

北京豆汁感官特性分析

刘文营¹, 孙佳琦², 成晓瑜^{1,*}, 李 享¹, 贾晓云¹, 王 乐¹

(1. 中国肉类食品综合研究中心, 肉类加工技术北京市重点实验室, 国家肉类加工工程技术研究中心, 北京 100068;

2. 北京十一学校, 北京 100039)

摘 要: 为对豆汁的滋味和风味特征进行量化分析, 以从北京市场采集的10种豆汁作为代表, 对豆汁的主体风味特征、滋味特征、游离氨基酸组分、氨基酸组分和挥发性有机物组分进行分析。豆汁产品均具有各自的主体风味特征和滋味特征, 且部分样品之间具有较高的相似度; 加热会导致总氨基酸含量下降, 但会促使游离氨基酸含量和呈愉悦滋味游离氨基酸含量的上升, 生豆汁中呈愉悦滋味氨基酸总含量高于熟豆汁; 豆汁中共检出223种挥发性有机物, 醇类和酮类成分含量较高。

关键词: 北京豆汁; 滋味; 主体风味特征; 区分力; 挥发性有机物

Sensory Characteristics of Beijing Douzhi (Fermented Mung Bean Juice)

LIU Wenying¹, SUN Jiaqi², CHENG Xiaoyu^{1,*}, LI Xiang¹, JIA Xiaoyun¹, WANG Le¹

(1. Beijing Key Laboratory of Meat Processing Technology, National Meat Processing Engineering Technology Research Center, China Meat Research Center, Beijing 100068, China; 2. Beijing National Day School, Beijing 100039, China)

Abstract: In order to quantitatively analyze the flavor and flavor characteristics of Douzhi (fermented mung bean juice), we collected 10 Douzhi samples sold in Beijing, and analyzed their main flavor and taste characteristics, free amino acid compositions, amino acid compositions and volatile organic components. Results showed that each sample had its own unique flavor and taste characteristics, but some samples shared a high similarity to each other. Total amino acid contents decreased, while the contents of free amino acids and free pleasant taste amino acids increased when raw Douzhi was heated. Moreover, the total content of pleasant taste amino acids in raw Douzhi was higher than in cooked Douzhi. A total of 223 volatile organic compounds were detected in the 10 Douzhi samples, the most abundant being alcohols and ketones.

Keywords: Beijing Douzhi (fermented mung bean juice); taste; main flavor characteristics; discernibility ability; volatile organic compounds

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200225-271

中图分类号: TS205.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2020)20-0211-11

引文格式:

刘文营, 孙佳琦, 成晓瑜, 等. 北京豆汁感官特性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 211-221. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200225-271. <http://www.spkx.net.cn>

LIU Wenying, SUN Jiaqi, CHENG Xiaoyu, et al. Sensory characteristics of Beijing Douzhi (fermented mung bean juice)[J].

Food Science, 2020, 41(20): 211-221. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200225-271.

<http://www.spkx.net.cn>

我国北京地区拥有悠久的豆汁生产和消费历史, 豆汁在辽、宋代就成为民间大众化小吃, 并相传于1753年成为清宫廷御膳。时至今日, 豆汁仍是北京市民最为喜爱的小吃之一, 同时也是北京地区传统饮食文化的重要载体^[1]。

绿豆是制备豆汁的主要原料, 豆汁加工大致要经历挑选除杂、泡制、磨浆、分离、发酵、熬制等工序^[2-3]。在豆汁发酵过程中, 起主要作用的是乳酸菌和酵母菌, 包括乳酸乳球菌 (*Lactococcus lactis*)、弯曲杆菌 (*Lactobacillus curvatus*)、西方毕赤酵母 (*Pichia*

收稿日期: 2020-02-25

基金项目: 典型农产品品质指标体系构建与指标筛选验证项目 (GJFP2019043);

“十三五”国家重点研发计划重点专项 (2016YFD0401503)

第一作者简介: 刘文营 (1983—) (ORCID: 0000-0001-9995-213X), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为畜产品加工科学和蛋白质化学。E-mail: skyocean_2004@163.com。

*通信作者简介: 成晓瑜 (1972—) (ORCID: 0000-0002-2713-4872), 女, 教授级高级工程师, 硕士, 研究方向为肉制品加工和畜禽副产物综合利用。E-mail: chxyey@aliyun.com

occidentalis) 以及乳酸链球菌 (*Streptococcus lactis*) 等^[4-5]。制备食品的原料品质和工艺差异会对产品品质产生显著影响, 如羊肉品质会因生产方式不同而有差异^[6]、研磨对不同稻米麸皮营养的损害不同^[7]、不同品种猪肉制备的腊肉具有差异显著的理化和感官特征^[8]。而对于生产豆汁的绿豆来说, 不同品种绿豆或者不同热加工方式处理的淀粉凝胶特性^[9-10]、直链淀粉含量、分子结构、理化性质和体外消化率也有差异^[11]。在豆汁生产上, 尽管豆汁加工工艺较为相似, 但是不同商家采用的工艺会略有不同, 包括采用绿豆的品质也会有所差异, 其制备的产品也会具有不同的风味和滋味特征, 风格各异的豆制产品一方面满足了不同消费者的喜好需求, 另一方面也丰富了豆汁产品的多样性。

目前, 豆汁已成为本地居民和外地游客到访北京必品尝的风味小吃之一, 尽管已有对豆汁的风味物质^[12-13]、熬制过程中的挥发性风味成分^[14]、菌群及优势菌群^[4-5, 15]等的研究, 对豆汁加工产业的发展起到了积极推动作用, 但仍未形成系统化的技术体系, 尚不能为生产者、消费者提供足够的科学参考, 也难以有效支撑产业发展。因此, 开展豆汁感官属性分析, 量化产品的品质参数及不同产品之间的参数差异, 将有助于获取更多有关豆汁的信息。为了量化豆汁产品的风味和滋味品质, 本实验选取市场份额较大的10种豆汁进行分析, 考察不同豆汁的主体风味特征、味觉特性、游离氨基酸组分、氨基酸组分和挥发性有机物组分等参数, 旨在为豆汁加工和深入研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

共采集6家市场销量较大小吃店的10种产品, 其中牛街4家小吃店在北京传统居民消费者中具有较高的选择性, 磁器口和锦馨豆汁小吃店具有相对较高比例的外地游客和传统居民消费者, 即采集的样品能够一定程度代表北京豆汁的总体情况。

表1 样品信息

Table 1 Information about the samples tested in this study

样品信息	名称	样品来源	简称
产品1	牛街马记生豆汁	牛街马记小吃店	MJsheng
产品2	牛街马记熟豆汁	牛街马记小吃店	MJshu
产品3	牛街洪记生豆汁	牛街洪记小吃店	HJsheng
产品4	牛街洪记熟豆汁	牛街洪记小吃店	HJshu
产品5	牛街宝记生豆汁	牛街宝记小吃店	BJsheng
产品6	牛街宝记熟豆汁	牛街宝记小吃店	BJshu
产品7	北新桥53号生豆汁	北新桥53号小吃店	BXQsheng
产品8	北新桥53号熟豆汁	北新桥53号小吃店	BXQshu
产品9	锦馨熟豆汁	锦馨豆汁小吃店	JX
产品10	磁器口熟豆汁	磁器口豆汁小吃店	CQK

盐酸、柠檬酸钠、氢氧化钠、氯化钠、乙酸、氢氧化锂 (均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司; 2-甲基-3-庚酮 (99.9%, CAS号13019-20-0) 美国Sigma Aldrich公司; 氯化钾 (30 mmol/L、3.33 mol/L)、酒石酸溶液 (0.3 mmol/L)、饱和AgCl溶液、正极清洗液、负极清洗液 日本Insent公司; 氧气 (99.999%)、氮气 (99.9%) 北京如源如泉科技有限公司; 茚三酮显色液 (货号: 299-70501) 日本和光纯药工业株式会社。

1.2 仪器与设备

FSP-625电子干燥箱 日本东洋产业株式会社; Cascada BIO纯水机、0.22 μm微滤膜 美国Pall公司; BSA822-CW天平 赛多利斯科学仪器有限公司; F6/10-10G超细匀浆器 上海Fluko流体机械制造有限公司; PEN3电子鼻 德国Airsense公司; TS5000Z味觉分析系统 日本Insent公司; L-8900高速全自动氨基酸分析仪 日本日立公司; TG-Wax MS极性柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm)、GC-MS联用仪 美国赛默飞世尔科技(中国)有限公司; TDS半自动热脱附进样器 德国Gerstel公司。

1.3 方法

1.3.1 主体风味特征差异分析

表2 电子鼻感应电极

Table 2 Electronic nose sensors responding to different flavor compounds

序号	代号	对应响应物质
1	W1C	苯类
2	W5S	氮氧化合物
3	W3C	氨类
4	W6S	氯化物
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	甲基类
7	W1W	无机硫化物
8	W2S	醇、醛酮类
9	W2W	有机硫化物
10	W3S	长链烷烃

