

# 基于主成分与聚类分析的不同粉路小麦次粉 品质综合评价

隋勇, 施建斌, 蔡沙, 熊添, 王少华, 梅新\*

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

**摘要:** 为了获取食品化利用品质高的小麦次粉, 采用主成分分析与聚类分析方法对不同粉路小麦次粉进行分析和筛选。通过测定 12 个不同粉路小麦次粉和 2 个不同等级小麦粉的营养品质、色泽、面筋特性和糊化特性, 应用主成分分析和聚类分析方法, 筛选出不同粉路小麦次粉品质评价的主要指标并进行分类。结果表明: 不同粉路小麦次粉的品质特性中, 脂肪、灰分、面筋指数、峰值粘度、最低粘度、最终粘度、衰减值、回生值变异系数较大, 均超过 20%。利用主成分分析方法提取其中更具代表性的 4 个主成分因子, 累计方差贡献率达到 84.182%, 依据综合评价函数进行分析计算排名, 综合排名前三位的为 DF1XF1 下、DF1XF1 上和精制面粉; 聚类分析将不同粉路小麦次粉分为 4 类, 次粉 DF1XF1 下和 DF1XF1 上与精制面粉归为一类, 与主成分分析结果一致。12 个不同粉路小麦次粉中, DF1XF1 下和 DF1XF1 上品质最好, 7M 下、8M 上和 2T 下品质最差。基于主成分和聚类分析方法综合评价小麦次粉品质特性, 可为其食品化高值利用提供参考。

**关键词:** 小麦次粉; 主成分分析; 聚类分析; 品质评价

文章编号: 1673-9078(2022)02-164-171

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0284

## Comprehensive Quality Evaluation of Different Wheat Middlings by Principal Component Analysis and Cluster Analysis

SUI Yong, SHI Jianbin, CAI Sha, XIONG Tian, WANG Shaohua, MEI Xin\*

(Institute for Farm Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** In order to obtain high-quality wheat middlings for food use, principal component analysis and clustering analysis were used to analyze and screen different varieties of wheat middlings. The nutritional quality, color, gluten characteristics and gelatinization properties of 12 different varieties of wheat middlings and 2 different grades of wheat flour were determined. The main indexes for quality evaluation of different varieties of wheat middlings were screened and classified by principal component analysis and cluster analysis. The results showed that among the quality characteristics of different wheat middling flours, the coefficients of variation (CVs) of the lipids, ash, gluten index, peak viscosity, trough viscosity, final viscosity, breakdown and setback values were relatively high (all>20%). By principal component analysis, 4 more representative principal component factors were extracted, the cumulative variance contribution rates reached 84.182%. Analysis, calculation and ranking were conducted according to the comprehensive evaluation function, developed based on principal component analysis, the top three of the comprehensive ranking were DF1XF1-under, DF1XF1-upper and refined wheat flour, respectively. The cluster analysis divided the different varieties of wheat middling samples into 4 categories, and DF1XF1-under flour, DF1XF1-upper flour and refined wheat flour belonged to the same category, which was consistent with the results of the principal component analysis. Among the 12 varieties of wheat middling flour,

引文格式:

隋勇,施建斌,蔡沙,等.基于主成分与聚类分析的不同粉路小麦次粉品质综合评价[J].现代食品科技,2022,38(2):164-171,+244

SUI Yong, SHI Jianbin, CAI Sha, et al. Comprehensive quality evaluation of different wheat middlings by principal component analysis and cluster analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 164-171, +244

收稿日期: 2021-03-17

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0401005-03)

作者简介: 隋勇 (1987-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 粮食加工, E-mail: suiyong0429@foxmail.com

通讯作者: 梅新 (1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 粮食加工, E-mail: meixin0898@163.com

DF1XF1-under and DF1XF1-upper had the best quality, whilst 7M-under, 8M-upper and 2T-under had the worst quality. Comprehensive evaluation of the quality characteristics of wheat middling flour based on principal component analysis and cluster analysis can provide a reference for its high-value utilization in foods.

**Key words:** wheat middlings; principal component analysis; cluster analysis; quality evaluation

次粉是小麦加工的副产物, 主要是由小麦胚、糊粉层、果皮及部分胚乳组成的混合物, 约占小麦籽粒的 3%~5%<sup>[1,2]</sup>。除了富含矿物质、维生素、膳食纤维等营养成分, 次粉还含有大量的多酚、类胡萝卜素和烷基间苯二酚等活性物质, 具有抑制氧化损伤、降低慢性代谢疾病发生等生理功效<sup>[3,4]</sup>, 且次粉经乳酸菌<sup>[5]</sup>和芽孢杆菌<sup>[6]</sup>发酵后, 抗氧化、抑菌和益生功能显著增强。但次粉中含有较多的酶、脂、膳食纤维等, 影响加工特性及产品感官特性, 且由于小麦加工过程中不同粉路次粉的主要理化特性存在差异, 导致次粉品质不稳定, 制约了次粉的食品化利用<sup>[7,8]</sup>。次粉的食品化应用能够提高食品的营养价值, 研究表明, 次粉强化小麦面粉后, 混粉中戊聚糖、B 族维生素及四种蛋白质组分(清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、麦谷蛋白)的含量显著增加<sup>[9]</sup>, 且在面条、馒头及烙饼等食品中添加适量的小麦次粉对其感官品质无显著影响<sup>[10,11]</sup>。然而, 目前对不同粉路次粉理化特性及与加工产品品质的关系研究较少, 对其开展研究在提高次粉食品化利用方面具有重要意义。

