

小米蒸煮品质与矿质元素之间相互关系研究

梁克红¹, 朱大洲¹, 商芳芳², 孙君茂¹

(1. 农业部食物与营养发展研究所, 北京 100081) (2. 中国农业科学院饲料研究所, 北京 100081)

摘要:本研究考察了品种和种植年份对小米中胶稠度、直链淀粉含量和糊化温度 3 种蒸煮品质性状和 19 种矿质元素含量的影响, 为了更简单有效判断小米的综合品质, 探讨了小米中蒸煮品质性状与矿质元素含量的相关性。结果表明品种的差异对小米蒸煮品质和矿质元素含量的影响大于种植年份。品种对直链淀粉含量和糊化温度影响显著。Ca、S、Fe 和 Co 也受品种差异显著。相关性分析结果表明小米中的蒸煮品质性状与多种矿质元素含量关系密切, 小米中 Cu 含量与胶稠度呈显著相关性, K、Mn、Co 含量与直链淀粉含量呈显著相关性, Mg、P、S、Cr、Co、Ni 与糊化温度呈显著相关性。主成分分析结果表明选择的主成分有 4 个, 可以解释总变异的 92.090%, 提高小米的综合品质性状, 需要协调各个矿质元素含量的相互关系, 从而筛选出符合不同用途的小米品种。

关键词: 小米; 矿质元素; 蒸煮品质; 相关性

文章编号: 1673-9078(2016)12-158-163

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.025

Analysis of Correlation between Mineral Content and Cooking Quality in Millets

LIANG Ke-hong¹, ZHU Da-zhou¹, SHANG Fang-fang², SUN Jun-mao¹

(1. Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

(2. Feed Research Institute Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Effects of millet variety and planting year on three traits of cooking quality (gel consistency, amylose content, and pasting temperature) and the content of 19 minerals were investigated. In order to effectively determine millet quality, the correlation between cooking quality and mineral content in the millet was analyzed. The results showed that the effect of different varieties of millet on the cooking quality and mineral content was greater than that of the planting year. The amylose content, pasting temperature, and mineral (Ca, S, Fe, and Co) content were significantly different among different varieties. The results of the correlation analysis indicated that cooking quality traits were closely related to the mineral content. Cu content in the millet was significantly correlated with gel consistency. K, Mn, and Co contents were significantly correlated with amylose content; and Mg, P, S, Cr, Co, and Ni contents were significantly correlated with pasting temperature. Principal component analysis showed that four principal components were extracted to explain 92.090% of the total variance. To improve the quality traits of millet, the relationships among the contents of various mineral elements need to be understood, in order to select optimal millet varieties for different purposes.

Key words: millet; mineral elements; cooking qualities; correlation

随着我国居民生活水平的不断提高, 对食物的膳食口味和营养结构要求也越来越高。矿质元素的摄入不足也逐渐得到人们的重视, 矿质元素是人体生理代谢所必需的, 但体内无法合成, 需要从食物中摄取。矿质元素缺乏将会导致一些功能障碍或疾病^[1]。在很多发展中国家都出现了由于 Ca 的摄入不足造成的骨质疏松风险的增加^[2,3]。Fe 和 Zn 的缺乏是一个世界普遍

收稿日期: 2016-03-29

基金项目: 中国农业科学院 2016 年创新工程项目; 国家农产品质量安全风险评估重大专项子项目 (GJFP201500203)

作者简介: 梁克红 (1984-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食物营养研究

遍的营养问题, 约有 20 亿人存在这一问题, 发展中国家的情况更为严重^[4,5]。缺铁主要造成贫血问题, 缺锌则主要引起发育迟缓和智力不健全等问题^[6]。目前, 世界上有 40 多个国家缺硒, 而我国约有 72% 的地区属于缺硒或地硒地区, 约有三分之二的人存在不同程度上的硒摄入不足。谷子起源于我国, 是传统的优势作物、主食作物和抗旱耐瘠作物^[7]。谷子经脱壳后称之为小米, 主要以小米干饭、小米面粉和米粥等形式被食用, 其富含 Fe、Ca、S 和 Se 等多种矿质元素^[8], 提高小米中的有益矿质元素含量对于改善居民健康有重要意义。目前, 小米的研究多集中于蛋白质、脂肪和维生素含量等营养成分^[9], 而关于小米中矿质元素

