

研究报告

电感耦合等离子体发射光谱测定不同加工精度小麦粉中
矿物质元素含量

王彩霞,刘宇,袁文婷

(陕西省疾病预防控制中心,陕西 西安 710054)

摘要:目的 了解不同加工精度下小麦粉中矿物质含量的差异,指导小麦粉加工行业的生产和居民日常膳食结构的调整。方法 采集陕西省13个种植区的代表性小麦品种,委托加工为全麦粉、特一粉和麦芯粉,采用电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)法对其中的矿物质含量进行测定,采用营养质量指数(INQ)法对矿物质元素进行营养评价,同时对不同精度小麦粉中的9种矿物质进行方差分析和相关性研究。结果 3类小麦粉中9种矿物质均呈现不同程度的下降趋势,其中下降幅度最大的3个元素是锰、镁、锌,矿物质总量下降趋势为959、341、300 mg/100 g,方差分析表明,全麦粉中矿物质含量与后两者比较差异有统计学意义($P < 0.05$),特一粉与麦芯粉之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。INQ法评价结果显示,随着加工精度的变化,相应元素INQ值均降低,部分元素的INQ值 < 1 ,但麦芯粉中的锰、铜的INQ值仍 > 1 ;通过相关性分析表明各元素间存在不同程度的相关性,其中加工精度与9种矿物质之间呈显著的负相关(相关系数: $-0.615 \sim -0.884$),9种元素间呈不同程度的正相关,其中部分元素间相关系数 > 0.9 ,说明矿物质含量的变化性趋同。结论 深度加工会使小麦粉中矿物质流失,研制更安全健康、好吃好存的全麦粉是全谷物产业发展的方向。

关键词:矿物质;小麦粉;营养评价;加工精度;ICP-OES

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2025)04-0311-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2025.04.002

Application of ICP-OES to determine the mineral element content of wheat flour with different processing precisions

WANG Caixia, LIU Yu, YUAN Wenting

(Shaanxi Province Center for Disease Control and Prevention, Shaanxi Xi'an 710054, China)

Abstract: Objective Understanding the differences in mineral content in wheat flour under different processing precisions can guide the production of wheat flour processing industry and also help guide the adjustment of residents' daily dietary structure. **Methods** Wheat samples from 13 planting sits in Shaanxi Province were collected and processed into whole wheat flour, special flour and wheat core flour. Inductively coupled plasma emission spectrometry (ICP-OES) was used to determine the mineral content, the index of nutritional quality (INQ) was used to evaluate the mineral elements, and analyze the variance and correlation of nine minerals in wheat flour with different precisions. **Results** The nine minerals in the three types of wheat flour showed different downward trends, there were the largest declines of Mg, Mn and Zn, and the total amount of minerals of three wheat flours were 959, 341 and 300 mg/100 g. The analysis of variance showed that there was a significant difference between the minerals in whole wheat flour and the latter two ($P < 0.05$), but there was no significant difference between the special flour and wheat core flour ($P > 0.05$). The results of INQ method showed, with the change of machining accuracy, the INQ values of the corresponding elements decreased, and the INQ values of some elements decreased to less than 1, but the INQ values of Mn and Cu in wheat core flour were still greater than 1. The correlation analysis showed that there was a significant negative correlation between the processing accuracy and the nine minerals (correlation coefficient: $-0.615 \sim -0.884$). There were different degrees of positive correlation among the nine elements, and the correlation coefficient between some elements was > 0.9 , indicating that the variability of mineral content converged. **Conclusion** This study shows that deep processing will cause the loss of

收稿日期:2024-01-23

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划(2024JC-YBMS-192);陕西省社会发展科技攻关项目(2016SF-292)

作者简介:王彩霞 女 副主任技师 研究方向为食品理化检验 E-mail:wcx1104@163.com

minerals in wheat flour, and the development of safer, healthier, delicious and better whole wheat flour is the direction of the development of whole grain industry.