主成分分析法和聚类分析法都是一种多元统计分析方法, 能够研究不同样品中多个变量之间相互关联的统计规律性<sup>[12]</sup>。主成分分析法主要是通过降维思想简化数据结构, 按照设定的原则将测定的众多指标中缩减为少数几个综合指标, 全面反映原本指标的信息量; 聚类分析则依据数据集的内在联系对大量的数据进行分组归类, 将样本分成相对同质群组, 聚到同一群组则表示研究对象性质彼此相似<sup>[13]</sup>。基于主成分和聚类分析, 采集多个样品及多个指标的数据, 筛选出少数几个综合品质进行评价, 评价方法具有客观性、公正性、科学性, 已广泛应用于食品营养<sup>[14-16]</sup>和风味评价<sup>[17,18]</sup>、食品加工特性分析<sup>[19-21]</sup>、优质果蔬品种筛选<sup>[22,23]</sup>等研究领域。

基于此, 本研究以小麦加工过程中不同粉路小麦次粉为研究对象, 通过测定其营养品质、色泽、面筋特性和糊化特性, 采用主成分分析和聚类分析方法分析比较不同粉路小麦次粉间的综合品质差异, 筛选出品质较好的次粉, 为提高各粉路次粉利用率和后续相关产业发展研究提供一定的理论依据和技术参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

12 个不同粉路小麦次粉(皮磨系统 4BF 下、5BF 上; 心磨系统 7M 下、8M 上、8M 下; 尾磨系统 1T 下、2T 下; 重筛系统粉 D4; 打麸粉和吸风粉 DF1XF1 上、DF1XF1 下、DF2XF2 上、DF2XF2 下)和 2 个不同等级小麦粉(普通面粉、精制面粉)由湖北金银丰食品有限公司提供。

乙酸铅、无水乙醇、氢氧化钠、硫酸铜、硫酸锌、酒石酸钾钠、乙酸锌、硫酸等分析纯试剂, 国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

GM2200 型面筋仪, 瑞典波通公司; RVA-super4 快速粘度分析仪, 瑞典波通公司; 1900 型降落数值仪, 瑞典波通公司; SKD-08S2 型红外智能消化炉, 上海沛欧分析仪器有限公司; K9840 型自动凯氏定氮仪, 济南海能仪器股份有限公司; CS-600C 便携式 45/0 分光测色仪, 杭州彩谱科技有限公司; TE214S 型分析天平, 德国赛多利斯公司; GZX-9240 型电热鼓风干燥箱, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; SX2-4-10NP 型马弗炉, 上海一恒科学仪器有限公司; HHS-21-6 型水浴锅, 上海百典仪器设备有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 小麦次粉营养品质测定

水分含量采用进行直接干燥法测定, 具体参照 GB 5009.3-2016; 灰分含量采用灼烧法进行测定, 具体参照 GB 5009.4-2016; 淀粉含量采用酸水解法进行测定, 具体参照 GB 5009.9-2016; 蛋白质含量采用凯氏定氮法进行测定, 具体参照 GB 5009.5-2016; 脂肪含量采用索氏抽提法进行测定, 具体参照 GB 5009.6-2016; 破损淀粉含量采用  $\alpha$ -淀粉酶法进行测定, 具体参照 GB/T 9826-2008; 降落数值采用 Hagberg-Perten 法进行测定, 具体参照 GB/T 10361-2008。

#### 1.3.2 小麦次粉色度测定

样品色度采用 CS-600C 便携式 45/0 分光测色仪进行测定, 用标准白板校正后测定各样品的亮度值(L)、红绿值(a)、黄蓝值(b)。

表1 不同粉路小麦次粉的营养品质

Table 1 Nutritional qualities of different wheat middlings

样品	水分 (g/100 g)	淀粉 (g/100 g)	蛋白质 (g/100 g)	脂肪 (g/100 g)	灰分 (g/100 g)	破损淀粉 (g/100 g)	降落数值/s
4BF 下	14.53±0.06 <sup>bc</sup>	52.76±0.75 <sup>cd</sup>	14.03±0.55 <sup>ef</sup>	1.03±0.32 <sup>de</sup>	1.19±0.17 <sup>de</sup>	22.14±0.49 <sup>f</sup>	220.00±28.28 <sup>d</sup>
5BF 上	14.50±0.44 <sup>bc</sup>	50.53±0.95 <sup>b</sup>	16.53±0.06 <sup>ab</sup>	1.87±0.15 <sup>b</sup>	1.47±0.08 <sup>c</sup>	23.45±0.29 <sup>de</sup>	251.00±1.41 <sup>c</sup>
7M 下	13.37±0.06 <sup>d</sup>	59.71±1.93 <sup>gh</sup>	13.30±0.20 <sup>fg</sup>	0.87±0.25 <sup>e</sup>	0.15±0.02 <sup>j</sup>	16.48±0.00 <sup>h</sup>	202.00±2.83 <sup>d</sup>
8M 上	12.20±0.00 <sup>e</sup>	54.01±1.88 <sup>de</sup>	16.97±0.67 <sup>a</sup>	1.77±0.15 <sup>b</sup>	2.65±0.01 <sup>a</sup>	17.80±0.57 <sup>g</sup>	279.00±7.07 <sup>b</sup>
8M 下	14.50±0.00 <sup>bc</sup>	60.81±2.91 <sup>h</sup>	14.97±0.25 <sup>de</sup>	3.37±0.15 <sup>a</sup>	0.58±0.21 <sup>hi</sup>	27.77±0.33 <sup>a</sup>	271.00±2.83 <sup>b</sup>
1T 下	14.60±0.37 <sup>bc</sup>	59.37±1.13 <sup>gh</sup>	12.70±0.44 <sup>g</sup>	0.37±0.12 <sup>f</sup>	0.94±0.04 <sup>fg</sup>	25.28±0.54 <sup>bc</sup>	294.50±3.54 <sup>a</sup>
2T 下	14.40±0.00 <sup>c</sup>	51.56±0.22 <sup>bc</sup>	16.00±0.20 <sup>abcd</sup>	0.23±0.12 <sup>f</sup>	1.96±0.23 <sup>b</sup>	23.12±0.50 <sup>e</sup>	219.50±2.12 <sup>d</sup>
D4	14.60±0.00 <sup>abc</sup>	55.93±0.78 <sup>ef</sup>	16.27±0.67 <sup>ab</sup>	0.83±0.15 <sup>e</sup>	0.99±0.09 <sup>ef</sup>	27.42±0.53 <sup>a</sup>	278.00±1.41 <sup>ab</sup>
DF1XF1 上	14.63±0.06 <sup>ab</sup>	45.77±0.39 <sup>a</sup>	15.63±0.67 <sup>bcd</sup>	1.37±0.15 <sup>cd</sup>	0.75±0.02 <sup>gh</sup>	27.58±0.33 <sup>a</sup>	272.50±9.19 <sup>b</sup>
DF1XF1 下	14.77±0.06 <sup>ab</sup>	56.75±0.48 <sup>f</sup>	16.07±0.45 <sup>abc</sup>	1.73±0.40 <sup>b</sup>	0.72±0.15 <sup>h</sup>	27.61±0.61 <sup>a</sup>	283.50±6.36 <sup>ab</sup>
DF2XF2 上	14.50±0.03 <sup>bc</sup>	46.05±0.49 <sup>a</sup>	16.60±0.98 <sup>ab</sup>	1.60±0.10 <sup>bc</sup>	1.23±0.02 <sup>d</sup>	24.00±0.33 <sup>d</sup>	275.50±3.54 <sup>ab</sup>
DF2XF2 下	14.87±0.06 <sup>a</sup>	57.98±0.53 <sup>fg</sup>	15.10±0.44 <sup>cd</sup>	0.90±0.26 <sup>e</sup>	1.12±0.14 <sup>def</sup>	26.02±0.33 <sup>b</sup>	291.00±1.41 <sup>ab</sup>
普通面粉	14.77±0.06 <sup>ab</sup>	63.83±0.63 <sup>i</sup>	15.87±0.93 <sup>bcd</sup>	0.87±0.12 <sup>e</sup>	0.64±0.06 <sup>hi</sup>	25.09±0.29 <sup>c</sup>	287.50±7.78 <sup>ab</sup>
精制面粉	14.40±0.36 <sup>c</sup>	66.71±0.37 <sup>j</sup>	16.27±0.51 <sup>ab</sup>	0.33±0.06 <sup>f</sup>	0.45±0.01 <sup>i</sup>	24.17±0.95 <sup>d</sup>	296.00±4.24 <sup>a</sup>
变异系数/%	4.93	10.94	8.67	66.89	59.96	14.18	11.55