含量以及其影响因素的研究报道较少。

我国居民多通过蒸煮方式食用小米，其口感风味决定于小米品质的优劣，不同品种的小米其蒸煮品质也各有差异。本文对小米中矿质元素含量和蒸煮品质进行测定和分析，明确不同品种和种植年份的小米矿质元素和蒸煮品质的特点和差异。通过小米矿质元素与蒸煮品质性状之间的相关性分析，为谷子品质育种和小米产品加工提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

试验样品分别是晋谷 41、晋谷 48、晋谷 51 和晋谷 52，分别种植于 2014 年和 2015 年。收获后分别经过脱皮后得到小米样品。

1.2 实验方法

1.2.1 胶稠度的测定

称取 0.1 g 米粉置于试管中，加入 0.2 mL、0.025% 麝香草酚蓝乙醇溶液（百灵威），使米粉充分湿润，然后加入 2 mL 的 0.2 mol/L 的 KOH，放入沸水浴中加热 15 min 后静置冷却 5 min 后，放置 0 °C 左右冰浴 20 min，然后将试管拿出，水平放置于水平操作台上，期间不移动试管，1 h 后测定米胶长度，重复 3 次^[10]。

1.2.2 直链淀粉的测定

参照国标 GB/T 15683-2008《大米 直链淀粉含量的测定》。

1.2.3 糊化温度的测定

称取干燥的样品 5.0 mg 加入 20 μL 的去离子水，以铝制样品盘密封后置于冰箱 4 °C 过夜平衡，在测试前从冰箱中取出，回温 1 h，然后放入差示扫描量热分析仪（DSC）（岛津 DSC-60）中开始测定，以空盘为参考样品，升温速率为 10 °C/min，温度范围为 35~110 °C，得到试样的 DSC 热效应曲线。测定时每样品重复 3 次。

1.2.4 矿质元素测定

小米样品测定前均采用湿法消化^[11]，V、Cr、Co、Ni、As、Se、Mo、Cd、Pb、Al、Mn、Cu 和 Zn 通过 ICP-MS（电感耦合等离子体质谱）（美国赛默飞 ICP-MS X Series II 型）测定；Ca、Mg、K、Fe、Na、P 和 S 采用 ICP-5000（电感耦合等离子体发射光谱仪）（中国聚光科技 ICP 5000）测定。

1.3 数据处理和统计分析方法

采用 SPSS 19.0 统计软件对实验数据进行统计和

分析。

2 结果与分析

2.1 品种和种植年份对小米蒸煮品质性状影响

分析测定了 4 个品种小米的 3 个蒸煮品质性状，分别是胶稠度、直链淀粉含量和糊化温度（表 1）。胶稠度是评价谷子品质的一个良好指标，胶稠度越大，米粥口感越好。如表 1 所示，4 个品种小米胶稠度为 98.30~125.90 mm，均大于 60 mm，属于软胶稠度^[12]，品种间无显著差异。直链淀粉含量是另一个影响小米蒸煮品质的重要因素，直链淀粉含量高的小米，其粘性、光泽、柔软性及食味品质要低于直链淀粉含量低的小米，4 个品种中以晋谷 51 的直链淀粉含量最高为 25.45×10^{-2} g/g，晋谷 41 的直链淀粉含量最低为 18.28×10^{-2} g/g。方差分析结果表明，品种之间直链淀粉含量差异显著。糊化温度高低主要与直链淀粉含量相关，除此之外还与淀粉结构和淀粉粒组分等因素有关，如表 1 所示，小米的糊化温度偏低，具有较好的蒸煮品质^[12]。通过方差分析表明，品种间的糊化温度差异显著。

表 1 不同品种小米的蒸煮品质性状

Table 1 Cooking quality traits of different varieties of millet

品种	胶稠度/mm	直链淀粉/($\times 10^{-2}$ g/g)	糊化温度/°C
晋谷 41	114.70±78.91 ^a	18.28±1.23 ^a	68.53±0.45 ^c
晋谷 48	125.90±6.08 ^a	24.27±0.59 ^b	66.77±0.01 ^{a,b}
晋谷 51	98.30±44.83 ^a	25.45±0.42 ^b	66.24±0.47 ^a
晋谷 52	117.65±8.13 ^a	19.57±0.32 ^a	67.55±0.22 ^{bc}

