

西北地区馒头老酵子中氨基酸主成分分析及综合评价

Principal Component Analysis and Comprehensive Evaluation of Amino Acids in Chinese traditional dough fermentation starter from Northwest of China

康佳木 李倩倩 刘柳 胡新中 李小平 马蓁

KANG Jia-mu LI Qian-qian LIU Liu HU Xing-zhong LI Xiao-ping MA Zhen

(陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710119)

(School of Food Engineering and Nutrition Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

摘要:为研究不同地域馒头老酵子中氨基酸综合质量的差异,以中国西北五省10个不同地区的农家手工老酵子为研究对象,采用氨基酸自动分析仪分别测定了样品中氨基酸的种类与含量,并以氨基酸含量为参数利用主成分分析和聚类分析对不同地域老酵子的氨基酸进行了综合评价。结果表明,馒头老酵子中检出的16种氨基酸中平均含量最高的为谷氨酸,达66.91 g/kg,必需氨基酸中含量最高的为苯丙氨酸,达27.60 g/kg。通过主成分分析提取了2个主成分并建立了综合评价模型 $F=0.827 4F_1+0.089 7F_2$ 。综合得分及聚类分析结果表明,馒头老酵子氨基酸含量存在地域性差异,氨基酸综合质量最高的为甘肃定西的样品,最低的为陕西武功的老酵子样品。

关键词:老酵子;氨基酸;主成分分析;聚类分析;综合评价

Abstract: To study the difference of the comprehensive quality of amino acids in different regions of the Chinese traditional dough fermentation starter, 10 Chinese traditional dough fermentation starter samples collected from 10 regions in northwestern China were used as the research object. Content and categories of amino acids in 10 Chinese traditional dough fermentation starter samples were determined by automatic amino acids analyzer, and the principal component analysis and cluster analysis were applied to the statics in order to evaluate these starter samples. Content of Glu was 66.91 g/kg, and was the highest among that of 16 amino acids. Content of Phe was 27.60 g/kg, and was the highest among that of essential amino acids. Two principal components were extracted by principal component analysis and the comprehensive evaluation model $F = 0.827 4F_1 + 0.089 7F_2$ was established. Comprehensive scores and clustering analysis showed that there were regional differences in amino acid contents of the Chinese traditional dough fermentation

starter in different regions, and the samples collected from Gansu Dingxi have the highest quality, while the lowest was Shaanxi Wugong samples.

Keywords: Chinese traditional dough fermentation starter; amino acid; principal component analysis; cluster analysis; comprehensive evaluation

馒头是中国传统的蒸制发酵面食制品,在中国西北地区,馒头是重要的主食之一,且多为传统手工老酵子发酵制作而成。酵子是一种以谷物为原料经自然发酵形成的多菌种混合发酵剂。传统的老酵子中菌种复杂多样,酶系丰富,使酵子同时具有糖化、发酵和酯化等能力^[1-2]。此外,酵子发酵较为缓慢,长时间的发酵过程使馒头组织结构更加柔软细腻,富有弹性,并且生成醇、酯、醛、小分子糖、氨基酸等多种风味物质,这也是手工馒头风味独特的重要原因^[3]。

氨基酸作为一种重要的生物活性物质,不仅具有调节营养物质代谢、为机体提供能量、增强免疫、抗氧化等功能^[4],在食品风味形成的过程中也发挥着重要的作用^[5]。面团发酵过程中,谷物中含有的蛋白质在微生物及其自身所含蛋白酶的作用下逐渐水解,并积累成作为风味前体物质的多肽和氨基酸^[6-7],其不仅可以促进微生物生长,提高面团的营养品质,而且微生物在代谢过程中会将氨基酸转化为乙酰类化合物,提高面制食品的风味^[8]。Gänzle等^[9]研究表明面包的风味主要取决于面粉中酶的活性,以及发酵过程中酵母和乳酸菌的代谢活性。在以酵母作为唯一发酵剂制作的面包中,包括呈味的谷氨酸在内的氨基酸含量都很低,这是因为在面团发酵阶段的蛋白水解有限^[6,10-11],且酵母发酵会导致游离氨基酸含量降低^[7],因此,可将老酵子中氨基酸的种类和数量作为其品质评价的重要指标。