注：每一列值后的不同字母表示有显著性差异 ( $p<0.05$ )，下同。

### 1.3.3 小麦次粉面筋特性测定

干面筋含量采用快速干燥法进行测定，具体参照 GB/T 5506.1-2008；湿面筋含量采用仪器法进行测定，具体参照 GB/T 5506.2-2008；面筋水分含量等于湿面筋水分含量减去干面筋水分含量；面筋指数采用面筋指数法进行测定，具体参照 SB/T 10248-1995。

### 1.3.4 小麦次粉糊化特性测定

糊化特性采用快速粘度分析仪进行测定，具体参照 GB/T 24853-2010。

### 1.3.5 数据处理与统计分析

试验数据采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析，结果以平均值±标准差表示，通过一元方差分析 (One-Way ANOVA) 进行多个组间平均数的比较，如果组间存在显著性差异 ( $p<0.05$ )，则采用 Duncan 检验进行组间多重比较。

运用 SPSS 16.0 数据处理系统提取样品主成分并得到各主成分因子得分情况，根据得分情况对其进行排序，分析比较不同样品间的品质优劣情况；根据样品主要品质指标，采用 SPSS 16.0 对 14 个样品进行系统聚类分析，得到聚类树状图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同粉路小麦次粉的营养品质特性

12 个不同粉路小麦次粉和 2 个不同等级小麦粉的

营养品质特性如表 1 所示，水分、蛋白质、淀粉、降落数值和破损淀粉含量样品间差异较小，其变异系数分别为 4.93%、8.67%、10.94%、11.55%和 14.18%；而灰分和脂肪含量样品间差异较大，分别高达 59.96%和 66.89%。精制面粉和普通面粉的淀粉含量显著高于 12 个不同粉路小麦次粉 ( $p<0.05$ )，相比于面粉，多数粉路小麦次粉的脂肪、灰分和破损淀粉含量较高，降落数值较小。本研究结果与文献报道相近，中筋粉和高筋粉次粉的淀粉含量均低于 60%<sup>[24]</sup>；7 种不同粉路次粉的灰分含量均高于市售面粉，而淀粉含量低于市售面粉<sup>[11]</sup>；高筋、中筋次粉的破损淀粉含量高于高筋、中筋面粉，而降落数值低于高筋、中筋面粉<sup>[10]</sup>。破损淀粉是小麦在制粉过程中受到机械损伤形成，其含量随着研磨强度增强而升高，研磨强度较大时， $\alpha$ -淀粉酶活性也会增强，被水解的淀粉增加，导致降落数值降低，面团的形成时间和稳定时间下降，弱化度增大<sup>[25]</sup>。因此，次粉中过高的破损淀粉含量和较低的降落数值可能是影响面制品最终品质的主要原因<sup>[26,27]</sup>。

### 2.2 不同粉路小麦次粉的色泽

12 个不同粉路小麦次粉和 2 个不同等级小麦粉的色泽如表 2 所示，L 值样品间差异较小，其变异系数为 3.08%；a 值和 b 值样品间差异较大，分别为 72.87%和 20.77%。L 值代表亮度，可反映面粉的白度；a 值代表红绿，正值越大表示色值偏红；b 值代表黄蓝，

正值越大表示偏黄。除次粉 DF1XF1 上、DF1XF1 下和 DF2XF2 上外, 其它次粉的 a 值和 b 值显著高于面粉 ( $p<0.05$ ), 表明次粉色泽偏红黄。王杰<sup>[9]</sup>比较了特精粉、特制粉和次粉的色度, 次粉的 L 值最小, a 值和 b 值最大, 与本研究结果一致, 且随着次粉在混配粉中占比的增加, 馒头和面条的白度显著下降, 进而降低了产品的感官评分, 次粉的色泽也影响了以次粉为原料的烙饼的色泽和外观等感官特性<sup>[11]</sup>。