注：同列上标不同字母之间表示差异显著（ $p < 0.05$ ）。

对不同年份小米的胶稠度、直链淀粉含量和糊化温度进行了分析，如表 2 所示，经过 t-检验（ $\alpha = 0.05$ ）差异显著性分析发现，2014 年和 2015 年的小米 3 个蒸煮品质性状均无显著差异。

表 2 不同种植年份小米的蒸煮品质性状

Table 2 Cooking quality traits in millet samples from different planting years

种植年份	胶稠度/mm	直链淀粉/($\times 10^{-2}$ g/g)	糊化温度/°C
2014 年	136.38±23.03	21.70±3.79	67.07±0.98
2015 年	91.90±34.62	22.08±3.28	67.47±1.04
t-test ($\alpha = 0.05$)	N	N	N

注：*t-检验分析显著差异；N：t-检验分析无显著性差异。

2.2 品种和种植年份对小米矿质元素影响

对4个不同品种小米中大量矿质元素的差异性进行比较发现(表3),不同品种间K、Mg、P和Na含量均无显著差异,K的含量为2.73~3.05 g/kg, Mg含量为1.34~1.51 g/kg, P含量为5.15~6.49 g/kg, Na含量为5.75~7.94 g/kg。通过方差分析发现,4个品种间的Ca和S含量差异显著,其中晋谷51中的Ca和S含量最低,分别是104.49和1.54 g/kg;晋谷48中的Ca含量最高为153.89 g/kg;晋谷41的S含量最高为1.99 g/kg。

通过方差分析发现,不同品种间Mn、Cu、Zn、

Se、Mo、Cr、V和Ni 7种微量元素均无显著差异,其中Zn含量最高,为14.62~21.54 g/kg, V的含量最低为2.10~3.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。Fe和Co这2种微量元素含量有显著差异,其中晋谷41和晋谷48中的Fe含量较高分别是16.52 g/kg和16.65 mg/kg,晋谷51中的Fe含量最低为11.99 mg/kg。晋谷41中的Co含量最高为51.56 $\mu\text{g}/\text{kg}$,晋谷51的Co含量最低为25.39 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

如表3所示,4个品种中的As、Pb和Cd均低于GB 2715-2005《粮食卫生标准》中对As、Pb和Cd的限量指标(200、200和100 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。通过方差分析表明,不同品种间As、Pb和Cd均无显著差异,表明品种差异对重金属影响不大。

表3 不同品种小米的矿质元素含量

Table 3 Contents of different minerals in different varieties of millet

元素	晋谷41	晋谷48	晋谷51	晋谷52
常量元素				
Ca/(mg/kg)	138.50±27.12 ^{ab}	153.89±0.50 ^b	104.49±8.53 ^a	129.74±11.72 ^{ab}
K/(g/kg)	3.02±0.01 ^a	2.85±0.23 ^a	2.73±0.05 ^a	3.05±0.12 ^a
Mg/(g/kg)	1.51±0.05 ^a	1.45±0.13 ^a	1.34±0.07 ^a	1.43±0.05 ^a
P/(g/kg)	6.49±0.88 ^a	5.61±0.84 ^a	5.15±0.45 ^a	5.55±0.22 ^a
S/(g/kg)	1.99±0.14 ^b	1.63±0.11 ^a	1.54±0.01 ^a	1.67±0.05 ^a
Na/(mg/kg)	7.94±1.00 ^a	5.75±3.66 ^a	6.80±0.64 ^a	7.02±2.43 ^a
微量元素				
Fe/(mg/kg)	16.52±1.48 ^b	16.65±0.87 ^b	11.99±0.04 ^a	15.05±2.16 ^{ab}
Mn/(mg/kg)	7.14±1.65 ^a	6.28±0.19 ^a	5.98±0.23 ^a	7.20±0.88 ^a
Cu/(mg/kg)	2.60±0.17 ^a	2.62±0.02 ^a	2.52±0.03 ^a	2.66±0.10 ^a
Zn/(mg/kg)	17.36±2.35 ^a	15.40±0.06 ^a	14.62±1.97 ^a	21.54±4.33 ^a
Se/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	56.11±12.13 ^a	59.11±14.46 ^a	38.75±0.57 ^a	36.84±8.68 ^a
Mo/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	526.25±60.10 ^a	539.54±108.84 ^a	483.35±40.34 ^a	603.25±95.11 ^a
Cr/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	511.88±163.52 ^a	239.88±183.67 ^a	309.13±126.04 ^a	538.88±165.29 ^a
Co/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	51.56±3.08 ^b	33.80±2.90 ^a	25.39±9.78 ^a	34.79±2.49 ^a
V/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	3.54±0.86 ^a	3.40±2.15 ^a	2.10±0.35 ^a	4.08±1.38 ^a
Ni/(mg/kg)	1.45±0.14 ^a	0.96±0.17 ^a	0.96±0.22 ^a	1.03±0.15 ^a
有害重金属				
As/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	42.97±11.98 ^a	51.34±13.24 ^a	39.86±7.56 ^a	62.57±4.36 ^a
Cd/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	12.85±8.17 ^a	8.20±5.55 ^a	6.53±0.46 ^a	7.24±1.29 ^a
Pb/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	80.66±6.45 ^a	82.89±8.11 ^a	72.50±29.06 ^a	60.55±16.76 ^a