主成分分析是指将数据降维,通过线性代数的方式来体现两种维度之间的关系^[12]。公丽艳等^[13]采用主成分和聚类分析方法探讨苹果品种间理化品质的差异,认为此方法可用

基金项目:陕西省科技统筹项目(编号:2015KTZDNY01-07)

作者简介:康佳木,男,陕西师范大学在读硕士研究生。

通信作者:刘柳(1980—),女,陕西师范大学副教授,博士。

E-mail:liuliu@snnu.edu.cn

收稿日期:2017-02-17

来分析苹果品质指标及其鲜食品质的优劣。武俊瑞等^[14]通过主成分分析法对采自中国东北10个地区的传统发酵豆酱中的游离氨基酸质量分数进行综合评价,发现黑龙江省齐齐哈尔传统发酵豆酱中游离氨基酸综合质量最高,最低的为辽宁营口。相对于西方对于其传统面包发酵剂面团在提高发酵产品营养物质利用率,改善感官品质,延长货架期及制备功能性产品等多方面的研究^[15-16],中国在传统面食发酵剂方面尚缺乏系统的基础理论研究。因此,本试验拟采用主成分分析及聚类分析探究馒头老酵子中氨基酸的种类与含量,以期从氨基酸的角度探讨老酵子的营养价值和地域性差异,为老酵子中微生物多样性、风味物质形成的机理及其制作工艺的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

样品:采集于中国西北五省的10个地区,均采用传统工艺制作,样品采集后于-4℃储存,具体信息见表1。

表1 样品数量、编号及采地信息

Table 1 Number, name and position of Chinese traditional dough fermentation starter samples

样品编号	采样地	样品编号	采样地
XKEL	新疆库尔勒	GDX	甘肃定西
XWLMQ	新疆乌鲁木齐	NGY	宁夏固原
QHY	青海海晏	SYA	陕西延安
QXN	青海西宁	SCA	陕西西安
GZY	甘肃张掖	SWG	陕西武功

盐酸:优级纯,洛阳昊华化学试剂有限公司;
 茚三酮:色谱纯,日本和元纯药工业株式会社;
 柠檬酸:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;
 柠檬酸钠:分析纯,天津市百世化工有限公司;
 氯化钠:分析纯,天津市天力化学试剂有限公司;
 无水乙醇:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

超声波清洗机:KH-7200DB型,昆山市超声仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-2AB型,北京中兴伟业仪器有限公司;

全自动氨基酸分析仪:HITACHI L-8900型,日本日立公司。

1.2 方法

1.2.1 样品前处理与氨基酸的测定 参照GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》,将老酵子样品于万能粉碎机中打粉后,称取300mg酵子粉于水解管中,加入6mol/L盐酸溶液10mL,超声(功率100W,时间2min)后充入氮气并封管,于110℃条件下水解22h,冷却至室温后,用超纯水洗涤水解管并将水解液定容于100mL容量瓶中,0.45μm滤膜过滤后取1mL滤液以超纯水定容于

10mL容量瓶中,再经滤膜过滤后,取1.5mL作为待测液,通过全自动氨基酸分析仪检测分析。

1.2.2 色谱条件 色谱柱:3μm磺酸型阳离子树脂分离柱(4.6mm×60mm);梯度洗脱:循环时间53min,分离柱柱温57℃,反应柱柱温135℃,缓冲液流速0.40mL/min,茚三酮流速0.35mL/min;通道1:检测波长570nm,采集时间32min;通道2:检测波长440nm,采集时间10min;进样量20μL。

1.2.3 数据统计与分析 采用SPSS 19.0分析软件,对采自中国西北10个地区的老酵子中氨基酸进行主成分分析及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 西北10个地区馒头老酵子中氨基酸测定结果