表 2 不同粉路小麦次粉的色泽

Table 2 Color of different wheat middlings

样品	L	a	b
4BF 下	91.80±0.13 <sup>a</sup>	1.84±0.06 <sup>c</sup>	9.42±0.05 <sup>d</sup>
5BF 上	91.11±0.27 <sup>abc</sup>	1.99±0.04 <sup>b</sup>	9.84±0.08 <sup>c</sup>
7M 下	88.67±0.71 <sup>de</sup>	2.83±0.12 <sup>a</sup>	11.75±0.61 <sup>a</sup>
8M 上	83.90±0.41 <sup>g</sup>	1.24±0.10 <sup>e</sup>	10.81±0.27 <sup>b</sup>
8M 下	86.30±0.22 <sup>f</sup>	0.73±0.05 <sup>f</sup>	8.43±0.11 <sup>f</sup>
1T 下	92.91±0.07 <sup>a</sup>	1.91±0.02 <sup>bc</sup>	10.00±0.00 <sup>c</sup>
2T 下	91.22±4.80 <sup>ab</sup>	1.37±0.14 <sup>d</sup>	10.91±0.20 <sup>b</sup>
D4	87.53±0.12 <sup>ef</sup>	0.68±0.03 <sup>f</sup>	7.97±0.25 <sup>f</sup>
DF1XF1 上	89.37±0.21 <sup>de</sup>	0.23±0.05 <sup>i</sup>	5.80±0.20 <sup>k</sup>
DF1XF1 下	88.48±0.41 <sup>de</sup>	0.27±0.02 <sup>hi</sup>	6.20±0.14 <sup>j</sup>
DF2XF2 上	87.59±0.34 <sup>ef</sup>	0.46±0.03 <sup>g</sup>	7.24±0.20 <sup>h</sup>
DF2XF2 下	92.24±0.62 <sup>a</sup>	1.94±0.08 <sup>b</sup>	9.38±0.12 <sup>d</sup>
普通面粉	89.49±0.28 <sup>bcd</sup>	0.35±0.04 <sup>h</sup>	7.53±0.09 <sup>g</sup>
精制面粉	91.52±0.43 <sup>a</sup>	0.11±0.03 <sup>j</sup>	6.86±0.11 <sup>i</sup>
变异系数/%	3.08	72.87	20.77

表 3 不同粉路小麦次粉的面筋特征值

Table 3 Gluten profile characteristics of different wheat middlings

样品	干面筋/(g/100 g)	湿面筋/(g/100 g)	面筋指数	面筋水分/(g/100 g)
4BF 下	9.95±0.21 <sup>ef</sup>	31.15±0.21 <sup>fgh</sup>	27.50±3.54 <sup>f</sup>	21.20±0.00 <sup>ef</sup>
5BF 上	11.95±0.21 <sup>cd</sup>	36.35±0.64 <sup>de</sup>	57.50±0.71 <sup>bc</sup>	24.40±0.42 <sup>c</sup>
7M 下	11.40±0.00 <sup>d</sup>	40.20±0.00 <sup>bc</sup>	47.50±0.71 <sup>d</sup>	28.80±0.00 <sup>ab</sup>
8M 上	9.25±0.64 <sup>f</sup>	28.55±0.21 <sup>h</sup>	37.00±2.83 <sup>e</sup>	19.30±0.99 <sup>fg</sup>
8M 下	12.95±0.21 <sup>bc</sup>	40.55±0.78 <sup>bc</sup>	61.00±4.24 <sup>ab</sup>	27.65±0.64 <sup>b</sup>
1T 下	9.40±0.42 <sup>f</sup>	31.10±0.71 <sup>hgf</sup>	39.00±1.41 <sup>e</sup>	21.70±0.28 <sup>def</sup>
2T 下	12.85±0.63 <sup>bc</sup>	30.80±0.85 <sup>gh</sup>	38.50±0.71 <sup>e</sup>	17.95±1.48 <sup>g</sup>
D4	14.30±0.14 <sup>a</sup>	43.30±1.40 <sup>ab</sup>	58.00±1.41 <sup>bc</sup>	29.00±1.55 <sup>ab</sup>
DF1XF1 上	13.90±0.14 <sup>ab</sup>	43.01±1.13 <sup>ab</sup>	59.00±2.83 <sup>bc</sup>	29.15±1.20 <sup>ab</sup>
DF1XF1 下	14.65±0.35 <sup>a</sup>	44.55±2.33 <sup>a</sup>	65.00±2.82 <sup>a</sup>	29.90±1.98 <sup>a</sup>
DF2XF2 上	11.10±0.14 <sup>de</sup>	34.35±0.21 <sup>ef</sup>	42.00±2.83 <sup>de</sup>	23.30±0.14 <sup>cde</sup>
DF2XF2 下	12.90±0.14 <sup>bc</sup>	40.00±0.42 <sup>bc</sup>	53.50±3.54 <sup>c</sup>	27.10±0.28 <sup>b</sup>
普通面粉	10.85±0.07 <sup>de</sup>	33.90±0.42 <sup>efg</sup>	65.50±0.71 <sup>a</sup>	23.00±0.42 <sup>cde</sup>
精制面粉	14.00±1.84 <sup>ab</sup>	38.10±4.38 <sup>cd</sup>	57.50±3.54 <sup>bc</sup>	24.10±2.55 <sup>cd</sup>
变异系数/%	15.18	14.33	23.42	15.82

### 2.3 不同粉路小麦次粉的面筋特性

12 个不同粉路小麦次粉和 2 个不同等级小麦粉的面筋特性如表 3 所示, 干面筋、湿面筋和面筋水分含量变异系数在 15% 左右, 面筋指数变异系数最大 (23.42%), 表明不同粉路次粉和面粉间面筋特性差异显著。