注:同行上标不同字母之间表示差异显著($p<0.05$)。

如表4所示,对不同种植年份小米中矿质元素含量进行测定,经过t-检验($\alpha=0.05$)差异显著性分析发现,2014年和2015年小米中6种常量矿质元素无显著差异。比较年际对小米中微量元素含量影响可知,2014年种植的小米中Mo的含量是484.29 $\mu\text{g}/\text{mg}$,2015年种植的小米中Mo含量是591.91 $\mu\text{g}/\text{mg}$,由方差分析可知,年际对小米中的Mo含量有显著差异,对其

它9种微量元素的影响表现为无显著差异。种植年份对小米中有害重金属As、Pb和Cd含量无显著影响。

表4 不同种植年份小米的矿质元素含量

Table 4 Contents of different minerals in millet samples from different planting years

元素	2014年	2015年	t-test($\alpha=0.05$)
----	-------	-------	-------------------------

转下页

接上页

常量元素

Ca/(mg/kg)	140.12±21.50	123.19±22.73	N
K/(g/kg)	2.86±0.16	2.96±0.19	N
Mg/(g/kg)	1.51±0.05	1.45±0.07	N
P/(g/kg)	5.28±0.46	6.12±0.73	N
S/(g/kg)	1.67±0.17	1.75±0.24	N
Na/(mg/kg)	7.89±0.77	5.86±2.28	N

微量元素

Fe/(mg/kg)	15.08±2.78	15.02±2.06	N
Mn/(mg/kg)	6.85±0.99	6.44±0.93	N
Cu/(mg/kg)	2.61±0.08	2.59±0.12	N
Zn/(mg/kg)	17.22±1.80	17.24±5.03	N
Se/(μg/kg)	41.57±8.43	53.84±15.44	N
Mo/(μg/kg)	484.29±36.58	591.91±67.63	*
Cr/(μg/kg)	352.00±90.55	447.875±253.05	N
Co/(μg/kg)	35.27±14.47	37.50±8.21	N
V/(μg/kg)	4.12±1.24	2.44±0.67	N
Ni/(mg/kg)	0.98±0.26	1.22±0.22	N

有害重金属

As/(μg/kg)	42.64±11.76	55.73±9.20	N
Cd/(μg/kg)	6.59±1.64	10.82±5.89	N
Pb/(μg/kg)	84.70±8.81	63.35±15.10	N

注: **t*-检验分析显著差异; N: *t*-检验分析无显著性差异。

2.3 小米蒸煮品质性状与矿质元素含量的相关性分析

对小米中的19种矿质元素和3个蒸煮品质性状进行了相关性分析(表5),结果发现,Ca和Na含量与胶稠度、直链淀粉含量和糊化温度的相关性均不显著。K含量与直链淀粉含量呈显著负相关,相关系数是-0.722。K在植物体内参与多种酶反应起活化剂作用,能促进呼吸进程,参与糖代谢过程。参与淀粉及其它糖类在植物体中的分配^[13]。Mg含量与糊化温度的呈正相关,其相关系数为0.741。Mg不仅是叶绿素的组成成分,同时在蛋白质和碳水化合物代谢过程中也起着重要作用^[13]。P含量与糊化温度呈显著正相关,相关系数达到0.782。P也是碳水化合物代谢中起重要作用的元素。S含量与糊化温度呈极显著正相关,相关系数是0.892。S参与植物体内氧化还原过程,影响呼吸作用,光合作用和淀粉合成。可见,小米中的常量元素含量与蒸煮品质性状的相关性可以作为筛选良种的依据,尤其是S。