由图1可知,30min内,混合标准品中的17种氨基酸均得到了很好的分离。利用氨基酸自动分析仪测定西北10个地区老酵子样品中氨基酸结果见表2。食物蛋白质中氨基酸组成比例虽不尽相同,但其营养价值的优劣主要取决于所含必需氨基酸的种类、数量和组成比例^[17]。由表2可知,样品均含有16种氨基酸,且氨基酸平均含量为80.13g/kg。检出的16种氨基酸中平均含量最高的为Glu,达66.91g/kg,Glu虽不是人体必需氨基酸,但可作为谷氨酰胺等氨基酸的前体,谷氨酰胺对氮平衡、肠黏膜免疫及肌肉蛋白质代谢等均有益处^[18]。必需氨基酸中含量最高的为Phe,其含量达27.60g/kg,Phe通常用来生产甜味剂,同时具有抗氧化及免疫调节的功能^[19]。其中甘肃定西的老酵子中必需氨基酸含量最高(达136.87g/kg),其次是宁夏固原(128.69g/kg),最低的是陕西武功(45.65g/kg)。各地区老酵子中必需氨基酸占总氨基酸比例的变化范围在24.75%~39.82%,其中宁夏固原、甘肃张掖和甘肃定西三地老酵子中EAA/TAA分别为39.82%,39.82%,38.31%,均接近于FAO/WHO的规定(EAA/TAA为40%)^[20],且三地的EAA/NEAA分别为66.17%,66.17%,62.10%,均高于FAO/WHO的规定(EAA/NEAA为60%)^[20]。上述结果表明宁夏固原、甘肃张掖和甘肃定西三地老酵子营养品质较好,蛋白质含量基本达到理想要求。

2.2 老酵子中呈味氨基酸的含量分析

根据氨基酸的不同呈味特征,食品中的氨基酸可分为呈

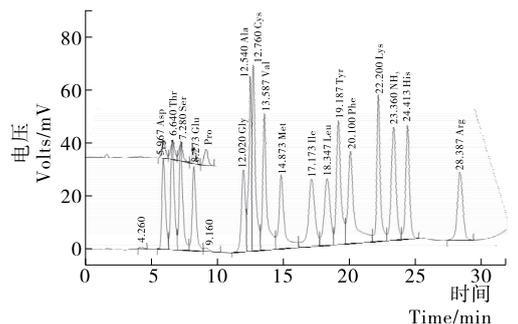


图1 氨基酸标准品测定曲线

Figure 1 Determination curves of standard samples of amino acids

表 2 10 个地区老酵子样品中氨基酸含量

Table 2 Content of amino acids among ten varieties of Chinese traditional dough fermentation starter g/kg

样品	天冬氨酸 (Asp)	苏氨酸* (Thr)	丝氨酸 (Ser)	谷氨酸 (Glu)	甘氨酸 (Gly)	丙氨酸 (Ala)	缬氨酸* (Val)	蛋氨酸* (Met)	异亮氨酸* (Ile)	亮氨酸* (Leu)
XKEL	6.718	4.416	7.641	63.248	4.243	23.122	8.204	3.945	4.002	8.382
XWLMQ	6.533	3.976	6.521	57.494	3.807	24.211	7.998	3.267	3.698	7.913
QHY	7.393	4.209	6.372	41.882	3.539	25.362	8.685	5.873	3.044	8.409
QXN	8.334	5.357	8.905	75.416	4.840	20.602	17.669	6.645	4.528	9.673
GZY	8.223	5.279	9.178	77.313	5.568	27.419	21.629	11.774	13.329	16.568
GDX	9.350	5.619	9.648	82.990	6.083	29.179	23.031	19.824	13.941	18.238
NGY	8.791	5.283	9.072	78.030	5.720	27.435	21.655	18.639	13.107	17.148
SYA	6.701	4.511	7.702	63.679	4.014	25.191	9.024	5.395	3.785	7.064
SCA	7.017	4.690	8.071	68.129	4.040	20.542	9.644	5.975	4.087	7.600
SWG	7.438	4.604	7.717	60.917	3.847	17.515	7.924	2.011	3.580	6.897