结果显示, 次粉 DF1XF1 下和 8M 上与普通面粉面筋指数相当, 显著大于其它粉路次粉 ( $p<0.05$ ), 这与文献报道一致, 打麸粉和吸风粉接近糊粉层和外层胚乳, 湿面筋含量较高, 而心磨粉的面筋指数更大<sup>[28]</sup>, 随着混粉中次粉占比增加, 面筋指数明显降低<sup>[9]</sup>; 添加不同比例全麦粉的复配粉, 其面筋指数显著低于小麦粉<sup>[29]</sup>。面筋指数与面制品品质密切相关, 面筋指数越大, 面制品品质越高, 次粉较低的面筋指数也是影响面制品品质的重要因素<sup>[30,31]</sup>。

### 2.4 不同粉路小麦次粉的糊化特性

糊化特性是反映面粉中淀粉性质的重要指标, 峰值粘度反映结合水的能力或者颗粒的膨胀程度; 衰减值为峰值粘度和最低粘度的差值, 反映的是淀粉糊的热稳定性, 衰减越小, 表示淀粉糊越稳定; 回生值是最终粘度和最低粘度的差值, 反映的是淀粉重结晶的程度大小, 回生值越大, 表明淀粉回生越明显, 抗老化能力越差<sup>[32,33]</sup>。

表4 不同粉路小麦次粉的RVA特征值

Table 4 RVA profile characteristics of different wheat middlings

样品	峰值粘度/cP	最低粘度/cP	衰减值/cP	最终粘度/cP	回生值/cP	峰值时间/min	糊化温度/°C
4BF 下	883.00±9.00 <sup>b</sup>	342.33±6.66 <sup>g</sup>	511.33±11.50 <sup>b</sup>	1025.00±10.82 <sup>g</sup>	689.33±11.50 <sup>f</sup>	5.65±0.04 <sup>bc</sup>	89.62±0.85 <sup>cd</sup>
5BF 上	870.33±25.40 <sup>h</sup>	284.33±6.51 <sup>i</sup>	468.00±10.54 <sup>i</sup>	996.33±13.05 <sup>h</sup>	651.33±14.29 <sup>g</sup>	5.58±0.08 <sup>cd</sup>	87.78±0.46 <sup>e</sup>
7M 下	511.00±14.00 <sup>j</sup>	148.33±6.51 <sup>k</sup>	362.67±8.50 <sup>g</sup>	376.00±10.58 <sup>k</sup>	238.33±11.59 <sup>j</sup>	5.10±0.03 <sup>g</sup>	88.82±0.80 <sup>de</sup>
8M 上	210.00±7.00 <sup>k</sup>	104.33±5.03 <sup>i</sup>	105.33±4.04 <sup>k</sup>	278.67±3.06 <sup>i</sup>	174.67±2.08 <sup>k</sup>	5.16±0.04 <sup>g</sup>	94.42±0.03 <sup>a</sup>
8M 下	871.67±11.68 <sup>h</sup>	332.67±2.08 <sup>h</sup>	543.33±6.11 <sup>g</sup>	1022.67±2.52 <sup>g</sup>	689.67±1.15 <sup>f</sup>	5.54±0.01 <sup>d</sup>	88.85±0.00 <sup>de</sup>
1T 下	992.67±7.02 <sup>f</sup>	336.33±4.04 <sup>gh</sup>	652.33±7.09 <sup>d</sup>	923.33±5.03 <sup>i</sup>	579.67±8.50 <sup>h</sup>	5.44±0.04 <sup>e</sup>	87.55±0.40 <sup>ef</sup>
2T 下	555.67±12.86 <sup>i</sup>	184.67±3.51 <sup>j</sup>	371.00±9.54 <sup>g</sup>	535.67±7.09 <sup>j</sup>	349.00±7.00 <sup>i</sup>	5.35±0.04 <sup>f</sup>	85.15±1.20 <sup>g</sup>
D4	1021.00±13.11 <sup>e</sup>	398.00±7.21 <sup>e</sup>	620.33±18.04 <sup>c</sup>	1194.67±6.66 <sup>d</sup>	790.33±7.37 <sup>d</sup>	5.65±0.04 <sup>bc</sup>	90.43±0.03 <sup>bc</sup>
DF1XF1 上	1223.00±12.12 <sup>b</sup>	501.67±0.58 <sup>b</sup>	722.67±15.57 <sup>b</sup>	1448.67±2.08 <sup>a</sup>	947.33±2.08 <sup>b</sup>	5.84±0.04 <sup>a</sup>	86.37±0.03 <sup>f</sup>
DF1XF1 下	1173.33±10.50 <sup>c</sup>	489.33±3.21 <sup>c</sup>	730.67±12.50 <sup>b</sup>	1419.33±15.50 <sup>b</sup>	975.00±8.89 <sup>a</sup>	5.84±0.04 <sup>a</sup>	87.78±0.46 <sup>e</sup>
DF2XF2 上	981.67±6.81 <sup>f</sup>	370.33±6.66 <sup>f</sup>	554.00±5.29 <sup>g</sup>	1325.67±12.58 <sup>c</sup>	852.33±11.06 <sup>c</sup>	5.82±0.08 <sup>a</sup>	89.95±0.95 <sup>cd</sup>
DF2XF2 下	954.00±9.85 <sup>g</sup>	371.00±4.00 <sup>f</sup>	582.33±9.29 <sup>f</sup>	1151.00±27.06 <sup>e</sup>	723.00±11.36 <sup>e</sup>	5.63±0.04 <sup>c</sup>	91.53±1.63 <sup>b</sup>
普通面粉	1087.33±14.01 <sup>d</sup>	412.00±5.57 <sup>d</sup>	677.33±9.87 <sup>c</sup>	1110.33±11.15 <sup>f</sup>	650.00±7.55 <sup>g</sup>	5.59±0.06 <sup>cd</sup>	72.31±0.21 <sup>h</sup>
精制面粉	1335.67±16.07 <sup>a</sup>	632.67±4.93 <sup>a</sup>	779.00±12.12 <sup>a</sup>	1449.00±26.06 <sup>a</sup>	784.00±6.56 <sup>d</sup>	5.72±0.01 <sup>b</sup>	87.55±0.40 <sup>ef</sup>
变异系数/%	32.55	39.55	32.02	36.49	36.61	4.14	7.58