微量元素中Mn含量与直链淀粉呈显著负相关,

相关系数是-0.712,Mn元素可以促进淀粉水解和糖类转移。Cu含量与胶稠度呈显著正相关,相关系数是0.739。Cu作为某些氧化酶的组成成分参与植物体内的氧化还原过程。Cr含量与糊化温度呈显著正相关,相关系数是0.714。Co含量与直链淀粉含量呈显著正相关,与糊化温度呈极显著正相关,相关系数分别是0.806和0.904。Co主要参与植物的光合作用,影响植物体内一些激素的合成分泌,从而影响植物生长发育。Ni含量与糊化温度呈极显著正相关,相关系数是0.864。因此,小米中的微量元素含量与蒸煮品质性状的相关性可作为富含微量元素材料的依据。

表5 矿质元素与蒸煮品质性状的相关性分析

Table 5 Correlation coefficients between contents of different minerals and cooking quality traits in millet

元素	胶稠度	直链淀粉	糊化温度
常量元素			
Ca	0.705	-0.300	0.208
K	0.195	-0.722*	0.672
Mg	-0.135	-0.529	0.741*
P	-0.387	-0.486	0.782*
S	-0.141	-0.702	0.892**
Na	-0.153	-0.322	0.287
微量元素			
Fe	0.400	-0.534	0.543
Mn	0.648	-0.712*	0.433
Cu	0.739*	-0.449	0.177
Zn	0.349	-0.641	0.380
Se	-0.128	0.004	0.327
Mo	-0.230	-0.289	0.359
Cr	-0.449	-0.682	0.714*
Co	0.022	-0.806*	0.904**
V	0.393	-0.511	0.297
Ni	-0.308	-0.644	0.864**
有害重金属			
As	-0.263	-0.200	0.231
Cd	-0.454	-0.256	0.575
Pb	0.503	0.131	-0.150

注: *表示 $p < 0.05$; **表示 $p < 0.01$ 。

2.4 小米蒸煮品质性状与矿质元素含量的主成分分析

小米蒸煮品质性状与矿质元素含量的主成分分析结果如表6所示,前4个主成分的特征值均大于1,累计方差贡献率达到92.090%,说明前4个主成分基

本包含了综合信息。4 个主成分的贡献率分别是 42.584%、22.175%、15.693%和 11.638%。特征值分别是 8.091、4.213、2.982 和 2.211。

表 6 主分量性状的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 6 Characteristic values, contribution rates, and cumulative contribution rates of the principal components

性状	F1	F2	F3	F4
胶稠度	-0.293	0.226	0.861	0.052
直链淀粉	-0.636	-0.636	-0.184	-0.361
糊化温度	0.898	0.370	0.027	0.234
Ca	0.196	-0.027	0.947	0.056
K	0.551	0.660	0.179	-0.341
Mg	0.868	0.148	0.144	-0.424
P	0.949	-0.014	-0.127	-0.272
S	0.949	0.020	0.038	0.113
Na	0.115	-0.099	-0.181	0.950
Fe	0.486	0.274	0.705	-0.017
Mn	0.121	0.767	0.521	0.128
Cu	-0.051	0.685	0.686	-0.195
Zn	0.029	0.968	0.164	-0.038
V	0.014	0.240	0.453	0.765
Cr	0.474	0.601	-0.430	0.359
Co	0.847	0.202	0.263	0.280
Ni	0.925	0.144	-0.144	-0.056
Se	0.653	-0.372	0.248	-0.531
Mo	0.346	0.548	-0.154	-0.656
特征值 (E)	8.091	4.213	2.982	2.211
贡献率/%	42.584	22.175	15.693	11.638
累计贡献率/%	42.584	64.759	80.452	92.090