Key words: Mineral elements; wheat flour; nutritional evaluation; milling degree; inductively coupled plasma emission spectrometry

小麦是世界上种植面积最大、总产量最高的粮食作物之一,我国小麦的种植面积、产量和消费量居世界之首^[1-2]。小麦制粉过程是把麸皮(即糊粉层、珠心层、外种皮与内外果皮组成)和胚芽剥落,胚乳则主要加工成不同品质的小麦粉,富含矿物质的小麦皮层和胚芽则作为副产物,大多不被食用^[1]。近年来,随着全谷物产业的迅速发展,2021年全谷物定义国际工作组于 *Nutrients* 上发表了《全谷物与全谷物食品的全球定义共识》,该共识中对全谷物定义如下:在去除诸如外壳等不能食用的部分之后,所有的解剖学成分,包括胚乳、胚和麸皮,必须以与完整果核相同的相对比例存在^[3]。相关的医学研究表明,摄入更多的全谷物可降低慢性代谢性疾病的患病风险,如2型糖尿病、心血管疾病和癌症等^[3-4]。

矿物质元素是人体必需营养素之一,几乎遍及身体各个部分,其主要生理功能是:构成机体组织的重要组分、调节细胞膜的通透性、维持正常渗透压和酸碱平衡、维持神经和肌肉的正常兴奋性、构成或激活酶的活性等^[5-6],人体中矿物质元素的失衡会引起许多疾病的发生^[7]。小麦粉在居民日常膳食结构中处于基础地位,是人体矿物质元素的重要来源^[5]。以全麦粉为研究对象,采用电感耦合等离子体发射光谱(Inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES)法测定其中的9种矿物质元素,与特一粉、麦芯粉进行比较,以了解随着加工精度的深入矿物质元素的含量变化情况,并采用营养质量指数(index of nutritional quality, INQ)法评价其相应营养价值,分析加工精度与9种矿物质元素含量之间的相关性,以期所得结果能够用于指导小麦粉的加工行业,为消费者合理科学膳食提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品来源

根据陕西省营养监测计划,通过现场调研,选取陕西省13个种植区的代表性小麦品种,分别为小偃22(宝鸡)、小偃22(咸阳)、小偃22(西安)、郑麦366、西农979、西农3517、周麦27、晋麦54、晋麦47、百农207、西农822、豫麦49和周麦26。每个产地种植区分别选取5个种植点采集样品,等量混

合,四分法缩分。将样品等分3份,委托加工制作成全麦粉、特一粉和麦芯粉。

1.1.2 主要仪器与试剂

电感耦合等离子体发射光谱仪(安捷伦5800,美国),全自动消解仪(Questron Technologies V-84,加拿大)。万分之一电子天平,硝酸(优级纯),超纯水,钾、钙、钠、镁、磷、铁、锰、铜、锌多元素混合标准溶液(国家有色金属及电子材料分析测试中心)。

1.2 方法

1.2.1 样品前处理

准确称取样品于聚四氟乙烯消解罐中,加入15 mL硝酸和2 mL高氯酸,加盖放置过夜,设置全自动消解仪(Vulcan 84)操作程序进行消解,程序如下:(1)升温至120℃,并保持120 min;(2)升温至160℃,并保持120 min;(3)升温至180℃,并保持120 min;(4)升温至200℃,并保持120 min;(5)升温至220℃,开始赶酸,冒白烟开始取下冷却,少量水冲洗内壁,继续加热赶酸至剩余1 mL左右,取下冷却至室温,用水定容至10 mL,混匀备用,同时做空白试验。

1.2.2 仪器条件

功率1200 W,等离子气流量12 L/min,辅助气流量1.0 L/min,雾化气流量0.7 L/min,分析泵速12 r/min。元素观测谱线:钙(Ca)393.366 nm、钾(K)766.491 nm、钠(Na)588.995 nm、镁(Mg)280.270 nm、磷(P)213.618 nm,观测方式:径向;观测谱线:铜(Cu)324.754 nm、锰(Mn)257.610 nm、锌(Zn)202.548 nm、铁(Fe)238.204 nm,观测方式:轴向。