表5 特征值与贡献率

Table 5 Eigenvalues and contribution rates

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差/%	累计/%	合计	方差/%	累计/%
1	5.134	39.493	39.493	5.134	39.493	39.493
2	2.817	21.666	61.159	2.817	21.666	61.159
3	1.581	12.158	73.317	1.581	12.158	73.317
4	1.413	10.866	84.182	1.413	10.866	84.182
5	0.88	6.772	90.954			
6	0.428	3.29	94.244			
7	0.347	2.668	96.911			
8	0.173	1.331	98.242			
9	0.143	1.103	99.345			
10	0.06	0.463	99.809			
11	0.017	0.13	99.939			
12	0.008	0.061	99.999			
13	7.17E-05	0.001	100			

12个不同粉路小麦次粉和2个不同等级小麦粉的糊化特性由快速粘度分析仪(RVA)特征值表示,如表4所示,不同样品的峰值时间和糊化温度变异系数较小(4.14%和7.58%),表明其起始糊化难易程度相当;峰值粘度、最低粘度、衰减值、最低粘度和回生值变异系数分别为32.55%、39.55%、32.02%、36.49%和36.61%,表明不同粉路次粉和面粉颗粒膨胀程度、淀粉糊热稳定性及老化特性差异较大。精制面粉的峰值粘度、最低粘度和衰减值最大,显著高于各路次粉( $p<0.05$ ),这可能与次粉中过高的破损淀粉含量有

关,破损淀粉的增加会影响小麦粉的糊化特性,导致峰值粘度、最终粘度、衰减值和回生值不断降低<sup>[25,34]</sup>。

## 2.5 小麦次粉主要品质特性的主成分分析

对12个不同粉路小麦次粉和2个不同等级小麦粉的主要品质特性指标进行主成分分析。首先,利用SPSS软件对原始数据进行标准化处理,得到12个变量的相关系数矩阵,再转换初始因子载荷矩阵,使载荷矩阵旋转之后载荷系数更接近1或者0,从而使因子载荷矩阵中系数更加显著<sup>[18]</sup>。结果如表5所示,前

4 个主成分的特征值大于 1, 分别为  $\lambda_1=5.134$ 、 $\lambda_2=2.817$ 、 $\lambda_3=1.581$ 、 $\lambda_4=1.413$ , 且前 4 个因子的方差贡献率达到 84.182%, 因此只提取前 4 个公因子进行后续分析已足够对次粉的品质特性进行评价。

表 6 4 个主成分的载荷矩阵

**Table 6 The loading matrix of four principal components**

成分	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	PC <sub>4</sub>
水分	0.855	-0.077	0.236	-0.305
灰分	-0.659	0.309	0.597	0.136
淀粉	0.221	-0.502	-0.483	0.532
蛋白质	0.001	0.752	0.318	0.274
脂肪	-0.065	0.682	-0.353	0.08
破损淀粉	0.854	0.284	0.16	0.048
降落数值	0.514	0.157	0.212	0.768
白度	0.41	-0.68	0.38	-0.346
湿面筋	0.652	0.353	-0.557	-0.191
干面筋	0.675	0.4	-0.25	-0.173
峰值粘度	0.96	-0.039	0.114	0.046
峰值时间	0.819	0.339	0.326	-0.079
糊化温度	-0.53	0.68	-0.054	-0.388
特征根	5.134	2.817	1.581	1.413
贡献率	39.493	21.666	12.158	10.866
累计贡献率	39.493	61.159	73.317	84.182

表 7 不同粉路小麦次粉的主成分综合得分

**Table 7 Comprehensive principal component value of different wheat middlings**

样品	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	F	综合排名
4BF 下	-1.06	-1.27	0.86	-1.63	-0.77	11
5BF 上	-0.53	0.99	0.80	-0.86	0.01	9
7M 下	-2.67	-1.96	-3.05	-1.37	-2.00	14
8M 上	-5.69	1.56	0.31	2.19	-1.63	13
8M 下	0.69	1.57	-2.11	0.52	0.41	7
1T 下	0.59	-3.64	0.89	1.00	-0.34	10
2T 下	-1.89	-0.38	1.38	-1.39	-0.81	12
D4	1.45	1.23	-0.40	0.08	0.80	4
DF1XF1 上	2.07	1.39	0.31	-1.02	1.05	2
DF1XF1 下	2.41	1.60	-0.68	-0.01	1.22	1
DF2XF2 上	-0.14	1.61	1.32	-0.16	0.44	6
DF2XF2 下	1.33	-0.33	0.37	-0.11	0.49	5
普通面粉	0.81	-0.82	0.15	1.14	0.28	8
精制面粉	2.62	-1.56	-0.15	1.64	0.86	3

如表 6 所示, 主成分分析生成的 4 个主成分在和矩阵, 其绝对值越大, 对该主成分影响越主要<sup>[15]</sup>。因此, 主成分 1 以峰值粘度和破损淀粉的影响为主, 水

分和峰值时间的影响为辅; 主成分 2 以蛋白质的影响为主, 脂肪、白度、糊化温度的影响为辅; 主成分 3 以灰分和湿面筋的影响为主, 淀粉的影响为辅; 主成分 4 以降落数值的影响为主, 淀粉的影响为辅。