如表2所示, 电子鼻内含有10组化学传感器, 不同传感器会针对不同的物质产生响应, 根据传感器接收信号的强度差异, 可以对豆汁的主体风味特征进行差异性分析。

参考文献[16-17]方法, 取2.0 g均匀豆汁置于样品瓶内, 4℃留存备用。

电子鼻工作条件: 加热仓温度为50℃, 振动2 min, 数据采集时长为90 s, 选取70 s时收集的数据进行分析。

1.3.2 滋味特性差异分析

电子舌探头矩阵由不同材料制成, 能够识别出液体的不同味觉特征^[18-19]。参考文献[20-21]方法, 取20.0 g豆汁, 按照体积比1:5加入纯水, 均质混匀后8 000 r/min离心5 min, 上清液过滤后取50 mL上机测试。

1.3.3 挥发性有机物分析

参考文献[22]方法,略有修改。取2.0 g豆汁装入测试瓶,50℃正压富集30 min,用热脱附-气相色谱-质谱联用仪分析。

程序条件:风味物质富集程序:50℃、0.05 MPa、30 min;热脱附程序:初始温度40℃,分别延迟和保持1 min,然后40℃/min升温至210℃,保持5 min;冷进样系统程序:初始温度-100℃,保持1 min,然后10℃/min升温至215℃,分流比20:1。

气相色谱-质谱条件:TG-Wax MS极性柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm);升温程序:40℃,保持3 min,然后5℃/min升温至200℃,保持1 min,再以10℃/min升温至220℃,保持3 min;载气为氦气,流速1.0 mL/min;质谱传输线温度260℃;离子源温度280℃;质量扫描范围40~600 u。

1.3.4 游离氨基酸和总氨基酸含量分析

参考文献[23-25]方法,采用氨基酸自动分析仪进行氨基酸组分分析。

检测条件:2622SC-PH离子交换分离柱(4.6 mm×60 mm);柱温57℃;检测波长分别为440 nm和570 nm;缓冲液流速0.4 mL/min;反应液为茚三酮试剂,流速0.35 mL/min;进样量20 μL,反应单位温度140℃。

1.4 数据处理

在进行豆汁主体风味分析时,随机进行5个平行;在进行豆汁味觉特性、氨基酸、游离氨基酸和挥发性有机物含量分析时,随机进行3个平行,结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。运用Winmuster软件进行产品风味的主成分分析(principal component analysis, PCA)和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA);在对挥发性风味物质分析时,均匀取2.0 mL混合样品进行测试,依据挥发性成分的CAS号进行化学物质检索分析(<http://www.chemindex.com/>)。

数据均由SPSS 9.1进行误差性分析($F=0.05$),由Origin 8.0进行作图。

2 结果与分析

2.1 豆汁主体风味特征差异

不同豆汁的主体风味特征如图1和表3所示,10种产品在PC1和PC2上的总方差贡献率为93.3%,高于85%,即产品均具有良好的主体风味特征。由图1B可知,不同样品LDA方差贡献率为59.933%,低于85%,即通过LDA不能对所有样品进行有效区分,而由表3可知,不同豆汁之间的区分能力有很大差异,表现在MJsheng与JX之间的区分能力为0.498, BXQsheng与MJsheng之间的区分力为0.347, BXQsheng与JX之间的区分力为0.411,均具有

较低的区分能力,即这些产品主体风味特征较为相似,不能对这些样品进行差异性区分;BXQsheng与BJshu之间的区分力为0.929, BXQsheng与HJshu之间的区分力为0.919, BJshu与HJsheng之间的区分力为0.889, BJshu与HJshu之间的区分力为0.598, BJshu与JX之间的区分力为0.939, BJshu与MJsheng之间的区分力为0.949,表现为有一定程度相似,仅能够进行初步鉴别分析;其他豆汁之间的区分能力均高于0.950,能够进行豆汁样品之间的差异区分,与图1A结果一致,即不同豆汁样品均具有独特的风味特征,且部分样品之间具有较高的相似度。

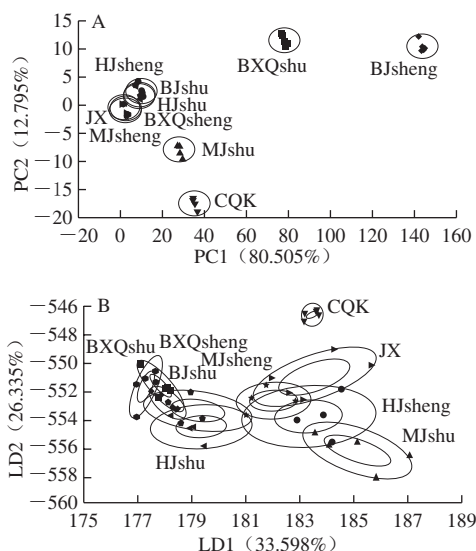


图1 不同豆汁产品的挥发性物质的PCA (A) 和LDA (B)

Fig. 1 Principal component analysis (A) and linear discriminant analysis (B) of volatile substances in different Douzhi samples

表3 不同豆汁主体风味的区分能力

Table 3 Discernibility ability of main flavor characteristics of different Douzhi samples

样品	BXQsheng	MJshu	BJsheng	BJshu	BXQshu	CQK	HJsheng	HJshu	JX	MJsheng
BXQsheng										
MJshu	0.996									
BJsheng	1.000	1.000								
BJshu	0.929 [☆]	0.995	1.000							
BXQshu	0.999	0.999	0.999	0.999						
CQK	0.996	0.977	1.000	0.995	0.999					
HJsheng	0.959	0.995	1.000	0.889 [☆]	0.998	0.995				
HJshu	0.919 [☆]	0.995	1.000	0.598 [☆]	0.999	0.995	0.916 [☆]			
JX	0.411 [△]	0.987	1.000	0.939 [☆]	0.999	0.992	0.954	0.929 [☆]		
MJsheng	0.347 [△]	0.993	1.000	0.949 [☆]	0.999	0.994	0.960	0.941 [☆]	0.498 [△]	

注:△.不能区分;☆.能够进行初步区分,但可信度较差;其他表示能够区分。

来源于同一制作工艺样品中,除HJsheng与HJshu之间能够勉强区分外, BXQsheng与BXQshu、MJsheng与MJshu、BJsheng与BJshu之间均能良好区分,即豆汁热处理可能会显著影响豆汁主体风味。

2.2 豆汁滋味特性

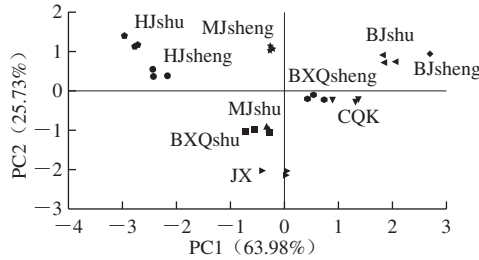


图2 不同豆汁产品的滋味特征
Fig. 2 Taste characteristics of different Douzhi samples

由图2可知,不同豆汁在PC1和PC2上的总方差贡献率为89.71%,产品均具有独特的主体滋味特征,且各产品在PC1和PC2上的交叉较少。与2.1节结果相比,尽管MJshu与BXQshu之间主体风味的区分能力为0.999,但两者在滋味上具有一定的相似性,即产品滋味和风味特征可能具有独立性。

如表4所示,BJsheng具有最高的酸味和涩味值($P<0.05$),HJshu拥有最高的苦味值($P<0.05$),CQK拥有最高的涩味回味值($P<0.05$)。在其他滋味特性上,BJshu拥有较高的咸味值,BXQshu拥有较高的丰富度($P>0.05$)。HJshu酸味值最低($P<0.05$),JX苦味值最低($P<0.05$),BXQsheng涩味值最低($P<0.05$),BJshu和HJsheng的苦味回味值较低($P>0.05$),BXQsheng涩味回味值最低($P<0.05$)。

对于来源于同一小吃店的豆汁,熟制后产品的酸味值均呈现下降趋势;涩味回味值均为持平或者上升的趋势;豆汁的鲜味均为持平或下降的趋势;除BXQshu的丰富度明显高于BXQsheng以外,其他样品的丰富度差异不显著。即不同制作工艺或消费方式的豆汁会呈现不同的味觉和气味特征,消费者会有不同的消费体验。

