

# 汤料对青方腐乳后期发酵过程中主要成分、质构及臭味的影响

陈涛<sup>1</sup>, 陈燕华<sup>1</sup>, 陈福生<sup>1,2</sup>

(1. 华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070) (2. 环境食品学教育部重点实验室, 湖北武汉 430070)

**摘要:** 本文研究了某市售青方乳腐汤料对青方腐乳主要成分、质构及臭味的影响。结果表明, 在后期发酵过程中, 与空白腐乳(未添加该汤料的腐乳)相比, 样品腐乳(添加该汤料的腐乳)的蛋白质和粗脂肪的含量较低, 而游离氨基酸含量较高, 后酵 49d 时, 样品腐乳的游离氨基酸含量达到 11.7% (干重), 比空白腐乳氨基酸含量提高了 60% 左右; 质构参数方面, 样品腐乳的硬度和弹性较低, 而粘聚性较高, 后酵第 49 d 时, 样品腐乳坯体的硬度、粘聚性和弹性分别为 213.75 g、0.37 和 0.35, 空白腐乳坯体的硬度、粘聚性和弹性分别为 258.28 g、0.29 和 0.43; 两种腐乳坯体质构参数(硬度、粘聚性和弹性)与坯体蛋白质含量存在着显著的相关性。接种此汤料可使腐乳产生挥发性硫化物和吲哚, 但此汤料经过较高转速离心及微孔滤膜过滤后不能使腐乳产生这些物质。

**关键词:** 青方腐乳; 汤料; 成分; 质构; 臭味

文章编号: 1673-9078(2013)12-2883-2888

## Effects of Soup on the Main Compositions, Texture and Odour of Grey Sufu During Ripening Process

CHEN Tao<sup>1</sup>, CHEN Yan-hua<sup>1</sup>, CHEN Fu-sheng<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2. Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The effects of soup obtained from commercial grey sufu on the main compositions, texture and odour were researched. The results showed that compared to the control of sufu (no addition of soup), the contents of protein and crude fat were lower in the sample sufu (adding of soup), but the free amino acid content was higher in sample sufu during ripening process. After ripening for 49 d, the free amino acid content in sample sufu reached to 11.70% (dry weight), which was 60% higher than that achieved in control. The hardness and resilience were lower in sample sufu body, but the cohesiveness was higher. After ripening for 49 d, the values of hardness, cohesiveness and resilience were 213.75 g, 0.37 and 0.35 in sample sufu body and 258.28 g, 0.29 and 0.43 in the control, respectively. The textural parameters (hardness, cohesiveness and resilience) showed a significant correlation with protein content in the two kinds of sufu. It produced volatile sulfide and indole after adding the soup. But when the soup centrifuged by high speed or filtered by microfiltration membrane, it could not produce these substances.

**Key words:** grey sufu; soup; compositions; texture; odour

青方腐乳又名青方、“臭豆腐”, 表面颜色呈青色或豆青色, 具有刺激性的臭味, 但臭里透香, 所以有“闻着臭, 吃着香”的美誉<sup>[1~2]</sup>。青方腐乳的发酵分为前期培菌与后期发酵两个阶段; 在前期培菌过程中, 主要是毛霉 (*Mucor*) 等微生物在白坯上生长繁殖并分泌蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶等代谢产物渗入坯体,

收稿日期: 2013-08-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31171649)

作者简介: 陈涛 (1979-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为食品生物技术

通讯作者: 陈福生 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向为食品微生物与食品安全

促进后期发酵; 后期发酵主要有腌坯、配料和装坛等操作, 主要作用是让微生物及其酶系、各种辅料等对腐乳坯体进行作用, 使腐乳中的蛋白质、脂肪等物质降解变化, 形成特殊风味<sup>[3]</sup>。

国内外关于青方腐乳的研究主要集中在微生物分离鉴定和成分分析等方面<sup>[4~6]</sup>。而汤料对青方腐乳发酵进程和风味的影响无相关报道。青方腐乳的汤料主要由毛花卤(腌豆腐后析出的盐卤水)、黄泔水(又名豆腐水, 主要来源于熟豆浆凝固和制坯压榨出来的泔水)等组成, 食盐浓度 6% 左右<sup>[3]</sup>。在青方腐乳的后发酵过程中, 除了腐乳胚中的蛋白酶、淀粉酶等酶的分解作

