Preservation, 2019, 4(1): 1-7.
- [2] SHARMA N, NIRANJAN K. Foxtail millet: Properties, processing, health benefits, and uses[J]. Food Reviews International, 2018, 34(4): 329-363.
- [3] BANDYOPADHYAY T, JAISWAL V, PRASAD M. Nutrition potential of foxtail millet in comparison to other millets and major cereals[M]// PRASAD M ed. The foxtail millet genome. Cham: Springer Cham, 2017: 123-135.
- [4] 刘建奎, 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 on health benefits and its mechanism[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 389-395.
- [5] NITHIYANANTHAM S, KALAISELVI P, MAHO-MOODALLY M F, et al. Nutritional and functional roles of millets - A review[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(7): e12859.
- [6] LI P L, ZHAO W, LIU Y Y, et al. Precursors of volatile organics in foxtail millet (*Setaria italica*) porridge: The relationship between volatile compounds and five fatty acids upon cooking[J]. Journal of Cereal Science, 2021, 100: 103253.
- [7] 刘建奎, 常柳, 段晓亮, 等. 小米粥的制作及食用品质感官评价方法[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(8): 42-47, 60.  
LIU J L, CHANG L, DUAN X L, et al. Method for sensory evaluation of foxtail millet porridge cooking and eating quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(8): 42-47, 60.
- [8] SHEN R, YANG S P, ZHAO G H, et al. Identification of carotenoids in foxtail millet (*Setaria italica*) and the effects of cooking methods on carotenoid content[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 61: 86-93.
- [9] 杨延兵, 管延安, 秦岭, 等. 不同地区谷子小米黄色素含量与外观品质研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1): 14-19.  
YANG Y B, GUAN Y A, QIN L, et al. The studies on yellow pigment content and appearance quality of millet from different regions[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(1): 14-19.
- [10] 王玉文, 李会霞, 田岗, 等. 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, et al. 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.
- [11] 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.
- [12] ASUERO A G, SAYAGO A, GONZÁLEZ A G. The correlation coefficient: An overview[J]. Critical reviews in Analytical Chemistry, 2006, 36(1): 41–59.
- [13] 张昱格, 江珍凤, 黄若绚, 等. 5种小米挥发性物质和质构特性分析[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(9): 262–269.
- ZHANG Y G, JIANG Z F, HUANG R X, et al. Analysis of volatile substances and texture characteristics of 5 types of millet[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(9): 262–269.
- [14] 杨延兵, 秦岭, 陈二影, 等. 谷子籽粒蛋白质、脂肪、千粒重的遗传变异[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(5): 819–829.
- YANG Y B, QIN L, CHEN E Y, et al. Genetic variations of protein content, fat content and TGW in foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) in China[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(5): 819–829.
- [15] 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.
- [16] 刘晓辉, 李秀芝. 吉林省谷子品质性状的研究[J]. 吉林农业科学, 1993(1): 12–13, 88.
- LIU X H, LI X Z. Study on the quality characters of foxtail millet in Jilin Province[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1993(1): 12–13, 88.
- [17] 冯利芳. 内蒙古荞麦、裸燕麦和小米矿物质测定及矿物质谱特征分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- FENG L F. Determination and analysis on minerals profile of common buckwheat, naked oat and millet from Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.
- [18] LIU M X, ZHANG Z W, REN G X, et al. Evaluation of selenium and carotenoid concentrations of 200 foxtail millet accessions from China and their correlations with agronomic performance[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(7): 1449–1457.
- [19] 张桂英, 杜文娟, 王玲, 等. 小米品种特性与米发糕品质特性的相关性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(10): 168–173.
- ZHANG G Y, DU W J, WANG L, et al. Correlation between variety characteristic of different millet and quality properties of steamed millet sponge cake[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(10): 168–173.
- [20] 冯耐红, 侯东辉, 杨成元, 等. 不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J]. 2020, 41(8): 224–229.
- FENG N H, HOU D H, YANG C Y, et al. 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.
- [21] HER Q L, WONG J. Significant correlation versus strength of correlation [J]. American Journal of Health–system Pharmacy, 2020, 77(2): 73–75.
- [22] ZHANG F, SHEN Q. The impact of endogenous proteins on hydration, pasting, thermal and rheology attributes of foxtail millet[J]. Journal of Cereal Science, 2021, 100: 103255.
- [23] 杨延兵, 张会笛, 秦岭, 等. 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, et al. 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.
- [24] 安红周, 杨柳, 林乾, 等. 不同加工精度籼米的感官品质和营养品质[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(3): 1–7.
- AN H Z, YANG L, LIN Q, et al. Sensory evaluation and nutritional quality of indica rice with different milling degrees[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(3): 1–7.
- [25] 安红周, 陈会会, 尹文婷, 等. 加工精度对大米食用品质及风味的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(1): 1–7.
- AN H Z, CHEN H H, YIN W T, et al. Effect of milling degree on the edible quality and flavor of rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(1): 1–7.
- [26] 刘三才, 朱志华, 李为喜, 等. 谷子品种资源微量元素硒和蛋白质含量的测定与评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(11): 3812–3818.
- LIU S C, ZHU Z H, LI W X, et al. Evaluation of selenium and protein content of foxtail millet landraces originated from different ecological regions of