2.3 豆汁游离氨基酸和总氨基酸含量

必需氨基酸组分在味觉特征呈现上起重要作用^[25-27],

尤其是在高蛋白产品中更为明显^[28]。如表5、6所示,在呈甜味氨基酸含量方面,除MJshu与BXQsheng之间呈甜味氨基酸含量差异显著外($P<0.05$),其他样品,以及两者与其他样品之间均无显著差异($P>0.05$);在呈苦味氨基酸含量方面,除BXQsheng低于BXQshu外,其他在生制品中的含量均高于熟制品,即加热可能有助于苦味的降低;在呈鲜味氨基酸含量方面,总体呈现为熟制品中的呈鲜味氨基酸含量低于相应生制品中的含量,其中BJsheng中呈鲜味氨基酸含量最高($P<0.05$),HJsheng与HJshu中呈鲜味氨基酸含量最低,但两者之间差异不显著;对于呈现不愉悦味觉特性氨基酸,除BXQsheng与BXQshu差异不显著外,其他样品生制品的含量均高于其在熟制品的含量,且HJsheng和BJsheng中呈现不愉悦味觉特性氨基酸含量较高;对于呈现愉悦味觉特性的氨基酸,除MJshu中的含量明显高于BXQsheng外($P<0.05$),其他样品之间,以及两者与其他样品之间的含量差异均不显著;而对于豆汁中的总游离氨基酸,来源相同的样品之间差异不显著,BJsheng和BJshu游离氨基酸含量高于其他样品。

对于豆汁总氨基酸,呈甜味氨基酸含量、不愉悦氨基酸含量、呈苦味氨基酸含量、呈鲜味氨基酸含量、总氨基酸含量和愉悦氨基酸含量均呈加热后降低的趋势,即加热不仅弱化了苦味等不愉悦特征,对其他滋味特征也有负面影响,总体表现为滋味强度的降低,与2.2节结果一致。生制品中,BJsheng、HJsheng、MJsheng、BXQsheng中总氨基酸含量依次降低;熟制品中,MJshu、HJshu、CQK、BXQshu、BJshu和JX中总氨基酸含量依次降低,BJsheng和BJshu总氨基酸含量差异较大。

在豆类产品发酵过程中,蛋白质水解产生的肽和氨基酸对产品滋味的呈现具有重要作用,强疏水的肽和氨基酸呈现苦味特征^[29],而甜味肽、鲜味肽等会使苦味得到弱化,同时与呈现不同味觉特性的氨基酸共同构成了豆制品复杂滋味特征^[30]。

表4 不同豆汁的滋味特征
Table 4 Taste characteristics of different Douzhi samples

指标	样品组									
	BJsheng	BJshu	HJsheng	HJshu	MJsheng	MJshu	BXQsheng	BXQshu	JX	CQK
酸味	2.699 ^b	1.907±0.124 ^f	-2.341±0.156 ^b	-2.814±0.125 ^a	-0.253±0.019 ^{cd}	-0.325±0.029 ^{cd}	0.568±0.156 ^c	-0.519±0.223 ^c	-0.109±0.266 ^d	1.186±0.264 ^f
苦味	0.945 ^f	0.788±0.099 ^e	0.426±0.099 ^d	1.231±0.141 ^b	1.081±0.053 ^b	-1.002±0.094 ^b	-0.178±0.063 ^c	-1.105±0.033 ^b	-2.052±0.054 ^a	-0.233±0.030 ^c
苦味回味	0.107 ^{de}	-0.297±0.105 ^a	-0.221±0.098 ^{ab}	0.061±0.061 ^d	0.231±0.063 ^c	-0.136±0.072 ^{bc}	0.102±0.086 ^{de}	0.136±0.069 ^{de}	0.025±0.082 ^d	-0.007±0.110 ^d
涩味	1.072 ^f	-0.142±0.199 ^{cd}	-0.003±0.231 ^d	0.398±0.336 ^c	-0.372±0.166 ^c	0.524±0.188 ^c	-1.105±0.180 ^a	-0.061±0.195 ^{cd}	0.382±0.101 ^c	-0.693±0.046 ^b
涩味回味	-0.056 ^c	-0.033±0.019 ^c	-0.104±0.009 ^b	0.104±0.046 ^c	0.022±0.001 ^d	0.026±0.025 ^d	-0.182±0.014 ^a	-0.115±0.014 ^b	0.046±0.038 ^d	0.293±0.044 ^f
鲜味	0.034 ^{bcd}	-0.048±0.063 ^a	0.078±0.034 ^d	-0.019±0.077 ^{ab}	-0.050±0.008 ^a	-0.034±0.014 ^{ab}	0.025±0.010 ^{bcd}	-0.034±0.037 ^{ab}	-0.007±0.020 ^{bcd}	0.056±0.016 ^{cd}
丰富度	0.014 ^a	-0.014±0.063 ^{ab}	0.013±0.046 ^{ab}	-0.003±0.026 ^{ab}	0.014±0.033 ^{ab}	-0.062±0.031 ^a	-0.046±0.021 ^a	0.055±0.040 ^b	0.018±0.077 ^{ab}	0.012±0.074 ^{ab}
咸味	-0.002 ^{ab}	0.013±0.011 ^b	-0.002±0.010 ^{ab}	0.006±0.008 ^{ab}	-0.011±0.018 ^{ab}	-0.016±0.013 ^a	-0.003±0.020 ^{ab}	0.013±0.014 ^b	0.003±0.018 ^{ab}	0.001±0.008 ^{ab}