1.2.3 营养评价

采用INQ法对不同加工精度的小麦粉中9种矿物质元素进行营养评价。该方法可以反映出当某种食物供给人体热量,这种食物中某种营养素是否也能满足人体需求。具体计算如下:

$$INQ = \frac{100 \text{ g食物中某营养素密度}}{100 \text{ g食物热量密度}}$$

式中:分子=100 g某种食物中某营养素含量/指定人体每日所需该营养素量;分母=100 g某种食物的热量/指定人体每日所需热量。当INQ=1时,表示该营养素与热量相当;当INQ<1时,表示当热量满足时,但该营养素还欠缺,长期食用,可能导致这一类营养素摄入不足;当INQ>1时,表示当热量满足时,

该营养素已经富余,表明这种食物是该营养素的良好来源^[8-9]。计算过程中各营养素每日参考摄入量选

自 2023 版《中国居民膳食营养素参考摄入量》中 18~49 周岁的推荐值^[6],各营养素参考摄入量见表 1。

表 1 各营养素参考摄入量

Table 1 DRIs of mineral elements and energy

营养素	钙/(mg/d)	钾/(mg/d)	钠/(mg/d)	磷/(mg/d)	镁/(mg/d)	铁/(mg/d)		锌/(mg/d)		铜/(mg/d)	锰/(mg/d)		能量/(kJ/d)	
						男	女	男	女		男	女	男	女
参考摄入量	800	2 000	1 500	713	323	12	18	12	8.5	0.8	4.5	4.0	10 390	8 510

注:表中能量(中等强度身体活动水平)、磷和镁为 18~49 周岁的平均值;女性锌的参考摄入量为有月经女性的推荐摄入量值

1.3 统计学分析

采用 Excel 进行数据整理计算,采用 SPSS 22.0 对全麦粉、特一粉与麦芯粉中的矿物质元素进行单因素 ANOVA 方差分析, $P<0.05$ 表明差异具有统计学意义,并对加工精度与 9 种矿物质之间的相关性进行 Pearson 相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同加工精度小麦粉中矿物质含量分析

表 2 为 3 种加工精度小麦粉中 9 种矿物质元素的含量统计表,由表可见随着加工精度的深入 9 种矿物质含量变化呈锐减趋势,全麦粉、特一粉、麦芯粉中 9 种矿物质元素总量分别为 959 mg/100 g、341 mg/100 g、300 mg/100 g;各种矿物质含量下降幅度并不一致,其中含量值下降幅度较大的为 Mn、Mg、Zn,特一粉中 Mn 含量降为全麦粉的 21%,麦芯粉中 Mn 含量降为全麦粉的 19%。

图 1 为不同加工精度小麦粉中矿物质含量对比图,为消除量纲的影响,便于更加直观地了解加工精度对矿物质含量的影响,图中 Na、Zn、Mn 为 10 倍含量值,Cu 为 100 倍含量值。由图可知,全麦粉中各矿物质含量是特一粉中各矿物质含量的 1.5~4.7 倍,其中 Mn 含量降低最多,Na 的含量降低最少。方差分析结果表明,全麦粉与其他两种面粉中的 9 种矿物质含量差异有统计学意义($P<0.05$),特一粉与麦芯粉中的 9 种矿物质差异无统计学意义($P>0.05$)。