样品	酪氨酸 (Tyr)	苯丙氨酸* (Phe)	赖氨酸* (Lys)	组氨酸 (His)	精氨酸 (Arg)	脯氨酸 (Pro)	EAA	TAA	EAA/TAA	EAA/NEAA
XKEL	21.090	24.642	7.554	7.919	4.566	16.470	61.144	216.161	28.29%	39.44%
XWLMQ	23.323	27.531	6.900	4.608	4.687	16.205	61.283	208.671	29.37%	41.58%
QHY	22.220	16.929	9.566	7.238	3.975	11.473	56.715	186.169	30.46%	43.81%
QXN	23.469	30.431	10.886	7.798	5.154	18.778	85.189	258.484	32.96%	49.16%
GZY	27.369	37.106	13.205	9.123	5.239	22.004	118.891	310.327	38.31%	62.10%
GDX	29.583	41.951	14.266	11.183	5.967	22.874	136.869	343.727	39.82%	66.17%
NGY	27.815	39.444	13.413	10.515	5.611	21.507	128.689	323.184	39.82%	66.17%
SYA	20.138	18.959	2.555	3.009	3.833	17.056	51.293	202.616	25.32%	33.90%
SCA	22.247	20.728	2.849	3.007	4.382	15.757	55.573	208.764	26.62%	36.28%
SWG	18.991	18.240	2.391	2.777	4.106	15.450	45.646	184.404	24.75%	32.90%

† * 为必需氨基酸, EAA 为必需氨基酸总量, TAA 为总氨基酸含量, EAA/TAA(%) 为必需氨基酸占总氨基酸的比例, EAA/NEAA(%) 为必需氨基酸占非必需氨基酸的比例。

鲜、甜、苦和无味四大类。呈鲜味氨基酸包括 Asp、Glu, 呈甜味氨基酸包括 Ser、Gly、Thr、Ala, 呈苦味氨基酸包括 Ile、Tyr、His、Leu、Phe^[13, 21-22]。由表 3 可知, 呈鲜、甜、苦氨基酸总量最高的均为甘肃定西的样品, 而陕西武功的样品中呈鲜氨基酸的含量所占比例最高, 青海海晏的样品中呈甜氨基酸的含量

所占比例最高。甘肃张掖的样品中呈苦氨基酸的含量所占比例最高。10 个地区老酵子的呈味氨基酸均占到总氨基酸含量的 70% 以上, 它们对馒头风味的形成起到了重要的作用。

2.3 老酵子中氨基酸相关性分析

由表 4 可知, 16 种氨基酸含量间的相关系数均大于零,

表 3 10 个地区馒头老酵子中呈味氨基酸含量分析

Table 3 Analysis of flavor amino acid content based on Chinese traditional dough fermentation starter samples collected from 10 regions

样品	鲜味		甜味		苦味		呈味氨基酸总量	
	含量/(g·kg ⁻¹)	所占比例/%						
XKEL	69.966	32.370	39.422	18.240	66.034	30.550	175.422	81.150
XWLMQ	64.027	30.680	38.515	18.460	67.073	32.140	169.615	81.280
QHY	49.276	26.470	39.482	21.210	57.840	31.070	146.598	78.740
QXN	83.749	32.400	39.704	15.360	75.898	29.360	199.351	77.120
GZY	85.536	27.560	47.444	15.290	103.495	33.350	236.476	76.200
GDX	92.340	26.860	50.530	14.700	114.895	33.430	257.765	74.990
NGY	86.821	26.860	47.510	14.700	108.028	33.430	242.360	74.990
SYA	70.380	34.740	41.418	20.440	52.955	26.140	164.753	81.310
SCA	75.146	36.000	37.343	17.890	57.669	27.620	170.158	81.510
SWG	68.355	37.070	33.683	18.270	50.484	27.380	152.522	82.710

表4 不同老酵子氨基酸种类间的相关性

Table 4 Correlation of different types amino acids in Chinese traditional dough fermentation starter

氨基酸	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Val	Met	Ile	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg	Pro
Asp	1.000															
Thr	0.912	1.000														
Ser	0.823	0.974	1.000													
Glu	0.709	0.893	0.959	1.000												
Gly	0.883	0.910	0.916	0.890	1.000											
Ala	0.470	0.347	0.332	0.315	0.627	1.000										
Val	0.925	0.923	0.886	0.831	0.970	0.612	1.000									
Met	0.871	0.789	0.761	0.709	0.914	0.760	0.898	1.000								
Ile	0.826	0.791	0.802	0.765	0.949	0.730	0.922	0.927	1.000							
Leu	0.869	0.797	0.781	0.731	0.954	0.757	0.943	0.948	0.987	1.000						
Tyr	0.818	0.728	0.696	0.686	0.900	0.775	0.912	0.921	0.921	0.955	1.000					
Phe	0.804	0.783	0.789	0.823	0.951	0.656	0.924	0.863	0.911	0.931	0.939	1.000				
Lys	0.803	0.660	0.573	0.505	0.806	0.713	0.854	0.789	0.787	0.871	0.888	0.853	1.000			
His	0.787	0.663	0.599	0.522	0.818	0.709	0.817	0.809	0.781	0.863	0.843	0.831	0.967	1.000		
Arg	0.840	0.806	0.794	0.820	0.929	0.550	0.904	0.846	0.854	0.892	0.919	0.977	0.846	0.834	1.000	
Pro	0.745	0.850	0.905	0.945	0.952	0.548	0.896	0.800	0.890	0.861	0.808	0.924	0.655	0.653	0.874	1.000