注:同行肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

表5 豆汁游离氨基酸质量分数差异
Table 5 Free amino acid contents in Douzhi samples

氨基酸	味觉特征	样品组										%
		BJsheng	BJshu	HJsheng	HJshu	MJsheng	MJshu	BXQsheng	BXQshu	JX	CQK	
天冬氨酸Asp	甜/鲜(十)	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.00±0.00 ^{ab}	0.00±0.00 ^{ab}	0.01±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^{ab}	0.04±0.00 ^c	
苏氨酸Thr	甜(十)	0.01±0.00 ^{ab}	0.00±0.01 ^{ab}	0.02±0.02 ^{bc}	0.05±0.00 ^d	0.01±0.01 ^{ab}	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^{ab}	0.00±0.00 ^a	0.01±0.00 ^{ab}	0.03±0.00 ^c	
丝氨酸Ser	甜(十)	0.01±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a	0.02±0.00 ^c	
谷氨酸Glu	鲜(十)	0.69±0.01 ^d	0.48±0.05 ^c	0.14±0.02 ^a	0.14±0.00 ^a	0.46±0.04 ^c	0.44±0.02 ^c	0.34±0.01 ^b	0.29±0.04 ^b	0.47±0.02 ^c	0.34±0.03 ^b	
甘氨酸Gly	甜(十)	0.08±0.01 ^d	0.06±0.01 ^b	0.13±0.02 ^c	0.13±0.00 ^c	0.07±0.01 ^c	0.04±0.00 ^a	0.03±0.00 ^a	0.05±0.01 ^b	0.07±0.00 ^c	0.06±0.00 ^b	
丙氨酸Ala	甜(十)	0.64±0.01 ^d	0.50±0.05 ^c	0.83±0.12 ^c	0.82±0.03 ^c	0.44±0.04 ^{bc}	0.23±0.01 ^a	0.25±0.00 ^a	0.40±0.04 ^b	0.47±0.02 ^{bc}	0.25±0.00 ^a	
半胱氨酸Cys	苦/甜(一)	0.30±0.26 ^b	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	
缬氨酸Val	甜/苦(一)	0.19±0.00 ^c	0.14±0.02 ^{bc}	0.25±0.03 ^d	0.04±0.00 ^a	0.13±0.02 ^b	0.05±0.00 ^a	0.05±0.03 ^a	0.02±0.00 ^a	0.06±0.07 ^a	0.05±0.05 ^a	
甲硫氨酸Met	苦/甜(一)	0.11±0.00 ^c	0.08±0.01 ^d	0.12±0.02 ^c	0.12±0.00 ^c	0.08±0.01 ^{cd}	0.05±0.00 ^b	0.05±0.00 ^b	0.07±0.01 ^c	0.08±0.00 ^{cd}	0.04±0.01 ^a	
异亮氨酸Ile	苦(一)	0.12±0.00 ^d	0.10±0.01 ^{bc}	0.19±0.02 ^c	0.18±0.01 ^c	0.08±0.01 ^b	0.19±0.01 ^a	0.05±0.00 ^a	0.09±0.01 ^{bc}	0.10±0.00 ^c	0.08±0.01 ^b	
亮氨酸Leu	苦(一)	0.42±0.00 ^d	0.34±0.03 ^c	0.51±0.06 ^c	0.50±0.02 ^c	0.31±0.02 ^{bc}	0.04±0.00 ^a	0.21±0.00 ^a	0.28±0.02 ^b	0.34±0.00 ^c	0.27±0.02 ^b	
酪氨酸Tyr	苦(一)	0.06±0.00 ^c	0.05±0.01 ^{de}	0.03±0.00 ^{ab}	0.03±0.01 ^a	0.04±0.01 ^{de}	0.08±0.01 ^{bcd}	0.03±0.00 ^{bc}	0.03±0.00 ^{bc}	0.04±0.01 ^{bcd}	0.04±0.01 ^{abc}	
苯丙氨酸Phe	苦(一)	0.20±0.01 ^f	0.16±0.03 ^d	0.20±0.02 ^f	0.20±0.01 ^{ef}	0.12±0.00 ^c	0.07±0.00 ^{ab}	0.07±0.01 ^a	0.09±0.01 ^{ab}	0.17±0.01 ^{de}	0.10±0.02 ^{bc}	
赖氨酸Lys	甜/苦(一)	0.12±0.00 ^c	0.06±0.01 ^c	0.03±0.00 ^b	0.01±0.00 ^a	0.11±0.01 ^c	0.00±0.00 ^c	0.07±0.00 ^c	0.08±0.01 ^d	0.09±0.00 ^d	0.08±0.01 ^d	
组氨酸His	苦(一)	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.03±0.00 ^b	
精氨酸Arg	甜/苦(十)	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.03±0.00 ^b	
脯氨酸Pro	甜/苦(十)	0.68±0.24 ^{abcd}	0.10±0.16 ^a	1.00±0.31 ^{bcd}	0.74±0.30 ^{abcd}	0.89±0.52 ^{bcd}	1.17±0.69 ^{cd}	0.30±0.29 ^{ab}	0.44±0.18 ^{abc}	1.24±0.51 ^d	1.02±0.52 ^{bcd}	
羟脯氨酸Hyp	甜(十)	0.69±0.05 ^a	2.38±0.32 ^d	0.52±0.28 ^a	0.87±0.45 ^{ab}	0.95±0.64 ^{ab}	1.96±0.52 ^{cd}	1.25±0.28 ^{abc}	1.24±0.89 ^{abc}	1.15±0.76 ^{abc}	1.66±0.11 ^{bcd}	
呈甜味		2.81±0.51 ^{ab}	3.33±0.39 ^{ab}	2.91±0.30 ^{ab}	2.78±0.76 ^{ab}	2.70±1.15 ^{ab}	3.60±1.17 ^b	2.02±0.56 ^a	2.32±1.11 ^{ab}	3.17±0.60 ^{ab}	3.27±0.50 ^{ab}	
呈苦味		2.17±0.49 ^c	1.04±0.08 ^{ab}	2.34±0.38 ^c	1.83±0.31 ^{bc}	1.77±0.54 ^{bc}	1.73±0.66 ^{bc}	0.84±0.29 ^a	1.12±0.25 ^{ab}	2.12±0.46 ^c	1.75±0.46 ^{bc}	
呈鲜味		0.70±0.01 ^c	0.48±0.05 ^d	0.14±0.02 ^a	0.15±0.00 ^a	0.47±0.04 ^d	0.44±0.02 ^d	0.35±0.01 ^c	0.30±0.03 ^b	0.47±0.02 ^d	0.37±0.03 ^c	
不愉悦		1.52±0.26 ^d	0.94±0.05 ^c	1.34±0.16 ^d	1.09±0.05 ^c	0.88±0.07 ^{bc}	0.56±0.03 ^a	0.54±0.05 ^a	0.67±0.06 ^a	0.88±0.06 ^{bc}	0.70±0.10 ^{ab}	
愉悦		2.79±0.26 ^{ab}	3.52±0.38 ^{ab}	2.64±0.28 ^{ab}	2.74±0.76 ^{ab}	2.83±1.15 ^{ab}	3.85±1.16 ^b	2.19±0.56 ^a	2.44±1.13 ^{ab}	3.41±0.60 ^{ab}	3.43±0.51 ^{ab}	
总量		4.31±0.51 ^b	4.46±0.40 ^b	3.98±0.43 ^{ab}	3.83±0.78 ^{ab}	3.71±1.19 ^{ab}	4.41±1.13 ^b	2.73±0.55 ^a	3.11±1.19 ^{ab}	4.29±0.63 ^b	4.13±0.47 ^{ab}	

注：十.味道愉悦；一.味道不愉悦。表6同。

表6 豆汁总氨基酸质量分数差异
Table 6 Total amino acid contents in Douzhi samples

氨基酸	味觉特征	样品组										%
		BJsheng	BJshu	HJsheng	HJshu	MJsheng	MJshu	BXQsheng	BXQshu	JX	CQK	
天冬氨酸Asp	甜/鲜(十)	7.66±0.27 ^d	3.20±0.27 ^a	8.56±0.59 ^c	7.14±0.46 ^d	9.35±0.40 ^f	7.42±0.28 ^d	7.67±0.41 ^d	4.85±0.12 ^b	4.27±0.16 ^b	5.97±0.32 ^c	
苏氨酸Thr	甜(十)	0.72±0.02 ^a	2.24±0.13 ^c	1.41±0.10 ^d	1.02±0.06 ^b	1.49±0.06 ^d	1.19±0.06 ^c	1.26±0.06 ^c	0.82±0.01 ^a	0.74±0.03 ^a	0.94±0.05 ^b	
丝氨酸Ser	甜(十)	3.60±0.13 ^d	1.17±0.13 ^a	4.09±0.26 ^c	3.44±0.23 ^d	4.37±0.19 ^f	3.45±0.13 ^d	3.55±0.17 ^d	2.28±0.05 ^b	1.90±0.07 ^a	2.81±0.14 ^c	
谷氨酸Glu	鲜(十)	16.66±0.58 ^a	15.19±0.74 ^c	14.58±0.95 ^{ef}	12.62±0.84 ^d	16.31±0.71 ^g	13.12±0.48 ^d	13.72±0.73 ^{de}	8.42±0.23 ^b	6.97±0.27 ^a	10.32±0.55 ^c	
甘氨酸Gly	甜(十)	2.80±0.10 ^d	1.87±0.07 ^b	3.05±0.21 ^c	2.68±0.19 ^{cd}	3.20±0.14 ^e	2.55±0.10 ^c	2.74±0.13 ^{cd}	1.63±0.04 ^a	1.52±0.06 ^a	2.05±0.12 ^b	
丙氨酸Ala	甜(十)	4.08±0.15 ^{de}	2.88±0.13 ^b	4.33±0.31 ^c	4.07±0.28 ^{de}	4.21±0.17 ^{de}	3.35±0.14 ^c	3.93±0.19 ^d	2.11±0.06 ^a	2.21±0.09 ^a	2.96±0.17 ^b	
半胱氨酸Cys	苦/甜(一)	0.50±0.02 ^b	0.33±0.06 ^a	0.75±0.06 ^c	0.69±0.02 ^{de}	0.87±0.15 ^f	0.62±0.01 ^{cd}	0.74±0.04 ^c	0.46±0.07 ^b	0.42±0.06 ^{ab}	0.53±0.03 ^{bc}	
缬氨酸Val	甜/苦(一)	2.75±1.76 ^{ab}	1.75±2.02 ^{ab}	3.22±0.31 ^b	2.81±0.21 ^{ab}	3.33±0.35 ^b	2.74±0.13 ^{ab}	2.84±0.25 ^{ab}	1.67±0.01 ^{ab}	1.51±0.03 ^a	2.23±0.11 ^{ab}	
甲硫氨酸Met	苦/甜(一)	0.20±0.01 ^c	0.31±0.01 ^c	0.24±0.01 ^d	0.38±0.02 ^f	0.54±0.02 ⁱ	0.22±0.01 ^{cd}	0.43±0.02 ^e	0.08±0.00 ^a	0.47±0.02 ^b	0.17±0.01 ^b	
异亮氨酸Ile	苦(一)	3.42±0.13 ^f	3.07±0.15 ^{de}	3.29±0.21 ^{ef}	2.94±0.20 ^{cd}	3.45±0.15 ^f	2.74±0.11 ^c	2.93±0.16 ^{cd}	1.77±0.05 ^a	1.59±0.06 ^a	2.27±0.12 ^b	
亮氨酸Leu	苦(一)	8.20±0.29 ^f	7.34±0.34 ^{de}	7.86±0.50 ^{ef}	6.98±0.46 ^{cd}	8.26±0.35 ^f	6.55±0.25 ^c	7.00±0.39 ^{cd}	4.19±0.11 ^a	3.69±0.14 ^a	5.37±0.28 ^b	
酪氨酸Tyr	苦(一)	0.02±0.00 ^a	0.03±0.01 ^a	0.02±0.00 ^a	2.15±0.15 ^c	2.73±0.11 ^f	2.16±0.08 ^e	2.19±0.12 ^c	1.37±0.03 ^c	1.10±0.04 ^b	1.72±0.09 ^d	
苯丙氨酸Phe	苦(一)	6.15±0.22 ^e	5.51±0.25 ^c	5.67±0.37 ^{ef}	5.01±0.34 ^d	5.99±0.26 ^{fg}	4.73±0.17 ^d	4.99±0.29 ^d	3.05±0.08 ^a	2.62±0.10 ^b	3.90±0.20 ^c	
赖氨酸Lys	甜/苦(一)	6.64±0.24 ^a	6.10±0.28 ^f	5.94±0.39 ^f	5.20±0.35 ^d	6.76±0.30 ^g	5.38±0.20 ^{de}	5.69±0.32 ^{ef}	3.44±0.10 ^a	2.96±0.12 ^b	4.30±0.21 ^c	
组氨酸His	苦(一)	2.55±0.09 ^e	2.28±0.10 ^d	2.30±0.15 ^d	2.02±0.13 ^c	2.50±0.11 ^c	1.98±0.07 ^c	2.07±0.12 ^c	1.29±0.04 ^a	1.13±0.04 ^a	1.60±0.08 ^b	
精氨酸Arg	甜/苦(十)	6.51±0.23 ^f	5.83±0.26 ^c	5.90±0.39 ^c	5.10±0.34 ^d	6.40±0.28 ^f	5.04±0.18 ^d	5.19±0.30 ^d	3.30±0.09 ^b	2.65±0.10 ^a	4.08±0.22 ^c	
脯氨酸Pro	甜/苦(十)	0.59±0.02 ^a	2.08±0.16 ^c	2.18±0.14 ^c	1.72±0.09 ^d	2.15±0.07 ^c	1.69±0.06 ^d	1.85±0.09 ^d	1.19±0.02 ^b	1.15±0.05 ^b	1.45±0.06 ^c	
羟脯氨酸Hyp	甜(十)	86.65±6.51 ^f	9.95±1.71 ^a	72.68±4.43 ^c	51.07±5.63 ^c	51.80±7.66 ^{cd}	58.82±2.24 ^d	52.32±1.84 ^{cd}	35.48±2.45 ^b	3.43±1.30 ^a	41.93±1.17 ^b	
呈甜味		122.71±6.59 ^g	38.31±3.11 ^b	112.36±6.99 ^f	85.32±7.80 ^f	94.48±9.27 ^c	92.46±3.51 ^c	88.22±0.27 ^c	57.30±2.94 ^c	23.24±0.69 ^a	69.43±2.54 ^d	
呈苦味		37.54±1.03 ^d	34.63±3.36 ^{cd}	37.28±2.43 ^d	35.01±2.31 ^{cd}	42.98±1.87 ^c	33.83±1.26 ^c	35.91±2.02 ^{cd}	21.80±0.57 ^a	19.29±0.74 ^a	27.62±1.40 ^b	
呈鲜味		24.31±0.85 ^{fg}	18.39±1.01 ^d	23.14±1.54 ^f	19.76±1.31 ^{de}	25.65±1.11 ^g	20.54±0.76 ^c	21.40±1.14 ^c	13.27±0.34 ^b	11.24±0.43 ^a	16.29±0.87 ^c	
不愉悦		30.44±1.11 ^d	26.72±2.97 ^c	29.30±1.90 ^{cd}	28.19±1.88 ^{cd}	34.43±1.53 ^c	27.10±1.02 ^c	28.87±1.63 ^{cd}	17.31±0.46 ^a	15.49±0.59 ^a	22.08±1.12 ^b	
愉悦		129.27±7.94 ^h	45.01±2.62 ^b	116.79±7.27 ^f	88.85±8.02 ^f	99.29±9.42 ^f	96.63±3.67 ^{ef}	92.25±0.35 ^{cd}	60.07±3.01 ^c	24.85±0.65 ^a	72.52±2.75 ^d	
总量		159.71±7.77 ^g	71.73±4.69 ^b	146.09±9.12 ^f	117.04±9.87 ^f	133.72±10.83 ^f	123.73±4.69 ^{de}	121.11±1.90 ^d	77.39±3.43 ^b	40.33±0.64 ^a	94.60±3.85 ^e	