麦芯粉与特一粉相比,9 种矿物质含量值略有下降,其中 Fe 下降值最大,麦芯粉中 Fe 含量占特一粉中 Fe 含量的 78%(2.72/3.48)。

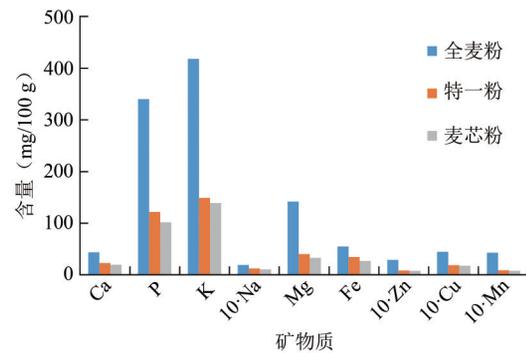


图 1 不同加工精度小麦粉中矿物质含量差异图/(mg/100 g)

Figure 1 Diagram of the difference in mineral content in wheat flour with different processing accuracy/(mg/100 g)

2.2 营养价值评价分析

表 3 为各种小麦粉的 INQ 值。全麦粉中仅 Ca 和 Na 的 INQ<1,其余 7 种元素的 INQ 值均>1,可见全麦粉是人体矿物质元素来源的优质食品;随着加工精度的深入,Zn、Mg、K 3 种元素的 INQ 值<1,矿物质营养价值大幅降低,但经过深度加工的麦芯粉中 Mn、Cu 的 INQ 值仍>1,表明其仍然是上述营养素的优质来源,Fe 和 P 元素对于有月经的女性来说 INQ 值略<1,但由于小麦粉在居民日常膳食消费中所占比重较大,仍可视为 Fe 和 P 元素的主要来源,从而证明无论加工精度如何,小麦粉仍在居民膳食营养中处于基石地位。

表 2 全麦粉、特一粉和麦芯粉中矿物质含量(n=13,mg/100 g)

Table 2 Mineral contents in whole wheat flour, high grade flour and wheat core flour (n=13, mg/100 g)

元素	全麦粉		特一粉		麦芯粉	
	范围值	均值±标准差	范围值	均值±标准差	范围值	均值±标准差
Ca	26~58	43.9±2.2	17~30	23±1.22	14~26	19.85±0.96
P	279~386	340±8.83	91~140	122±3.94	81~133	102±4.2
K	372~504	418±10.39	122~177	149±5.05	108~173	139±5.25
Na	1.42~3.13	1.94±0.14	0.80~2.40	1.27±0.13	0.70~1.83	1.09±0.087
Mg	126~159	142±2.39	26~54	40.5±2.54	20~48	33±2.51
Fe	3.02~8.11	5.52±0.41	1.53~5.42	3.48±0.41	1.53~5.92	2.72±0.39
Zn	1.76~3.41	2.91±0.13	0.62~1.24	0.88±0.051	0.49~1.21	0.80±0.050
Cu	0.23~0.55	0.45±0.023	0.13~0.27	0.19±0.011	0.10~0.24	0.18±0.010
Mn	2.05~6.86	4.30±0.30	0.57~1.32	0.91±0.060	0.45~1.17	0.82±0.061
总矿物质(g/100 g)	844~1043	959±14	281~401	341±10	253~359	300±9.1
能量(kJ/100 g)	1 433~1 462	1 444±2.3	1 427~1457	1 442±2.43	1 437~1475	1 450±3.2

表3 全麦粉、特一粉和麦芯粉中矿物质元素INQ值

Table 3 INQ values of mineral elements in whole wheat flour, high grade flour and wheat core flour

矿物质	性别	Ca	P	K	Na	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	INQ(总)
全麦粉	男	0.39	3.43	1.50	0.009 3	3.16	3.31	1.74	4.05	6.88	24.48
	女	0.32	2.81	1.23	0.007 6	2.59	1.81	2.02	3.32	6.34	20.44
特一粉	男	0.21	1.23	0.54	0.006 1	0.90	2.09	0.53	1.71	1.31	8.52
	女	0.17	1.01	0.44	0.005 0	0.74	1.14	0.61	1.40	1.20	6.72
麦芯粉	男	0.18	1.03	0.50	0.005 2	0.73	1.62	0.48	1.61	1.31	7.46
	女	0.15	0.84	0.41	0.004 3	0.60	0.89	0.55	1.32	1.20	5.96