即氨基酸之间均为正相关,且多数氨基酸间的相关系数大于0.5,表明老酵子中检出的16种氨基酸之间具有较强的相关性,可通过主成分分析的方法研究酵子中氨基酸含量与不同地域酵子品质之间的关系。

2.4 老酵子中氨基酸的主成分分析与聚类分析

根据成分累积贡献率的观点,应提取 $\geq 85\%$ 的值作为主成分。本试验综合考虑碎石图和方差贡献率确定的主成分数。由表5可知,前2个主成分的特征值均大于1,因此提取前2个主成分最合适,其累积方差贡献率为91.712%,综合了老酵子氨基酸含量的大部分信息。

表5 主成分的特征值及累计贡献率

Table 5 Eigenvalues of the principal components and their cumulative contribution

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	13.239	82.743	82.743
2	1.435	8.969	91.712

因子载荷图见图2,其可直观地解释主成分对老酵子中检出的氨基酸含量的贡献。由图2可知,第1主成分的贡献率占总变异信息的82.743%,主要反映Glu、Ser、Thr、Pro等氨基酸的变异信息;第2主成分的贡献率占总变异信息的8.969%,主要反映Ala、Lys等氨基酸的变异信息;载荷值主要反映各变量与主成分之间的相关系数,且第1主成分与老酵子中检出的16种氨基酸均呈高度正相关,对第1主成分贡献最大的是Gly,载荷量为0.991,对第1主成分贡献最小的是Ala,载荷量为0.675。第2主成分与Ala、Lys、His、Tyr、Leu、Met、Ile、Phe均呈正相关,与Arg、Val、Asp、Gly、Pro、Thr、Ser和Glu呈负相关关系,对第2主成分贡献最大的是Ala,载荷量为0.61,对第2主成分贡献最小的是Asp,

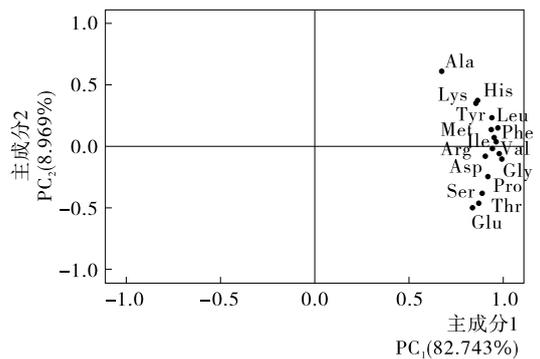


图2 因子载荷图

Figure 2 Factor load diagram

负荷量为-0.498。这2个主成分的贡献因子包含了必需氨基酸因子和呈味氨基酸因子。

由于主成分PC₁和PC₂可以解释整体变异信息的91.712%,由此可知利用前2个主成分进行氨基酸的综合评价是可行的。利用综合评价指标F₁、F₂替代原有的16个氨基酸指标进行综合分析,以每个主成分所对应的特征值的方差贡献率建立综合评价模型,即 $F = 0.8274F_1 + 0.0897F_2$ 。由于老酵子氨基酸的综合评分与氨基酸总量及必需氨基酸含量之间具有较强的相关性,相关系数分别达到0.9801和0.9867,因此综合得分能很好地评价老酵子中氨基酸的综合质量。依据此公式分别计算西北10个地区老酵子样品中氨基酸的综合得分,然后进行综合评价。因子得分见图3,聚类分析见图4。