挥发性物质		样品组									%
分类	名称	BJsheng	BJshu	BXQsheng	BXQshu	HJsheng	HJshu	MJsheng	MJshu	CQK	JX
醇类	(R)(-)-2-丁醇		3.894±2.324		0.045±0.064	0.055±0.078					
	(Z)-2-庚-1-醇					0.810±1.146					
	(Z)-2-七萜醇				0.182±0.257		0.091±0.129	1.314±0.291	1.732±0.137	0.955±0.098	5.606±5.918
	(Z)-2-辛烯-1-醇										1.399±1.978
	(Z)-乙酸酯-2-己烯-1-醇			0.352±0.172		0.776±1.098					
	12-甲基- <i>E,E</i> -2,13-十八碳烯-1-醇	0.962±0.632	0.281±0.398		0.136±0.193		0.366±0.517	0.051±0.072	0.491±0.694		
	13-十七烷-1-醇							0.302±0.427			
	17-戊三醇		0.326±0.461					0.557±0.788			
	1-庚醇					0.055±0.078		2.754±0.455	0.929±0.883		
	1-壬醇	2.465±3.486		0.346±0.489	0.227±0.321						
	1-十二烯-3-醇										0.344±0.487
	1-辛醇			0.414±0.586	0.524±0.030	0.443±0.627					
	1-辛烯-3-醇	0.352±0.498		0.230±0.326		1.542±0.770	0.183±0.259			0.399±0.564	3.497±4.945
	2-(十八氧基)乙醇			0.466±0.156				0.203±0.287		0.246±0.348	0.194±0.274
	2-丁基辛醇				0.636±0.900			0.655±0.926			
	2-己基-1-辛醇						0.322±0.455	0.811±1.146	0.818±1.156		
	2-甲基-1-十六烷醇		0.651±0.921	1.420±2.008	0.544±0.512			2.475±0.061	0.305±0.431	0.197±0.278	1.114±1.392
	2-甲基- <i>Z,Z</i> -3,13-十八碳烯醇						0.081±0.114				
	2-甲基环戊醇					7.589±3.834	2.415±3.416	1.925±2.722	2.126±3.007		8.042±11.373
	2-壬-1-醇				2.417±3.418						
	2-壬基醇			0.058±0.081							
	2-辛烯-1-醇		0.375±0.531								0.197±0.278
	2-乙基-1-癸醇				0.504±0.712				0.762±1.078		
	2-乙基-1-十二醇	0.193±0.273									
	3 α ,5 β -2-亚甲基-胆固醇-3-醇			0.227±0.321							
	3-呋喃甲醇		0.469±0.663								
	3-癸-2-醇		0.651±0.921					0.366±0.517			
	3-己烯-1-醇	1.056±1.498		0.576±0.815		0.222±0.314	0.564±0.797		0.381±0.539		
	3-甲基-1-戊醇	0.627±0.388			0.252±0.356					0.246±0.348	
	3-甲基-2-庚醇			0.237±0.335			0.366±0.517				
	4-氨基-1-戊醇	0.176±0.249									
	4-甲基-1-己醇										
	5-甲基-3-硝基-2,4-己二醇								0.152±0.215	0.199±0.066	0.414±0.403
	<i>E,E,Z</i> -1,3,12-壬三烯-5,14-二醇								0.203±0.711	0.708±0.076	
	<i>E</i> -11-(12-环丙基)十二烯-1-醇			0.115±0.163							
	<i>E</i> -3-戊二烯-2-醇							0.161±0.228			
	<i>Z,Z</i> -2,5-戊二醛-1-醇		0.469±0.663					0.081±0.114			0.228±0.322
	<i>Z</i> -10-戊糖-1-醇	0.515±0.728									
	反-2-庚烯-1-醇					0.449±0.706					
	反-2-甲基环戊醇			1.613±2.281	1.727±2.443		2.742±3.878	1.813±2.564			
反-2-十一烯醇					0.449±0.706	0.183±0.259					
反-2-辛烯-1-醇	1.922±0.767				0.443±0.627	0.161±0.228			0.285±0.403		
佛波醇	0.704±0.996										
十一醇		2.981±3.155	1.971±1.449		0.533±0.753	0.322±0.455	3.735±1.270			0.775±1.096	
叔十六硫醇	0.545±0.225	0.745±0.789	0.059±0.084				1.060±0.353		0.148±0.209	0.129±0.183	
顺-2-己烯-1-醇								2.058±2.910		1.809±2.558	
顺-1,2-环十二烷二醇				0.101±0.142							
叶醇	0.450±0.637	1.140±1.612	0.473±0.669	2.017±0.281	3.207±2.340	0.640±0.905	0.859±0.075	0.883±0.602	1.649±0.245	4.842±5.020	
乙醇	3.186±3.960	10.188±7.243	1.573±0.383	1.755±0.346	2.052±0.704	2.246±0.443	0.910±0.290	1.768±0.303	1.600±0.314	6.058±5.278	
乙酸酯(酯)菊苣-1-甲醇		0.163±0.230									
异戊醇	0.064±0.091				0.488±0.377						
正庚醇					0.166±0.235						
正己醇	18.434±10.780	13.643±7.885	8.985±0.490	12.062±0.602	28.672±22.204	7.967±0.108	6.870±0.601	9.199±0.289	3.986±5.638	4.134±5.847	
正戊醇	0.129±0.182								0.148±0.209		