2.3 加工精度和9种矿物质间的相关性分析

本研究对不同加工精度小麦粉中的9种矿物质进行相关性分析,其相关性矩阵见表4,由表可见,加工精度与9种矿物质之间呈显著的负相关,即随着加工精度的深入,矿物质含量存在明显降低趋势,Na与Fe元素随着加工精度的深入其下降率

略低于其他元素,但其相关系数的绝对值仍 >0.6 ;9种元素之间,除Na-Ca、Na-Fe、Na-Zn、Na-Cu、Na-Mn(相关系数 <0.6)元素外,其余各元素之间均呈显著的强相关,相关系数 >0.6 ,其中部分元素之间的相关系数 >0.9 ,即各元素之间存在非常强的同增同减趋势。

表4 不同加工精度小麦粉中矿物质元素相关性矩阵

Table 4 Correlation matrix of mineral elements in wheat flour with different processing accuracy

相关系数	加工精度	Ca	P	K	Na	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
加工精度	1									
Ca	-0.824**	1								
P	-0.884**	0.865**	1							
K	-0.865**	0.864**	0.962**	1						
Na	-0.615**	0.468**	0.640**	0.685**	1					
Mg	-0.881**	0.875**	0.990**	0.975**	0.649**	1				
Fe	-0.623**	0.700**	0.667**	0.618**	0.244	0.680**	1			
Zn	-0.843**	0.928**	0.937**	0.927**	0.574**	0.952**	0.685**	1		
Cu	-0.816**	0.880**	0.894**	0.863**	0.497**	0.910**	0.677**	0.965**	1	
Mn	-0.818**	0.858**	0.934**	0.890**	0.547**	0.927**	0.737**	0.942**	0.918**	1

注:相关系数:0.8~1.0,非常强的相关;0.6~0.8,强相关;0.4~0.6,中度相关;0.2~0.4,弱相关;0.0~0.2,弱相关或无关

3 讨论

选取陕西关中13个种植区的代表性小麦品种为研究对象,采用不同加工精度制成全麦粉、特一粉和麦芯粉,采用ICP-OES法测定其中Ca、P、K、Na、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 9种矿物质含量,结果表明9种矿物质元素随着加工精度的深入存在明显的减少趋势,全麦粉与麦芯粉相比,矿物质总量下降了约三分之二,从矿物质含量值下降可见,小麦粉加工过程中的副产物(麸皮、胚芽)富含矿物质元素,其含有整粒小麦的79%Mn、71%Mg、70%Zn、64%P和K、58%Cu、48%Ca、37%Fe、35%Na。采用INQ法评价不同精度小麦粉中矿物质元素营养价值,随着加工精度的变化,每种元素INQ值均降低,P、Zn、Mg、K 4种元素的INQ值下降至 <1 ,但Fe、Mn、Cu的INQ值仍 >1 ,表明精细加工的麦芯粉仍然可以作为Fe、Mn、Cu的优质来源。加工精度与9种矿物质元素间均存在显著的负相关,元素之间亦存在非常强的相关性(Na元素除外),即随着加工精度的深入,矿物质元素存在明显的流失情况。

小麦粉作为我国居民最重要的主食之一,近年来,由于生活水平的提高,消费者对食物良好口感

要求的提高,我国小麦加工环节损失率达到4%~5%,造成每年650万吨以上的口粮损失^[10],同时,小麦加工的副产物胚芽和麸皮,未能有效开发利用,造成了巨大的资源浪费和营养损失。提升小麦胚芽和麸皮的增值利用水平,推动小麦加工节粮减损,促进小麦加工业高质量发展。唐春红等^[11]研制的3D-全麦制粉技术,保留了小麦籽粒几乎全部营养和活性成分,解决普通全麦粉营养与口感无法兼顾的问题。