由图3可知,综合指标F₁、F₂得分最高的分别是甘肃定西和青海海晏的老酵子样品,得分最低的均为陕西武功的。西北10个地区老酵子综合得分由高到低依次为甘肃定西、宁夏固原、甘肃张掖、青海西宁、新疆库尔勒、新疆乌鲁木齐、青海海晏、陕西长安、陕西延安、陕西武功;其中甘肃定西的

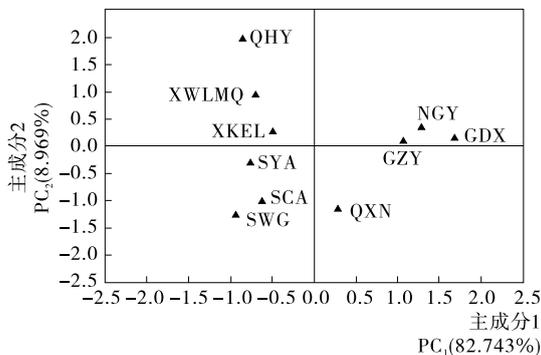


图 3 因子得分图

Figure 3 Factor score diagram

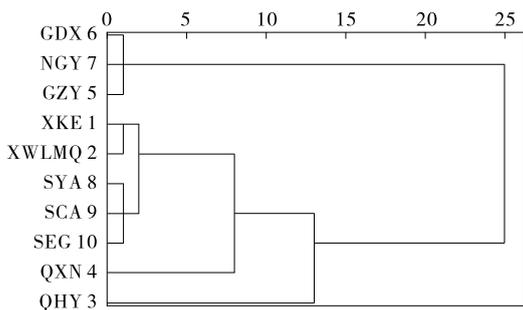


图 4 聚类分析图

Figure 4 Dendrogram of HCA (hierarchical cluster analysis)

综合得分最高,达到 1.409,并且较大程度上超出其他地区老酵子的综合得分,说明采自甘肃定西的老酵子样品氨基酸综合质量较好。

由图 3、4 综合分析可以看出,西北 10 个地区的老酵子样品可分为五类,第一类为采自于甘肃定西、宁夏固原、甘肃张掖三地的,品质最佳;第二类为采自青海西宁的;第三类为采自新疆库尔勒、新疆乌鲁木齐的;第四类为采自青海海晏的;第五类为采自陕西三地的,品质相对较差。马磊等^[23]通过对张裕 3 大产区的 16 款贵人香葡萄酒原酒中 17 种氨基酸的含量进行主成分分析和聚类分析,发现不同产区的贵人香葡萄酒原酒在游离氨基酸和总氨基酸含量上都具有较为明显的产地特征性。本试验通过因子得分图和系统聚类发育树结果分析得出老酵子中氨基酸具有一定的地域特性,除采自青海两地的样品外其余几个样品均由地域聚在一起,较为客观地反应了样品来源的真实情况,如若要建立更为准确且具有应用性的老酵子地域间判别模型,还需通过更多的样本进行研究。样品氨基酸含量受到很多因素的影响,陈蓉等^[24]研究发现芡实氨基酸产地差异明显,分析其品质可能与生态环境有关,环境优良的试验区对芡实营养成分的形成十分有利。张国华等^[25]通过对比研究中国河南、甘肃、山西、安徽及黑龙江五省馒头发酵酸面团的菌群组成情况,发现不同地区发酵酸面团中真菌组成以酵母菌为主,细菌组成以乳酸菌为主且差异较大。老酵子在发酵过程中伴随着微生物的动态变化及复杂菌群的形成,而不同地区老酵子样品中菌群的差异极有可能引起样品氨基酸产生地域性差异,这些差异的产生与酵子的制作工艺及所处地域的生态环境密切相关。