续表7

挥发性物质		样品组									
分类	名称	BJsheng	BJshu	BXQsheng	BXQshu	HJsheng	HJshu	MJsheng	MJshu	CQK	JX
酸类	仲丁醇	4.761±2.729			0.338±0.092	0.854±0.581				1.025±1.450	
	17-十八炔酸	1.232±1.743		0.409±0.090	0.757±0.216	0.544±0.769	0.322±0.455			0.169±0.240	1.049±1.483
	2,4-二甲基戊-3-基异丁酯己二酸										0.258±0.365
	2-氯-3-羟基丙酸			0.118±0.167							
	2-氯丙基辛酯丙二酸									0.057±0.081	
	2-羟基十四烷酸			0.178±0.251							
	2-十四烷基酯苯乙酸									0.049±0.070	
	3-羟基月桂酸	0.129±0.182		0.587±0.341						0.049±0.070	0.737±0.054
	9-十六碳二烯酸		0.489±0.691	0.174±0.079				0.101±0.143			
	DL-高胱氨酸			0.178±0.251							
	DL-瓜氨酸						0.161±0.228				
	L-异亮氨酸						0.183±0.259				
	Z-8-甲基-9-十四碳烯酸	0.528±0.747									
	螺唞-6-羧酸	0.176±0.249	0.582±0.558	0.408±0.075	0.096±0.007	0.111±0.157	0.596±0.068		0.076±0.108	0.106±0.011	0.065±0.091
	反式-13-十八碳烯酸										0.065±0.091
	甲酯-10,13-十八碳二烯酸	0.176±0.249	0.607±0.063	0.176±0.086	0.096±0.007		0.172±0.015		0.450±0.636	0.205±0.128	0.194±0.274
	十六烷基酯甲基丙烯酸			0.230±0.326							
醛类	10-十八碳烯醛	0.193±0.273	0.651±0.921		0.201±0.285	0.044±0.063		0.708±0.432		0.098±0.139	
	16-十八碳烯醛										0.258±0.365
	2-己烯醛			0.414±0.586		4.316±2.027					
	4-N-丙基苯甲醛				0.151±0.214						
	4-甲基苯甲醛				0.091±0.129						
	5-十八碳烯醛		0.188±0.265								
	8-十八碳烯醛								0.491±0.694		0.065±0.091
	苯甲醛		0.676±0.426							0.629±0.084	1.243±1.209
	癸醛										0.129±0.183
	环己烷基甲醛				0.050±0.071						
	壬醛			2.012±2.845							
	十二醛				0.955±0.135						
	甜瓜醛					0.055±0.078	0.091±0.129				
	戊醛		0.770±0.293	0.173±0.244		0.055±0.078	0.091±0.129	0.101±0.142			
	正己醛				0.050±0.071						
	1-[4-(甲氧基甲基)苯基]-乙酮						0.081±0.114				
	1-巯基-2-丙酮	0.240±0.158	0.651±0.921	0.117±0.002	0.328±0.039						
酮类	2-(2-硝基-2-庚烯基)-环戊酮		0.281±0.398	0.230±0.326	0.101±0.142	0.753±0.126				0.148±0.206	0.350±0.494
	2,5-二甲基-3-己酮	29.537±41.771	32.927±46.566	59.287±2.507	30.614±43.295	27.730±32.906	70.262±4.481	45.842±3.660	64.724±11.514	71.096±1.485	31.525±44.582
	2-丁酮				0.101±0.142						
	2-甲基-3-(1-甲基乙基)-环戊酮							0.051±0.072			
	2-甲基-4-庚酮				31.272±44.226						
	3,4,5-三甲基二氢呋喃-2-酮									0.098±0.139	
	3,4-二甲基-2-己酮									0.057±0.081	
	4-羟基-2-丁酮	0.644±0.910		0.640±0.236							
	4-羟基-3-戊基-环己酮				0.480±0.176						
	5-己氧基-吡咯烷三-3-酮		0.163±0.230								
	胆甾-4-烯-3,6-二酮									0.057±0.081	
	二氢-3-异辛癸基-2,5-呋喃二酮										0.194±0.24
	二氢-5-异丙基-3(2H)-呋喃酮						0.091±0.129				
	美沙酮		0.094±0.133								
	(3-辛基十二烷基)-苯										1.049±1.483
	1,3-二叔丁基苯				0.716±0.016					0.228±0.322	1.748±2.472
芳香族类	1,3-二异丙基-5-乙基苯	0.176±0.249									
	对二甲苯				0.151±0.214						
	甲苯						0.091±0.126			0.295±0.418	
	间二甲苯				0.146±0.078						
	乙苯		0.864±0.160		0.489±0.306						

续表7

挥发性物质		样品组									
分类	名称	BJsheng	BJshu	BXQsheng	BXQshu	HJsheng	HJshu	MJsheng	MJshu	CQK	JX
酯类	10-甲基- <i>E</i> -11-十三癸-1-醇丙酸酯				0.050±0.071					0.246±0.348	
	14-甲基十六烷酸甲酯				1.460±2.065						
	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯							1.561±2.207			0.581±0.822
	2-羟基-(<i>Z</i>)-十五碳烯基丙酸酯			0.414±0.586							
	3,12-二氧-5 α -胆烷酸甲酯					0.055±0.078					
	5,8,11,14-二十碳四烯酸乙酯									0.114±0.161	
	6-十四烷磺酸丁酯							0.405±0.573			
	7-甲基- <i>Z</i> -十四烯-1-醇乙酸酯		0.163±0.230	0.118±0.167							
	<i>Z,Z</i> -4,16-十八碳二烯-1-醇乙酸酯										0.350±0.494
	<i>Z</i> -10-甲基-11-十四烯-1-醇丙酸酯										
	苯甲酸-2-辛酯			0.118±0.167							
	苯甲酸乙基己酯							0.906±1.282			
	丙酸乙酯					0.766±1.083					
	丙烯酸正戊酯						0.081±0.114				
	富马酸十二烷基-2-甲氧基乙酯	0.064±0.091									
	琥珀酸丁基癸酯							0.504±0.712			
	环丙烷甲酸癸酯								0.818±1.156		
	己二酸二异丁酯	0.704±0.996		0.461±0.652							
	甲酸芳樟酯					0.444±0.628					
	甲酸庚酯			0.115±0.163		4.095±5.792	0.091±0.129				
	甲酸正己酯									2.904±4.106	
	邻苯二甲酸丁基十二烷基酯									0.114±0.161	
	硫代二丙酸二硬脂醇酯									0.098±0.139	
	硫代乙酸甲酯	0.369±0.024	1.565±0.090	0.235±0.170	0.091±0.129						
	顺-9,10-甲基十九烷酸甲酯								0.245±0.347		
	戊二酸-10-氯癸基异丁酯								0.123±0.173		
	戊二酸-2-庚基异丁酯							0.504±0.712			
	戊二酸二异丁酯		1.466±2.073								
	戊二酸异丁基-2-戊酯			0.931±0.313							0.517±0.731
	戊酸乙酯					0.144±0.204					
	辛乙烯二醇单正十二烷基酯	9.264±5.821	8.915±3.055	2.557±1.272	2.185±1.666	0.155±0.220	3.972±2.656			1.919±0.347	5.412±6.192
	乙二醇-12-乙酸酯		1.303±1.843						0.610±0.862		0.904±1.279
	乙酸-4-十二醇酯										0.129±0.183
	乙酸己酯	1.906±1.786				0.998±1.411					
	乙酸乙酯			1.172±0.518		2.983±3.308					
	乙酸异戊酯					0.233±0.016					
	异丙基-12-甲基十三烷酸酯			0.592±0.837							
	异戊酸乙酯	0.545±0.225		0.118±0.167	0.484±0.170	2.295±2.555	0.252±0.098	3.337±1.728	6.376±5.784	0.565±0.315	0.673±0.038
	棕榈酸甲酯	1.408±1.992									
烷烃类	1,2-二苯基-环丁烷									0.114±0.161	
	1,2-环氧基环庚烷				0.151±0.214						
	1,3,5-三甲基-2-十八烷基-环己烷						0.172±0.015				
	11-(1-乙基丙基)-二十烷	0.064±0.091		0.231±0.326				0.405±0.573			0.194±0.274
	1-碘-2-甲基十一烷					0.222±0.314					
	2,6,10,15-四甲基十七烷							1.064±1.504			0.711±1.005
	2,6,10-三甲基十四烷		0.094±0.133	0.237±0.335				0.806±1.139		0.394±0.557	0.388±0.548
	2,6,10-三甲基十五烷			0.173±0.244				0.554±0.783			
	2-氯-辛烷		0.094±0.133								
	2-三氟乙酰氧基十五烷						0.081±0.114				
	2-溴-十八烷	1.009±1.063	0.651±0.921	0.235±0.170		0.111±0.157		0.202±0.001			0.129±0.183
	3-三氟乙酰氧基十二烷										0.149±1.483
	3-三氟乙酰氧基十五烷	0.240±0.158	1.234±1.480	0.117±0.002	0.373±0.243	0.244±0.189	0.081±0.114	0.050±0.071		0.163±0.091	1.307±1.118
	5,8-二乙基-十二烷	0.064±0.091		0.058±0.081			0.081±0.114			0.098±0.139	0.065±0.091
	5-丙基-癸烷								0.152±0.216		
	7-己基二十烷		1.140±1.612	0.178±0.251						0.541±0.766	0.194±0.274