本研究表明随着加工精度的深入,小麦粉中矿物质营养元素存在流失情况,但是小麦皮层存在农药残留、真菌毒素、重金属超标、木质素含量高等问题^[10],精细加工的特一粉、麦芯粉相对营养价值下降,但仍然可视为大部分营养素的良好来源,所以建议消费者在日常膳食的基础上,理性且适量地增加全麦制品的摄入量,同时研制更安全健康、口感更好、更容易储存的全麦粉,也是全谷物产业发展的方向。

参考文献

[1] 班进福,赵彦坤,郭家宝,等.小麦制粉系统各粉路小麦粉

- 营养物质分布情况研究[J]. 粮食与饲料工业, 2022, 4: 7-13.
- BAN J F, ZHAO Y K, GUO J B, et al. Study on nutrient distribution of flour in each path of wheat flour milling system [J]. Cereal and Feed Industry, 2022, 4: 7-13.
- [2] 张黛静, 姜丽娜, 张志娟, 等. ICP-MS/ICP-AES测定小麦穗离体培养籽粒营养元素及重金属含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(7): 1935-1938.
- ZHANG D J, JIANG L N, ZHANG Z J, et al. Application of ICP-MS/ICP-AES to detecting nutrition and heavy metal contents in grain of detached wheat spikes in vitro culture [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(7): 1935-1938.
- [3] 田晓红, 翟小童, 谭斌. 全谷物食品标准体系建设现状与发展方向[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 1-9.
- TIAN X H, ZHAI X T, TAN B. Whole grain food standard system construction status and development direction [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(1): 1-9.
- [4] PANDE S, SAKHARE S D, BHOSALE M G, et al. Atta (whole wheat flour) with multi-wholegrains: flour characterization, nutritional profiling and evaluation of chapatti making quality [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 12(54): 3451-3458.
- [5] HUSSAIN A, LARSSON H, KUKTAITE R, et al. Mineral composition of organically grown wheat genotypes: contribution to daily minerals intake [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2010, 7: 3442-3456.
- [6] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量(2023版) [M]. 北京: 科学出版社, 2023.
- Chinese Nutrition Society. Chinese Dietary Reference Intakes (2023 Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2023.
- [7] WANG J, CHATZIDIMITRIOU E, WOOD L, et al. Effect of wheat species (*Triticum aestivum* vs *T. spelta*), farming system (organic vs conventional) and flour type (wholegrain vs white) on composition of wheat flour -Results of a retail survey in the UK and Germany-2. Antioxidant activity, and phenolic and mineral content [J]. Food Chem X, 2020, 6: 100091.
- [8] 邓宏玉, 刘芳芳, 张秦蕾, 等. 5种禽肉中矿物质含量测定及营养评价[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 21-25.
- DENG H Y, LIU F F, ZHANG Q L, et al. Mineral content and nutritional value evaluation in five poultry meat [J]. Food Research and Development, 2017, 38(6): 21-25.
- [9] 梁水连, 吕岱竹, 周若浩, 等. 香蕉中5种矿物质元素含量测定及营养评价[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 241-245.
- LIANG S L, LYU D Z, ZHOU R H, et al. Quantitative determination and nutritional evaluation of five minerals in banana [J]. Food Science, 2019, 40(24): 241-245.
- [10] 吴少堂, 汪丽萍. 全方位推动小麦加工节粮减损促进小麦加工业高质量发展[J]. 中国粮食经济, 2023, 12: 8-11.
- WU S T, WANG L P. Promoting the high-quality development of wheat processing industry through comprehensive grain-saving and loss reduction [J]. China Grain Economy, 2023, 12: 8-11.
- [11] 唐春红, 游欢, 赵久毅, 等. 基于主成分分析对3D-全麦粉与普通全麦粉品质的比较研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(9): 23-31.
- TANG C H, YOU H, ZHAO J Y, et al. Comparison of the quality of 3D-whole wheat flour and common whole wheat flour based on principal component analysis [J]. Food Research and Development, 2022, 43(9): 23-31.