- China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42 (11): 3812–3818.
- [27] 于芳珠, 薄存美, 刘登勇. 食品中鲜味物质研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(16): 5554–5561.
- YU F Z, BO C M, LIU D Y. Research progress of umami substances in food[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(16): 5554–5561.
- [28] ZHAO C J, SCHIEBER A, GÄNZLE M G. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations – A review [J]. *Food Research International*, 2016, 89: 39–47.
- [29] 梁克红, 朱大洲, 商芳芳, 等. 小米蒸煮品质与矿物质元素之间相互关系研究[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(12): 158–163.
- LIANG K H, ZHU D Z, SHANG F F, et al. Analysis of correlation between mineral content and cooking quality in millets[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2016, 32(12): 158–163.
- [30] 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.

### Correlation between the Porridge Eating Quality, Kernel Sensory Quality and Nutrients of Milled Foxtail Millet

Liu Jianlei, Chang Liu, Hong Yu, Zhang Dong, Sun Hui, Duan Xiaoliang\*  
(Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 102629)

**Abstract** In order to deeply reveal the correlation between the porridge eating quality, kernel sensory quality and nutrients of milled foxtail millet, this study collected 49 commercial yellow millets from major producing provinces across China, and comprehensively analyzed the eating quality of millet porridge, sensory quality and nutrient contents of millet kernel and their correlations. The results showed that the color, homogeneity and odor of the millet kernel were the key factors affecting the color and taste of its corresponding porridge; while the homogeneity and palatability of millet porridge could not be directly indicated from the sensory score of millet kernel. The color of millet porridge was significantly negatively correlated with fatty acid value and vitamin B<sub>1</sub> content. The homogeneity of porridge was significantly negatively correlated with the contents of insoluble dietary fiber and vitamin B<sub>1</sub>. The taste of porridge was significantly negatively correlated with the contents of crude protein, crude fat, insoluble dietary fiber, most vitamins and amino acids and fatty acid values. The palatability of porridge was significantly positively correlated with the amylose content, and significantly negatively correlated with the contents of most other nutrients. The color and homogeneity of millet kernel were significantly negatively correlated with vitamin B<sub>1</sub> content; millet kernel integrity was significantly positively correlated with the content of most nutrients, but significantly negatively correlated with amylose content. The odor of millet kernel was significantly positively correlated with the contents of soluble dietary fiber and total dietary fiber. Milled foxtail millet with good color, homogeneity and odor has better color and taste in its corresponding porridge, while millet with good integrity has higher nutritional value.

**Keywords** milled foxtail millet; eating quality; sensory quality; nutrients; amylose