用外, 还有乳酸菌和芽孢杆菌等细菌产生的脱氨酶和脱硫酶也起作用, 使青方腐乳含有一定量的硫化物和氨等特有风味成分<sup>[7-8]</sup>。但是也有研究报道表明非发酵性臭豆腐也会产生有臭味的挥发性成分<sup>[9]</sup>, 其特殊的风味可能不是由微生物产生的, 而是化学反应的结果。本实验以前期研究中分离得到的 1 株毛霉 (*Mucor* sp.) M129 为菌种, 按照青方腐乳的酿制工艺, 添加和不添加某市售青方腐乳的汤料酿制青方腐乳 (分别称为样品腐乳和空白腐乳), 分析比较了后期发酵过程中两种腐乳坯体中蛋白质、粗脂肪、游离氨基酸和质构参数的差异; 并且对该市售青方腐乳汤料分别离心和过滤后, 接种到青方腐乳中, 定期检测挥发性硫化物和吡嗪。本研究探讨了外加市售青方腐乳汤料对青方腐乳组成、质构及臭味的影响, 研究结果有助于揭示青方腐乳特殊风味的形成机理, 也为改进青方腐乳生产工艺提供数据支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 样品

汤料来源: 市售青方腐乳; 毛霉 M129, 实验室保存菌株; 优质黄豆: 市售。

#### 1.1.2 主要试剂

食盐, 一级, 湖北盐业集团有限公司; 硫酸钾, 分析纯, 上海化学试剂有限公司; 硫酸, 分析纯, 武汉亚泰化工试剂有限公司; 乙酸铅, 分析纯, 湘中地质实验研究所; 酵母膏, 半胱氨酸, 生化试剂, 北京伯奥生物科技有限公司; 蛋白胨, 生化试剂, 北京双旋微生物培养基制品厂; L-色氨酸, 分析纯, 中国科学院上海生物化学研究所; 二甲氨基苯甲醛, 分析纯, 上海二爱思试剂有限公司; 硼酸, 甲醛, 石油醚, 无水乙醚, 盐酸, 硫酸铜, 牛肉膏, 购自国药集团化学试剂有限公司, 都为分析纯。

#### 1.1.3 主要仪器

相差显微镜 (BH-2), 奥林巴斯 (中国) 有限公司; 全自动氨基酸分析仪 (L-8800), 日本日立公司; 恒温培养箱 (ZGP-A2160), 上海智城分析仪器制造有限公司; 质构仪 (TA.XT.Plus), 英国 Stable Micro Systems 公司。

#### 1.1.4 材料的制备

##### 1.1.4.1 无菌生理盐水

称取一定量的氯化钠, 用蒸馏水配制成 0.9% 的盐水, 装入三角瓶中, 塞好塞子, 用报纸包好, 121 °C 灭菌 20 min, 备用。

##### 1.1.4.2 PDA 斜面培养基

马铃薯 (去皮) 200 g、蔗糖 20 g、琼脂粉 15 g、水 1000 mL。121 °C 灭菌 20 min, 备用。

##### 1.1.4.3 孢子悬浮液

将保持菌种 M129 接到 PDA 斜面培养基, 置于 28 °C 培养箱, 静置培养 3 d; 同样条件再活化一次。在无菌环境下, 向培好菌的斜面试管里加入 10 mL 灭菌的生理盐水, 用无菌的接种环在培养基表面轻轻的刮动, 使毛霉孢子悬浮于生理盐水里, 将孢子悬浮液移入无菌试管, 在混匀器上混匀, 再用已灭菌的定性滤纸过滤, 再将滤液移入无菌试管, 在混匀器上混匀, 用血球计数板镜检计数, 调整孢子悬浮液浓度为  $1.0 \times 10^6$  cfu/mL, 备用。