续表7

挥发性物质		样品组									
分类	名称	BJsheng	BJshu	BXQsheng	BXQshu	HJsheng	HJshu	MJsheng	MJshu	CQK	JX
烷烃类	7-甲基十六烷							1.212±0.281			
	8-己基十五烷		0.814±1.152					0.453±0.641			
	9-己基十六烷		0.814±1.152	0.178±0.251				1.212±0.138	0.123±0.173	0.155±0.059	1.049±1.483
	9-甲基十七烷				0.227±0.321						
	9-辛基十七烷			0.533±0.753							
	环癸烷								0.164±0.231		
	甲基-环十二烷	0.880±1.245									
	甲基环戊烷	1.121±1.403	1.866±1.047	0.993±0.101	0.409±0.579	0.111±0.157	1.478±0.496	0.859±0.075	0.937±0.400	0.285±0.403	2.964±2.731
	甲基环辛烷		0.814±1.152						0.286±0.405		
	姥蛟烷			0.828±1.172				1.057±1.495			
	氯代异戊烷									0.228±0.322	
	三氯甲烷									0.984±1.392	
	十七烷			1.172±0.518	0.252±0.356			2.475±0.082			0.452±0.640
	十五烷							2.017±1.420			
	戊基-环丙烷			0.403±0.570		0.544±0.769	0.596±0.068				
	亚硝基-甲烷	0.176±0.249									
	正十六烷		0.326±0.461					3.686±0.341			
	正十四烷							0.912±1.290	0.940±1.330		
	(Z)-3-十七碳烯			0.518±0.733							
	(Z)-5-十三碳烯								0.409±0.578		
	17-氯-7-十七碳烯					0.089±0.126					
烯烃类	1-乙氧基-4,4-二甲基-2-戊烯						0.161±0.228				
	2-丙烯基-环丁烯				0.045±0.064					0.660±0.516	
	3,5-二甲基-1-己烯				0.101±0.142						
	4,9,13,17-四甲基-4,8,12,16-十八碳烯					0.044±0.063					
	R-柠檬烯	0.064±0.091									
	苯乙烯		0.469±0.663		0.822±0.262					0.269±0.102	
	环辛四烯		0.814±1.152								
	壬烯	0.450±0.637				0.554±0.784					
	顺-2-癸烯				0.045±0.064						
	植烷									0.492±0.696	
酚类	2,6-二叔丁基对苯二酚			0.059±0.084							
	2-氨基-5,6-二甲氧基-四氢萘酚							0.912±1.290			
	2-甲基-4-叔辛基苯酚									0.057±0.081	
	4-乙基苯酚					0.155±0.220					
	E-7-四氢萘酚	0.193±0.273		0.230±0.326		0.443±0.627					
	1-亚甲基-1H-茚					0.710±0.094	0.183±0.259		0.229±0.323		
	24,25-二羟基维生素D ₃	0.129±0.182		0.237±0.335	0.242±0.085		0.322±0.455			0.860±0.733	0.802±0.145
	25-去乙酰氧基-葫芦素b				0.045±0.064	0.089±0.031				0.220±0.172	1.114±1.392
	2-肉豆蔻酰基泛素	0.657±0.565	1.466±2.073	1.683±1.041	1.785±0.467	0.266±0.063	0.081±0.114	0.253±0.215	0.203±0.287	0.409±0.257	2.071±2.016
	2-戊基咪喃		0.489±0.691								
其他	3-苄氧基-2-氯- α -羟基-苯乙胺				0.045±0.064	0.044±0.063					
	4-(2-氨基乙基)苯磺酰氟									0.098±0.139	
	d-甘油-d-基庚糖					0.033±0.047					
	N,N-二甲基癸酰胺								0.122±0.172		
	N,N-二甲基十二酰胺								0.163±0.230		
	二甲基三硫醚	8.513±4.394								1.822±2.577	
	二叔十二烷基二硫化物	0.352±0.498									
	反式-2-己烯-醋酸盐					0.888±1.256					
	甘露糖胺					0.044±0.063					
	七乙二醇单十二烷基醚	0.176±0.249	0.582±0.558	0.117±0.002	0.136±0.193	0.610±0.078	0.274±0.388			0.981±0.422	3.056±3.590
	氢化安息香						0.081±0.114				
	二甲基二硫醚					0.111±0.178					
	四乙酰基-二甲苯基腈				0.045±0.064	0.111±0.178	0.252±0.098			0.106±0.011	
	五氟丙酸八烷基叔丁基			0.710±1.004							
	岩藻黄质									0.057±0.081	
	月桂醇缩水甘油醚						0.274±0.388				
	正己基正辛醚							0.355±0.501			

2.4 豆汁挥发性有机物成分

如表7所示, 豆汁中共检测到223种挥发性有机物, 其中叶醇、乙醇、正己醇、甲基环戊烷、2,5-二甲基-3-己酮、2-肉豆蔻酰基泛素为共有成分。

由2.1节可知, 豆汁样品均具有显著的风味特征, 且部分样品之间具有较高的相似度。豆汁中不同挥发性物质组分占比见图3, 醇类物质、酮类物质和酯类物质含量较高。MJsheng、BXQsheng与JX在PC1和PC2方向上具有较高的重合度, 三者醇类、酯类和酮类物质含量上均无显著差异 ($P>0.05$); HJsheng、BJshu和HJshu在PC1和PC2方向上具有较高的重合度, 三者也在醇类、酯类和酮类物质含量上均无显著差异 ($P>0.05$), 即豆汁风味的主要成分为醇类、酯类和酮类物质。卢晓丹等^[12]研究也显示醇类含量较高, 其次是酸类物质, 而本实验中为酮类物质或酯类物质, 结果与已有报道即有相同又有差异, 说明豆汁中挥发性有机物成分具有较大的分散性。

不同豆汁醇类、酸类、酮类、芳香族类、酯类、酚类物质含量差异不显著 ($P>0.05$); MJsheng中烷烃类物质含量显著高于其他样品 ($P<0.05$), 且其他样品之间差异不显著 ($P>0.05$); HJsheng中醛类物质含量较高, BJsheng中醚类物质含量较高; 相比于来源相同的生豆汁, MJshu、BXQJshu、BJshu和HJshu四种熟豆汁中均未检出酚类物质, JX样品亦未检出酚类物质, 但CQK样品中含有少量的挥发性酚类物质。

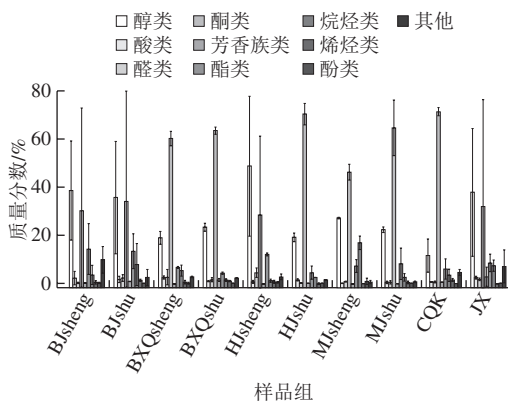


图3 豆汁不同挥发性物质组分含量差异

Fig. 3 Contents of different classes of volatile substances in Douzhi samples

苗志伟等^[14]在豆汁熬煮过程中共检测到38种挥发性成分, 同样检出了乙醇(酒精味)、2-丁醇(葡萄酒味)、己醇(果香)、3-己烯-1-醇(青草香)、1-庚醇(清香、甜香、坚果香)、己醛(果香)、2-己烯醛(绿叶香、水果香)、苯甲醛(苦杏仁味)、2-丁酮(辛辣甜味)、乙酸乙酯(水果香)、丙酸乙酯(清香)、硫代乙酸甲酯(芳香味)、二甲基二硫醚(洋葱味)和4-乙基-苯酚(药香、果香); 卢晓丹等^[12-13]也在

不同生熟豆汁中检出26~39种挥发性物质, 同样检测到二甲基二硫醚、4-乙基-苯酚、乙醇、苯甲醛、2-丁醇、2-己烯醛、3-己烯-1-醇和己醇, 说明有些风味成分在豆汁中的存在较为普遍。