3 结论

通过对采于中国西北 10 个地区的老酵子样品中氨基酸种类及含量的综合分析,得到以下结论:老酵子中含有多种氨基酸,包括 Thr、Val、Met、Ile、Leu、Phe 和 Lys 7 种人体必需氨基酸以及儿童必需氨基酸 His,平均含量为 80.13 g/kg;通过主成分分析提取了 2 个主成分,老酵子样品综合得分由高到低依次为甘肃定西、宁夏固原、甘肃张掖、青海西宁、新疆库尔勒、新疆乌鲁木齐、青海海晏、陕西长安、陕西延安、陕西武功,其中采自甘肃定西的老酵子综合得分最高,达到 1.409。本试验所采用的研究方法所得的氨基酸综合评分与总氨基酸含量及必需氨基酸总量均呈现较强的相关性,可客观地反应老酵子氨基酸的综合质量,亦可作为优选及评价馒头老酵子质量的一种可行方法,为进一步研究老酵子的制作工艺、微生物多样性及代谢产物,并为老酵子工业化提供理论依据。本试验仅研究了老酵子中氨基酸的种类与含量,后期研究将考虑对老酵子中其他营养指标及挥发性成分进行测定,并结合其微生物多样性,构建更加系统、全面的综合评价模型。

参考文献

- [1] LI Zhi-jian, LI Hai-feng, BIAN Ke. Microbiological characterization of traditional dough fermentation starter (Jiaozi) for steamed bread making by culture-dependent and culture-independent methods [J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 234: 9-14.
- [2] LI Zhi-jian, DENG Cui, LI Hai-feng, et al. Characteristics of remixed fermentation dough and its influence on the quality of steamed bread [J]. Food Chemistry, 2015, 179: 257-262.
- [3] 张国华. 不同地区传统面食发酵剂中菌群结构及优势菌种代谢的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 96-111.
- [4] 王洪荣, 季昀. 氨基酸的生物活性及其营养调控功能的研究进展 [J]. 动物营养学报, 2013, 25(3): 447-457.
- [5] 廖兰, 赵谋明, 崔春. 肽与氨基酸对食品滋味贡献的研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2009(12): 107-113.
- [6] MICHAEL G, JUSSI L, MARCO G. Proteolysis in sourdough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality [J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(10): 513-521.
- [7] THIELE C, GANZLE M G, VOGEL R F. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor [J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(1): 45-51.
- [8] 杨森. 酸面团发酵过程中蛋白质降解规律的研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2015: 2-3.
- [9] GÄNZLE M G. Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation [J]. Food Microbiology, 2014, 37(2): 2-10.
- [10] FUJISAWA K, YOSHINO M. Changes in the Content of Inosinic Acid and Glutamic Acid Contribute to the Taste of Fermented Bread [J]. Nipponyo Shokuryo Gakkaishi, 1995, 48(6): 494-497.

(下转第 53 页)