##### 1.1.4.4 腐乳的制备

(1) 白坯: 将去杂、洗净后的大豆用水浸泡, 浸泡温度维持在 15 °C 左右。按浸泡好的大豆: 水=1:3 进行研磨, 磨浆过 100 目筛, 用水调豆浆浓度为 5 °Bé 左右, 再将滤浆加热至 100 °C 左右, 维持 5 min, 再冷却至 75~85 °C, 加入 18 °Bé 的浓盐卤点浆。将点浆后的豆腐花上厢入木框中压榨, 成为含水量为 70~72% 的豆腐。

(2) 毛坯: 将制备好的白坯切成 3×3×2 cm 的小块, 摆放于专用托盘中, 喷洒备用的孢子悬浮液, 置于 28 °C、相对湿度为 95% 以上恒温恒湿培养箱中培养 48 h, 制成毛坯。

(3) 盐坯: 将毛坯凉花, 使菌体趋于老化、呈浅黄色。毛霉凉透之后, 即可搓毛, 搓毛时将每块连接在一起的菌丝搓断, 整齐排列在容器内待腌。腌制 5 d, 使盐坯的含盐量为 11~14%。

(4) 装罐: a) 空白腐乳: 将 15 块盐坯放入后酵瓶中, 加入汤料 140 mL 左右, 置于恒温培养箱子 28 °C 恒温培养。b) 样品腐乳: 将 15 块盐坯放入后酵瓶中, 加入汤料 140 mL 左右, 且加入某市售青方腐乳汤料 2 mL, 置于恒温培养箱子 28 °C 恒温培养。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 蛋白质的测定

方法为凯氏定氮法, 参照食品中蛋白质国标测定方法进行测定 (GB/T 5009.5-2003)。

取样量为 1 g, 取样阶段为后酵第 7、28 和 49 d; 取样样品: 空白腐乳和样品腐乳, 每个阶段取 3 个样, 每个样测 2 次。

### 1.2.2 粗脂肪的测定

方法为索氏抽提法, 参照食品中粗脂肪国标测定方法进行测定 (GB/T 14772, 2008)。

取样量为 1 g, 取样阶段为后酵第 7、28 和 49 d; 取样样品: 空白腐乳和样品腐乳, 每个阶段取 3 个样, 每个样测 2 次。

### 1.2.3 游离氨基酸的测定

用氨基酸自动分析仪测定食品中氨基酸的国标方法 (GB/T 5009.124, 2003)。

称取 0.50 g 样品, 移入 50 mL 容量瓶中, 用双蒸水溶解并定容, 在混匀器上混匀, 在经 12000 r/min 离心 5 min, 上清液再经滤膜过滤, 滤液直接上机, 进样量为 10  $\mu$ L。以外标法定量。取样阶段为后酵 7、28 和 49 d; 取样样品: 空白腐乳和样品腐乳, 且每个阶段取 3 个样。

测定参数: 缓冲液流速: 0.40 mL/min; 茚三酮流速: 0.35 mL/min。

### 1.2.4 质构参数的测定

采用 TPA 二次下压的方法, 具体参数: 触发力为 2.5 g; 下降速度为 1.0 mm/s; 提升速度为 1.5 mm/s; 下压距离为 8 mm; 时间为 5.00 s; 探头为 P0.5; PPS 为 200.0; 测试速度为 1.0 mm/s。取样阶段为后酵第 7、28 和 49 d; 取样样品: 空白腐乳和样品腐乳, 每个阶段取 3 个样, 每个样测 2 次。

硬度、弹性及粘聚性的定义如下: 硬度 (Hardness): 指探头第一次穿刺样品时压力的峰值,

单位为 g; 弹性 (Springiness): 指探头第一次穿刺过程中样品变形后“恢复”的程度, 无量纲; 粘聚性 (Cohesiveness): 指样品抵御第二次穿冲而相对于第一次穿冲的变形程度, 用第二次穿冲的用功面积与第一次用功面积的比值来表示。