第一主成分的特征向量中载荷较高为常量元素 P 和 S, 载荷量均是 0.949, 其次是微量元素 Ni 和糊化温度, 载荷量分别是 0.925 和 0.898。说明第一主成分大的小米, 矿质元素较高, 但糊化温度也较高, 降低了小米的蒸煮品质, 因此对于综合提高小米品质而言, 第一主成分以适中较好。第二主成分的特征向量中载荷较高为微量元素 Zn, 载荷量是 0.968, 其次是微量元素 Cu、常量元素 K 和直链淀粉, 载荷量分别是 0.685、0.660 和 -0.636。说明第二主成分大的小米, 微量元素 Zn 和 Cu 含量高, 并且常量元素 K 含量高, 抗逆性较好, 直链淀粉含量低, 米质的蒸煮品质较好。第三主成分的特征向量中载荷较高为 Ca, 载荷量是 0.947, 其次是胶稠度, 载荷量分别是 0.861。因此第三主成分大的小米常量元素含量较高, 胶稠度高, 蒸煮品质好。第四主成分的特征向量中载荷最高是 Na, 载荷量是 0.950, 其次是 V 和直链淀粉, 载荷量分别

是 0.765 和 -0.361, 可见第四主成分大的小米常量元素 Na 和微量元素 V 含量较高, 直链淀粉含量较低, 蒸煮品质较高。

3 结论

3.1 小米品质主要包括营养品质、碾米品质、外观品质和蒸煮食味品质等, 衡量品质性状最主要的是蒸煮食味品质^[14]。胶稠度、直链淀粉含量和糊化温度是影响小米蒸煮食味品质的主要理化指标^[15]。本研究分析可知, 直链淀粉含量和糊化温度受品种差异的影响均较大, 而均受种植年份差异的影响不大, 施利利等对不同年份种植稻米的直链淀粉含量进行比较, 也发现不同年份间直链淀粉含量和食味值均没有显著差异^[16]。

3.2 由于不同品种小米对矿质营养元素的吸收积累效率和组织分配不同, 造成品种间矿质元素含量上存在差异。卫学青等对 8 个品种谷子中矿质元素进行了分析发现, 品种间的 K、Mg、Ca 和 Na 等矿质元素存在较大差异^[17]。本研究结果也表明, 小米中的常量元素 Ca 和 S 含量受到品种差异显著, 微量元素中 Fe 和 Co 受品种影响显著。种植年份对常量元素均无显著差异, 对微量元素 Mo 含量有显著差异。小米中矿质元素含量的年际变化, 可能主要是由于不同年份环境变化引起的。除小米中的常量元素和微量元素外, 本试验也关注了小米中重金属的存在情况。品种和种植年份对 As、Pb 和 Cd 含量均无显著影响, 并且均低于 GB 2715-2005《粮食卫生标准》中的限量标准。

3.3 分析成对性状间的相关性, 更有助于更简单有效判断小米的综合品质和同时改良不同性状。Jiang 等^[18]研究了稻米中的矿质元素与蒸煮品质的相关性, 结果表明, K、Mg、Cu 和 Mn 与直链淀粉有显著或极显著的相关性, K、Mn 和 Cu 含量与胶稠度有显著或极显著的相关性。本试验结果发现, 小米中的矿质元素与其蒸煮品质有一定的相关性。其中小米中 Cu 含量与胶稠度呈显著相关性, K、Mn 和 Co 含量与直链淀粉含量呈显著相关性, Mg、P、S、Cr、Co 和 Ni 与糊化温度呈显著相关性。植物生长需要矿质元素来维系, 这些矿质元素与植物体内多种生物大分子代谢密切相关, 如 K 是光合作用所必需的元素, 参与淀粉以及其它糖类在植物体内的分配。可见, 通过矿质元素分析可以间接筛选蒸煮品质较好的品种。

3.4 本试验对小米中的 3 个蒸煮品质性状、6 个常量元素及 10 个微量元素性状进行了主成分分析, 选择的主成分有 4 个, 解释了总变异的 92.090%。通过主成分分析发现, 提高小米的综合品质性状, 需要协调各