- cassava leaves to remove cyanogens and conserve key nutrients [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(4): 1 755-1 759.
- [10] LONGVAH T, MANGTHYA K, RAMULU P. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae[J]. *Food Chemistry*, 2011, 128(2): 400-403.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 15193.1—2014 食品安全国家标准 食品安全性毒理学评价程序[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 2-4.
- [12] BALA N. Strategies for elimination of cyanogens from cassava for reducing toxicity and improving food safety[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2011, 49(3): 690-693.
- [13] 中华人民共和国卫生部. GB 16886.3—2003 医疗器械生物学评价 第三部分: 遗传毒性、致癌性和生殖毒性试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 3-7.
- [14] 孔志明. 环境毒理学[M]. 2 版. 南京: 南京大学出版社, 2004: 196-198.
- [15] CARVALHO P L P F D, SILVA R L D, BOTELHO R D M, et al. Nutritional value of root and leaves of cassava for Nile tilapia[J]. *Boletim Do Instituto De Pesca Sao Paulo*, 2012, 38(1): 61-69.
- [16] 丁晓雯, 李红, 王海燕. 环磷酰胺对蚕豆根尖细胞微核率的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(1): 194-197.
- [17] 中华人民共和国卫生部. GB 15193.7—2003 小鼠精子畸形试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 57-58.
- [18] 刘宁, 沈明浩. 食品毒理学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 95, 325.
- [19] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法: 第四册[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 769-772.
- [20] MARCATO-ROMAIN C E, PINELLI E, POURRUT B, et al. Assessment of the genotoxicity of Cu and Zn in raw and anaerobically digested slurry with the *Vicia faba* micronucleus test[J]. *Mut. Res. -Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2009, 67(2): 113-118.
- [21] 陈宏伟, 朱蕴兰, 洪国锦. 虫草多糖对环磷酰胺诱导微核的抑制作用[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(6): 9-11.
- [22] 范雪涛, 马丹炜, 刘爽, 等. 蚕豆根尖微核试验在辣子草化感作用研究中的应用[J]. *生态环境*, 2008, 17(1): 323-326.
- [23] 桂明英, 郭永红, 朱萍, 等. 美味牛肝菌致突变作用研究[J]. *食用菌学报*, 2008, 15(2): 42-46.
- [24] 王海燕, 丁晓雯, 黄先智. 桑蚕蛹品质及其安全性评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 63-65.
- [25] 中华人民共和国卫生部. GB 2762—2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 6.
- [26] 王夔. 生命科学中的微量元素[M]. 2 版. 北京: 中国计量出版社, 1996: 815-849.
- [27] LONGFELLOW D. Arsenic: health effects, mechanisms of actions, and research issues[J]. *Environmental Health Perspectives*, 1999, 107(7): 593-597.
- [28] 张波, 孟紫强. 砷的致癌、致畸及致突变作用研究进展[J]. *癌变·畸变·突变*, 1997, 9(2): 2, 66-67.
- [29] 冀凤杰, 侯冠斌, 张振文, 等. 木薯叶的营养价值、抗营养因子及其在生猪生产中的应用[J]. *热带作物学报*, 2015(7): 1 355-1 360.
- [30] 杨娟, 丁晓雯, 龙悦, 等. 木薯叶致突变作用研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(13): 351-354.
- (上接第 48 页)
- [11] ZHAO Cindy J, KINNER M, WISMER W, et al. Effect of Glutamate Accumulation During Sourdough Fermentation with *Lactobacillus reuteri* on the Taste of Bread and Sodium-Reduced Bread[J]. *Cereal Chemistry*, 2015, 92(2): 224-230.
- [12] SU Yang, YUAN Zhong-hu; QI Xiao-xuan. A Feature Extraction Method of Rolling Bearings Faults based on PCA and Power Spectrum Analysis[J]. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 2013, 5(4): 681.
- [13] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13): 276-285.
- [14] 武俊瑞, 岳喜庆, 张苗, 等. 东北传统发酵豆酱中游离氨基酸分析及综合评价[J]. *食品与生物技术学报*, 2015(2): 158-164.
- [15] LACAZE G, WICK M, CAPPELLE S. Emerging fermentation technologies: development of novel sourdoughs[J]. *Food Microbiology*, 2007, 24(2): 155-160.
- [16] NOVOTNI D, CURIC D, BITUH M, et al. Glycemic index and phenolics of partially-baked frozen bread with sourdough [J]. *International journal of food sciences and nutrition*, 2011, 62(1): 26-33.
- [17] 郑少杰, 任旺, 张小利, 等. 绿豆芽萌发过程中氨基酸动态变化及营养评价[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(10): 81-86.
- [18] VAN Acker B A, VON Meyenfeldt M F, SOETERS P B. Glutamine as a key ingredient in protein metabolism [J]. *Nederlands Tijdschrift Voor Geneeskunde*, 1999, 143(38): 1 904-1 908.
- [19] KARAM L R, SIMIC M G. Formation of ortho-tyrosine by radiation and organic solvents in chicken tissue[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1990, 265(20): 11 581.
- [20] PELLETT P L, YOUNG V R. Nutritional evaluation of protein foods[J]. *Food & Nutrition Bulletin*, 1980, 4: 26-29.
- [21] 王道君, 谷大海, 王雪峰, 等. 五种云南野生食用菌中非挥发性的主要呈味物质比较研究[J]. *现代食品科技*, 2016(3): 306-312.
- [22] CINDY J Zhao, 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.
- [23] 马磊, 唐柯, 韩业慧, 等. 贵人香葡萄酒氨基酸含量对产地特征性贡献的分析[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(19): 128-133.
- [24] 陈蓉, 吴启南, 沈蓓. 不同产地芡实氨基酸组成分析与营养价值评价[J]. *食品科学*, 2011, 32(15): 239-244.
- [25] 张国华, 何国庆. 我国不同地区发酵酸面团的菌群组成及差异研究[C]// 中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第八届年会暨第六届东西方食品业高层论坛论文摘要集. 北京: 中国食品科学技术学会, 2011: 94-95.