### 1.2.5 含硫化合物的检测

测含硫化合物试纸条: 将普通滤纸剪成 0.5 cm 宽的纸条, 长度为 15 cm, 用 5% 的乙酸铅将纸条浸透, 然后用烘箱烘干, 用平皿装好, 115  $^{\circ}$ C 灭菌 20 min。备用。

### 1.2.6 吲哚的检测

吲哚试剂: 二甲氨基苯甲酚 2 g、95%乙醇 190 mL 和浓盐酸 40 mL。混匀备用。

## 1.3 分析方法

用 SPSS V15.0 软件对实验数据进行显著性分析和 Pearson 相关系数分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 蛋白质和粗脂肪的变化

空白腐乳和样品腐乳坯体中蛋白质和粗脂肪在后酵第 7、28 和 49 d 的结果如表 1 所示。

表 1 后酵过程中蛋白质和粗脂肪的变化

Table 1 The changes of protein and crude fat during ripening process

指标	空白腐乳/%			样品腐乳/%		
	7 d	28 d	49 d	7 d	28 d	49 d
蛋白质	30.47 $\pm$ 0.46	27.26 $\pm$ 0.27	23.98 $\pm$ 0.23	27.83 $\pm$ 0.36	22.28 $\pm$ 0.32	21.28 $\pm$ 0.29
粗脂肪	18.50 $\pm$ 0.27	17.16 $\pm$ 0.12	16.83 $\pm$ 0.10	18.34 $\pm$ 0.10	15.78 $\pm$ 0.25	15.03 $\pm$ 0.18

由表 1 可知, 在后酵期间, 样品腐乳的蛋白质含量要比空白腐乳的低, 说明样品腐乳在后酵过程中蛋白质的降解速度要比空白腐乳的快, 原因可能是某品牌青方腐乳汤料中含有能够产生蛋白酶的微生物, 样品腐乳中加入 2 mL 该汤料后接入了这些微生物, 能够产生更多的蛋白酶, 加快蛋白质的分解。

在后酵期间, 样品腐乳的粗脂肪含量要比空白腐乳的都要低, 说明样品腐乳在后酵过程中粗脂肪的降解速度要比空白腐乳的快, 样品腐乳只是在后酵汤料中多加了 2 mL 的某品牌青方腐乳成品的汤料, 而该汤料中可能含有分泌脂肪酶的微生物, 接入这些微生物后能加速粗脂肪的分解。

### 2.2 游离氨基酸的变化

空白腐乳和样品腐乳游离氨基酸在后酵 7、28 和 49 d 的结果如表 2 所示。

由表 2 可知, 随着后酵的进行, 两种腐乳中游离氨基酸的总量在不断增加, 这与 Han 等的研究结果是一致的<sup>[10]</sup>。在第 49 d 时, 空白腐乳游离氨基酸总量达到 7.34% (干重), 比第 7 d 时提高了 98%; 样品腐乳中游离氨基酸的总量在第 49 d 时达到 11.70% (干重), 比第 7 d 时提高了 89%。就游离氨基酸的总量而言, 样品腐乳在 7、28 和 49 d 均高于空白腐乳, 在第 49 d 时, 含量差值为 4.37% (干重), 说明在后酵过程中样品腐乳中蛋白质及肽的降解速率比腐乳快且降解更完全, 这与前面的蛋白质的测定结果是一致的。