以各个主成分方差贡献率作为权数, 由主成分得分和对应的权数相乘求和建立次粉品质预测评价方程  $F_{综}=\alpha_1*Z_1+\alpha_2*Z_2+\alpha_3*Z_3+\alpha_4*Z_4$ , 即主成分综合方程:  $F_{综}=0.423Z_1+0.191Z_2+0.122Z_3+0.102Z_4$ , 依据主成分综合评价模型, 计算得出不同粉路次粉的综合得分和排序结果。由表 7 可知, 综合排名前三位的小麦次粉为 DF1XF1 下、DFXF1 上和 D4, 其综合得分与 14 号精制面粉持平, 品质最好; 综合排名后三位的小麦次粉为 7M 下、8M 上和 2T 下, 品质最差。

### 2.6 小麦次粉主要品质特性的聚类分析

根据次粉主要理化特性指标, 采用 SPSS16.0 对 14 个样品进行系统聚类分析, 得到聚类树状图。如图 1 所示, 当欧式距离为 5.0 时, 将 14 个样品品种聚为 4 类, 次粉 DF1XF1 下和 DFXF1 上与 14 号精制面粉归为一类, 品质较为接近, 食品化利用价值更大, 次粉 DF2XF2 上、1T 下、DF2XF2 下和 D4 与普通面粉品质较为接近, 而次粉 7M 下、2T 下和 8M 上与精制面粉和普通面粉距离最远, 食品化利用价值最小。综上, 聚类分析结果与主成分得分对 12 个不同粉路小麦次粉和 2 个不同等级小麦粉品质分类的判定结果较为一致, 表明主成分分析和聚类分析可用来综合评价不同粉路小麦次粉品质的优劣, 可为小麦次粉的食品化利用提供参考。

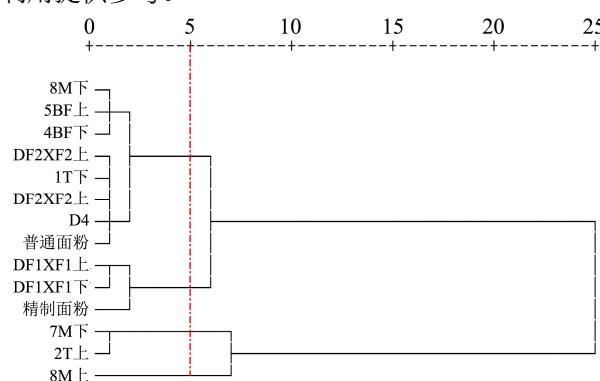


图 1 不同粉路次粉聚类分析树状图

Fig.1 Clustering lineage of different wheat middlings

### 3 结论

在对 12 个不同粉路小麦次粉和 2 个不同等级小麦粉的营养品质、面筋特性和糊化特性进行统计分析的基础上, 通过对不同指标进行主成分分析和聚类分析, 筛选适合食品化利用的小麦次粉。结果显示: 不同粉

路小麦次粉的品质特性中,脂肪、灰分、面筋指数、峰值粘度、最低粘度、最终粘度、衰减值、回生值变异系数较大,均超过20%;通过主成分分析将多指标变量进行简化处理,得到的4个主成分可以替代评价次粉特性的多个指标,并计算出综合得分较高的次粉是DF1XF1下和DFXF1上,其分值与精制面粉接近,食品化利用价值高,而7M下、8M上和2T下综合得分较低。聚类分析将不同粉路次粉分为4类,次粉DF1XF1下和DFXF1上与精制面粉品质较为接近,次粉7M下、8M上和2T下与精制面粉距离最远,品质差异大,结果与主成分分析一致。12个不同粉路小麦次粉中,DF1XF1下和DFXF1上品质最好,7M下、8M上和2T下品质最差。基于主成分分析法和聚类分析法筛选适宜食品化利用的特定粉路小麦次粉,可以简化分析指标,具有快速、简便、合理、科学的优势,能够为小麦次粉的食品化利用提供理论支撑。

### 参考文献

- [1] 郑学玲,李利民,张杰,等.次粉及面粉淀粉的制备、分级与组成分析[J].河南工业大学学报(自然科学版),2008,29(6):9-12  
ZHENG Xueling, LI Limin, ZHANG Jie, et al. The preparation, purification and composition analysis of wheat shorts and flour starches [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2008, 29(6): 9-12
- [2] Warechowska M, Markowska A, Warechowski J, et al. Effect of tempering moisture of wheat on grinding energy, middlings and flour size distribution, and gluten and dough mixing properties [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 69: 306-312
- [3] Anson N M, Hemery Y M, Bast A, et al. Optimizing the bioactive potential of wheat bran by processing [J]. Food & Function, 2012, 3(4): 362-375
- [4] Poutanen K. Past and future of cereal grains as food for health [J]. Trends in Food Science & Technology, 2012, 25(2): 58-62
- [5] Reque P M, Pinilla C M B, Tinello F, et al. Biochemical and functional properties of wheat middlings bioprocessed by lactic acid bacteria [J]. Journal of Food Biochemistry, 2020, 44(7)
- [6] Reque P M, Orlandini Werner J A, Barreto Pinilla C M, et al. Biological activities of wheat middlings bioprocessed with *Bacillus* spp [J]. Lwt - Food Science and Technology, 2017, 77: 525-531
- [7] Dunaway A, Adedokun S A. Metabolizable energy values of corn and wheat middlings in broiler chickens [J]. Canadian Journal of Animal Science, 2019, 99(4): 905-913
- [8] Fessenden S W, Ross D A, Block E, et al. Comparison of milk production, intake, and total-tract nutrient digestion in lactating dairy cattle fed diets containing either wheat middlings and urea, commercial fermentation by-product, or rumen-protected soybean meal [J]. Journal of Dairy Science, 2020, 103(6): 5090-5101
- [9] 王杰.次粉营养强化小麦面粉特性研究[D].郑州:河南工业大学,2013  
WANG Jie. Study on characteristic of wheat middling nutrition fortified flour [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013
- [10] 陈培啸.小麦次粉的蛋白质特性及其转化利用[D].郑州:河南工业大学,2012  
CHEN Peixiao. The protein characteristics studies and utilizing of shorts [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012
- [11] 张轶腾,安红周,王毅敏,等.小麦次粉品质特性及烙饼粉适应性研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2014,35(2): 30-33  
ZHANG Yiteng, AN Hongzhou, WANG Yimin, et al. Quality characteristics of wheat middlings and adaptability of pancake flour [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 35(2): 30-33
- [12] 赵鹏涛.西拉葡萄酒的香气活性物质以及影响瓶装葡萄酒香气因素的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017  
ZHAO Pengtao. Characterization of Syrah wine aroma and study of the influence factors of the bottle wine flavor [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017
- [13] Patras A, Brunton N P, Downey G, et al. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on *in vitro* antioxidant activity [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(2): 250-256
- [14] 刘伟,张群,李志坚,等.不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J].食品科学,2019,40(10):243-250  
LIU Wei, ZHANG Qun, LI Zhijian, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds [J]. Food Science, 2019, 40(10): 243-250
- [15] 张桂英,张喜文,杨斌,等.不同品种小米淀粉理化特性的主成分分析与聚类分析[J].现代食品科技,2017,33(11):224-229  
ZHANG Guiying, ZHANG Xiwen, YANG Bin, et al.