而在豆汁特征性的“臭味”呈现上, 二甲基二硫醚、二甲基三硫醚等含量化合物起到重要作用^[14,31]; 具有汁青香、坚果香和脂肪香特征, 且阈值较低的己醛、2-己烯醛、壬醛、苯甲醛等也为丰富豆汁风味起到重要作用^[12]。

3 结论

从北京市场采集的10种市场体量较大的豆汁产品, 均具有独特的风味特征, 除宝记生豆汁、北新桥53号熟豆汁、磁器口熟豆汁或马记熟豆汁能够通过主成分与其他产品进行区分外, 其他产品均不能进行有效区分。尤其以马记生豆汁、北新桥53号生豆汁和锦馨熟豆汁主体风味特征较为相似, 洪记生豆汁、洪记熟豆汁和宝记熟豆汁主体风味特征较为相似。

主体风味和滋味特征具有独立性, 主体风味较为相似的产品在味觉特征呈现上具有较大差异, 除北新桥熟豆汁和马记熟豆汁滋味特征在PC1和PC2上不能区分外, 其他产品均具有较大的分散性。即主体风味相似的产品在味觉特征上可能有差异, 而部分主体风味明显不同的产品反而在味觉特征上可能比较相似, 来源于同一制备工艺的产品在主体风味和味觉特征上可能也会不同。

绿豆发酵产生的蛋白肽和氨基酸产物是豆汁味觉呈现的基础物质, 豆汁熟制后游离氨基酸总量保持持平或者增加, 以宝记豆汁、马记熟豆汁和锦馨熟豆汁含量较高 ($P>0.05$), 北新桥53号生豆汁含量较低 ($P>0.05$); 但氨基酸总量会在加热处理后明显降低, 以马记生豆汁氨基酸含量最高 ($P<0.05$)、锦馨熟豆汁氨基酸含量最低 ($P<0.05$), 即不同豆汁产品中氨基酸总量差异较大, 但游离氨基酸含量较为稳定。

从10种豆汁中共检测到223种挥发性有机物, 以醇类、酮类和酯类物质含量较高, 即为豆汁风味的主成分。

4 讨论

在前期研究^[2-5,14]中围绕豆汁加工工艺、微生物菌株及发酵性能、风味物质及煮制过程中的变化等开展了研究工作, 取得了大量实验数据, 极大促进了人们对豆汁的认识和了解。本实验结果在一定程度上支持了现有数据, 但又存在一定差异, 可能的原因是豆汁

复杂的加工工艺, 诸如绿豆原料品质、加工工艺参数、生产季节、微生物菌相变化、环境微生物状况、贮藏条件、熟制方式等, 任何因素改变都可能影响到豆汁产品品质。

基于目前获得的有关豆汁的信息, 开展针对豆汁的深层研究, 除对豆汁加工工艺与品质之间的关系进行分析外, 还需要考虑发酵过程中蛋白肽和氨基酸组分的变化趋势、豆汁的营养和功能属性变化, 以及培育和开发适应性产品, 以提升豆汁的生产能力、扩大豆汁的消费基础和产品活力。

参考文献:

- [1] 京根儿. 北京人的豆汁儿情怀[J]. 北京纪事, 2006(2): 64-65.
- [2] 丁玉振, 张绍英, 梁尽伟, 等. 北京传统小吃“豆汁”制作工艺研究[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 280-283.
- [3] 卢晓丹, 张敏. 豆汁的加工工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 266-270; 311.
- [4] 陈宇翔, 陈历俊, 姜铁民. 北京豆汁优势菌群的探究及其发酵性能测试[J]. 食品科技, 2013, 38(8): 76-79.
- [5] 张莉力, 刘黎莹, 许云贺. 北京豆汁微生物群落分析及淀粉絮凝菌分离鉴定[J]. 食品工业科技, 2017, 38(16): 142-147. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.16.026.
- [6] 刘文营, 王守伟. 羊肉生产及加工工艺对肉及肉制品品质的影响研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 304-311. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190719-242.
- [7] KALPANADEVI C, SINGH V, SUBRAMANIAN R. Influence of milling on the nutritional composition of bran from different rice varieties[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(6): 1-11. DOI:10.1007/s13197-018-3143-9.
- [8] 刘文营, 高欣悦, 李享, 等. 几种地方猪猪肉及其腊肉制品的感官特性和理化品质分析[J]. 食品科学, 2019, 40(19): 52-59. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181225-292.
- [9] PARK S J, CHOE E O, KIM J I, et al. Physicochemical properties of mung bean starches in different Korean varieties and their gel textures[J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(5): 1359-1365. DOI:10.1007/s10068-012-0179-x.
- [10] CHUNG K M, MOON T W, CHUN J K. Influence of annealing on gel properties of mung bean starch[J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(5): 567-571. DOI:10.1094/CCHEM.2000.77.5.567.
- [11] KAUR M, SANDHU K S, SINGH N, et al. Amylose content, molecular structure, physicochemical properties and *in vitro* digestibility of starches from different mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars[J]. Starch, 2011, 63(11): 709-716. DOI:10.1002/star.201100053.
- [12] 卢晓丹, 张敏, 苗菁. 不同来源生熟北京豆汁的风味物质和感官评价比较[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 103-108. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201506019.
- [13] 卢晓丹, 张敏. 豆汁的风味物质分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 164-172.
- [14] 苗志伟, 刘玉平, 黄明泉, 等. 豆汁熬制过程中挥发性香成分的变化[J]. 中国食品学报, 2013, 13(2): 199-204.
- [15] 张莉力, 韩梅, 刘黎莹, 等. 一株乳酸乳球菌的分离鉴定及其发酵豆汁工艺优化[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11): 92-97. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.11.017.
- [16] GANHÃO R, ESTÉVEZ M, ARMENTEROS M, et al. Mediterranean berries as inhibitors of lipid oxidation in porcine burger patties subjected to cooking and chilled storage[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(11): 1982-1992. DOI:10.1016/S2095-3119(13)60636-X.
- [17] 荣建华, 熊诗, 张亮子, 等. 基于电子鼻和SPME-GC-MS联用分析脆肉鲩鱼肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 124-128. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201510025.
- [18] TOKO K. Electronic tongue[J]. Biosensors and Bioelectronics, 1998, 13(6): 701-709. DOI:10.1016/S0956-5663(98)00025-6.
- [19] WU H, YUE T, YUAN Y. Authenticity tracing of apples according to variety and geographical origin based on electronic nose and electronic tongue[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(2): 522-532. DOI:10.1007/s12161-017-1023-y.
- [20] 陈晓婷, 吴靖娜, 路海霞, 等. 基于电子鼻和电子舌优化蓝圆鲈调味基料的制备[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 282-289. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804042.
- [21] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 基于电子舌技术的绿茶滋味品质评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 378-381. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.11.070.
- [22] SHAO Q S, LIU H B, ZHANG A L, et al. Analysis of volatile components extracted from the peels of four different Chinese pomelos using TDS-GC-MS[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(15): 3248-3254. DOI:10.1002/jsfa.6677.
- [23] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中氨基酸的测定: GB/T 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [24] 赵功玲, 梁新红, 郭延成, 等. 萝卜籽粕蛋白质的组成及功能性质[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 117-122. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201803018.
- [25] 施文正, 方林, 吴旭干, 等. 我国沿海主要海域雌性三疣梭子蟹呈味成分含量的比较[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 127-133. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716020.
- [26] LOPES A F, ALFAIA C M M, PARTIDÁRIO A M C P C, et al. Influence of household cooking methods on amino acids and minerals of Barrosã-PDO veal[J]. Meat Science, 2015, 99: 38-43. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.08.012.
- [27] CARVALHO L T, PIRES M A, BALDIN J C, et al. Partial replacement of meat and fat with hydrated wheat fiber in beef burgers decreases caloric value without reducing the feeling of satiety after consumption[J]. Meat Science, 2019, 147: 53-59. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.04.004.
- [28] PÉREZ-SANTAESCOLÁSTICA C, CARBALLO J, FULLADOSA E, et al. Effect of proteolysis index level on instrumental adhesiveness, free amino acids content and volatile compounds profile of dry-cured ham[J]. Food Research International, 2018, 107: 559-566. DOI:10.1016/j.foodres.2018.03.001.
- [29] KUKMAN I L, ZELENIK-BLATNIK M, ABRAM V. Isolation of low-molecular-mass hydrophobic bitter peptides in soybean protein hydrolysates by reversed-phase high-performance liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 1995, 704(1): 113-120. DOI:10.1016/0021-9673(95)00014-E.
- [30] 索化夷, 赵欣, 蹇宇, 等. 永川豆豉发酵过程中总糖和氨基酸变化与滋味的形成[J]. 食品科学, 2015, 36(21): 100-104. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201521020.
- [31] BESHKOVA D, SIMOVA E, FRENGOVA G, et al. Production of flavour compounds by yogurt starter cultures[J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 1998, 20(3/4): 180-186. DOI:10.1038/sj.jim.2900504.