个矿质元素含量的相互关系,从而筛选出符合不同用途的小米品种。

参考文献

- [1] Garcia-Oliveira A L, Tan L B, Fu Y C, et al. Genetic identification of quantitative trait loci for contents of mineral nutrients in rice grain [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2009, 51(1): 84-92
- [2] Nordin B E C. Calcium requirement is a sliding scale [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71(6): 1381-1383
- [3] Welch R M, Graham R D. A new paradigm for world agriculture: Meeting human needs-productive, sustainable, nutritious [J]. *Field Crops Research*, 1999, 60(1-2): 1-10
- [4] Prasad A S. Zinc deficiency-has been known of for 40 years but ignored by global health organizations [J]. *British Medical Journal*, 2003, 326(7386): 409-410
- [5] WHO 2002. Reducing risk and promoting healthy life in: World Health Report 2002. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2002
- [6] Umeta M, West C E, Haidar J, et al. Zinc supplementation and stunted infants in Ethiopia: a randomized controlled trial [J]. *Lancet*, 2000, 355(9220): 2021-2026
- [7] 薛月原,李鹏,林勤保.小米的化学成分及物理性质的研究进展[J].*中国粮油学报*,2008,23(3):199-203
XUE Yue-yuan, LI Peng, LIN Qin-bao. Research evolution on chemical component and physical character of foxtail millet [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2008, 23(3): 199-203
- [8] Shahidi F, Chandrasekara A. Millet grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion: A review [J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(2): 570-581
- [9] 张竹青,杨雅俊,李万红.糙小米与小米营养价值及食味品质的比较研究[J].*粮食与食品工业*,2014,21(2):22-26
ZHANG Zhu-qing, YANG Ya-jun, LI Wang-hong. Comparative study on nutritional value and eating quality of coarse millet and millet [J]. *Cereal and Food Industry*, 2014,21(2):22-26
- [10] Cagampang G B, Perez C M, Juliano B O. A gel consistency test for eating quality of rice [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1973, 24(6): 1589-1594
- [11] 吴招斌,陈芳,陈兰珍,等.基于电感耦合等离子体质谱法和化学计量学鉴别蜂蜜品种研究[J].*光谱学与光谱分析*,2015, 1:212-222
WU Zhao-bin, CHEN Fang, CHEN Lan-zhen, et al. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry with chemometric methods in classification of honeys according to their types [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2015, 1: 212-222
- [12] 张海波.碾磨度对稻米蒸煮品质和营养品质的影响[D].杭州:浙江大学,2015
ZHANG hai-bo. The effect of milling degree on cooking and nutrient quality traits of rice (*Oryza sativa* L.) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015
- [13] Tucker M R. Essential plant nutrients: their presence in north carolina soils and sole in plant nutrition [J]. NCSA & CS-Agronomy Division, 1999: 1-9
- [14] 张义茹,张彬,马芳芳,等.小米吸水特性及其与蒸煮时间的相关性[J].*农学学报*,2015,5(2):86-91
ZHANG Yi-ru, ZHANG Bin, MA Fang-fang, et al. Correlation between water absorption properties and cooking time of foxtail millet [J]. *Journal of Agriculture*, 2015, 5(2): 86-91
- [15] 田志芳,杨春,石磊.不同产区谷子品质特性研究[J].*粮油食品科技*,2011,19(5):5-7
TIAN Zhi-fang, YANG Chun, SHI Lei. Study on the quality of millet grown in different areas [J]. *Science and Technology of Cereals*, 2011, 19(5): 5-7
- [16] 施利利,张欣,丁得亮,等.不同环境条件下稻米的主要品质性状的比较[J].*食品科技*,2013,38(9):116-119
SHI Li-li, ZHANG Xin, DING De-liang, et al. Correlation and principal component analysis on the major quality traits of rice lines [J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(9): 116-119
- [17] 卫学青,黄晓书,李鹏坤,等.不同谷子品种中微量元素的ICP-OES法测定[J].*贵州农业科学*,2009,37(6):73-74
WEI Xue-qing, HUANG Xiao-shu, LI Peng-kun, et al. Determination of trace elements of different millet varieties by ICP-OES [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2009, 37(6): 73-74
- [18] Jiang S L, Wu J G, Feng Y, et al. Correlation analysis of mineral element contents and quality traits in milled rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(23): 9608-9613