- Principal components analysis and cluster analysis of physicochemical properties of starch from different cultivars of millet [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(11): 224-229
- [16] Kim I, Moon J K, Hur S J, et al. Structural changes in mulberry (*Morus microphylla*. Buckl) and chokeberry (*Aronia melanocarpa*) anthocyanins during simulated *in vitro* human digestion [J]. *Food Chemistry*, 2020, 318
- [17] 张文刚,张焱,杨希娟,等.不同品种青稞炒制后挥发性风味物质 GC-MS 分析[J].*食品科学*,2019,40(8):192-201  
ZHANG Wengang, ZHANG Yao, YANG Xijuan, et al. GC-MS analysis of volatile flavor substances in different varieties of roasted hulless barley [J]. *Food Science*, 2019, 40(8): 192-201
- [18] 黄盼,周改莲,王倩,等.基于主成分和聚类分析评价国产不同批次肉豆蔻挥发油的质量[J].*现代食品科技*,2020,36(5): 310-318  
HUANG Pan, ZHOU Gailian, WANG Qian, et al. Evaluation of the quality of domestically produced different batches of nutmeg volatile oil based on principal component and cluster analysis [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(5): 310-318
- [19] Jaster H, Pires de Campos A C L, Auer L B, et al. Quality evaluation of parmesan-type cheese: a chemometric approach [J]. *Food Science and Technology*, 2014, 34(1): 181-188
- [20] 刘璐,吕春茂,孟宪军,等.不同解冻方式对树莓汁加工特性的影响[J].*食品科学*,2019,40(7):127-134  
LIU Lu, LYU Chunmao, MENG Xianjun, et al. Effects of different thawing methods on processing characteristics of raspberry juice [J]. *Food Science*, 2019, 40(7): 127-134
- [21] Cebi N, Yilmaz M T, Sagdic O. A rapid ATR-FTIR spectroscopic method for detection of sibutramine adulteration in tea and coffee based on hierarchical cluster and principal component analyses [J]. *Food Chemistry*, 2017, 229: 517-526
- [22] 李檐堂,霍宇航,孟瑶瑶,等.陕西安康地区 10 个日本引种枇杷果实品质比较[J].*食品科学*,2019,40(5):70-76  
LI Yantang, HUO Yuhang, MENG Yaoyao, et al. Quality comparison of 10 Japanese loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivars introduced in Ankang, Shannxi, China [J]. *Food Science*, 2019, 40(5): 70-76
- [23] 贾朝爽,单长松,周涛,等.主要樱桃品种果实营养性状分析[J].*食品科学*,2019,40(4):244-250  
JIA Chaoshuang, SHAN Changsong, ZHOU Tao, et al. Comparison of fruit nutritional traits of major cultivars of Chinese cherry (*Prunus pseudocerasus* Lindl.) [J]. *Food Science*, 2019, 40(4): 244-250
- [24] 陈培啸,卞科.超微粉碎对小麦粉次粉理化特性影响的研究[J].*农业机械*,2012,12:58-62  
CHEN Peixiao, BIAN Ke. Study on effect of superfine grinding on physicochemical properties of wheat shorts [J]. *Farm Machinery*, 2012, 12: 58-62
- [25] 关二旗,庞锦玥,卞科.研磨强度对小麦粉品质特性影响的研究进展[J].*河南工业大学学报(自然科学版)*,2019,40(5): 126-131  
GUAN Erqi, PANG Jinyue, BIAN Ke. Research progress on the effect of grinding strength on wheat flour quality characteristics [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2019, 40(5): 126-131
- [26] Angelidis G, Protonotariou S, Mandala I, et al. Jet milling effect on wheat flour characteristics and starch hydrolysis [J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2016, 53(1): 784-791
- [27] 孙创举.不同粒度小麦粉组成的差异及其对面制品品质的影响[D].*郑州:河南工业大学*,2016  
SUN Chuangju. The difference of the composition of different granularity endosperm particles and the influence of particle size on the quality of flour product [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016
- [28] 冯婕,温纪平,张弘.不同精度对小麦粉品质及其面团特性的研究[J].*食品科技*,2021,46(2):118-123  
FENG Jie, WEN Jiping, ZHANG Hong. Effect of the different processing precision on the flour quality and dough properties [J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(2): 118-123
- [29] 刘艳香,汪丽萍,田晓红,等.稳定化全麦粉及其馒头加工品质评价研究[J].*粮油食品科技*,2013,21(6):1-5  
LIU Yanxiang, WANG Liping, TIAN Xiaohong, et al. Study on evaluation of processing quality of stabilized whole-wheat flour and steamed bread [J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2013, 21(6): 1-5
- [30] Yuksel Y, Elgun A. Determination of the effect of high energy ultrasound application in tempering on flour quality of wheat [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 67
- [31] Mefleh M, Conte P, Fadda C, et al. From seed to bread: variation in quality in a set of old durum wheat cultivars [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(11): 4066-4074