### 2.3 质构参数的变化

#### 2.3.1 腐乳后酵过程中硬度、粘聚性和弹性的变化

空白腐乳和样品腐乳坯体硬度、粘聚性和弹性在后酵第 7、28 和 49 d 的结果如表 3 所示。

表 2 腐乳后酵过程中游离氨基酸的变化

Table 2 The changes of free amino acid during ripening process

氨基酸种类	空白腐乳/%			样品腐乳/%		
	7 d	28 d	49 d	7 d	28 d	49 d
天冬氨酸	0.13	0.14	0.13	0.23	0.31	0.27
丝氨酸	0	0	0.03	0	0	0.47
苏氨酸	0.06	0.03	0.04	0.10	0.04	0.08
谷氨酸	0.58	0.23	0.11	1.55	1.70	1.52
脯氨酸	0.21	0.03	0.00	0.32	0.43	0.00
甘氨酸	0.14	0.25	0.12	0.25	0.34	0.67
丙氨酸	0.22	0.10	0.15	0.40	0.52	1.19
半胱氨酸	0	0	0.09	0.07	0.17	0.03
缬氨酸	0.28	0.55	1.47	0.41	0.56	1.11
蛋氨酸	0.07	0.14	0.26	0.12	0.16	0.27
异亮氨酸	0.18	0.44	1.06	0.33	0.46	0.95
亮氨酸	0.32	0.71	1.56	0.54	0.74	1.55
酪氨酸	0.08	0.24	0.47	0.14	0.14	0.33
苯丙氨酸	0.29	0.58	0.68	0.47	0.61	1.02
γ-氨基丁酸	0.06	0.02	0.09	0.05	0.04	0.10
鸟氨酸	0.29	0.28	0.50	0.40	0.19	0.53
赖氨酸	0.12	0.09	0.00	0.59	0.70	1.05
组氨酸	0.07	0	0.10	0.11	0.14	0.20
色氨酸	0.62	0.19	0.40	0.12	0.19	0.34
精氨酸	0	0.18	0.06	0	0	0.01
牛磺酸	0	0	0	0	0	0.09
总量	3.70	4.18	7.34	6.19	7.44	11.70

表 3 后酵过程中硬度、粘聚性和弹性的变化

Table 3 The changes of hardness, cohesiveness and springiness during ripening process

项目	空白腐乳			样品腐乳		
	7 d	28 d	49 d	7 d	28 d	49 d
硬度	414.98	325.85	258.28	358.41	226.83	213.75
粘聚性	0.27	0.33	0.37	0.28	0.37	0.43
弹性/g	0.61	0.39	0.35	0.59	0.37	0.29

由表 3 所知，两种腐乳硬度在后酵过程中的变化趋势是一直减小，这与 Ma 等的研究结果相似<sup>[11]</sup>，Li 等认为腐乳后酵过程中硬度的减小是水解酶类的降解作用引起的<sup>[12]</sup>。并且空白腐乳的硬度一直大于样品腐乳，这可能是由于样品腐乳中含有更多的酶系，对腐乳坯体的降解作用更为强烈。

粘聚性指样品抵御第二次穿冲而相对于第一次穿冲的变形程度，用第二次穿冲的用功面积与第一次用功面积的比值来表示，而食品的粘聚性主要表征食品的口感和可塑性，就本研究而言，粘聚性则反应出腐乳内部结构的变化。由表 3 可知，后酵期间，空白腐

乳和样品腐乳坯体粘聚性呈增大的趋势，且样品腐乳坯体粘聚性值均大于空白腐乳坯体的粘聚性值，说明样品腐乳的口感要好于腐乳，且样品腐乳的内部变化要比腐乳的快速。

弹性指探头第一次穿刺过程中样品变形后“恢复”的程度，弹性值越小表示恢复的高度越小，就腐乳而言，弹性值越小表明腐乳坯体内部蛋白质凝胶结构破坏的越多，也从侧面反应出腐乳的成熟度。如表 3 所示，在后酵过程中，空白腐乳和样品腐乳坯体弹性呈减小的趋势，且样品腐乳坯体弹性值均小于空白腐乳的弹性值，说明样品腐乳坯体内部蛋白质凝胶结构破坏的越多，内部变化要比空白腐乳的快。

### 2.3.2 腐乳后酵过程中硬度、粘聚性和弹性的与蛋白质含量的相关性

空白腐乳和样品腐乳在后酵期间蛋白质与硬度、粘聚性和弹性的相关性如表 4 所示。

表 4 皮尔逊相关系数

Table 4 Pearson correlation coefficients

项目	蛋白质含量	
	空白腐乳	样品腐乳
硬度	0.95**	0.97**
粘聚性	-0.96**	-0.97**
弹性	0.77*	0.99**

注：\*\*表示在 0.01 水平（双侧）上显著相关；\*表示在 0.05 水平（双侧）上显著相关。

由表 4 可知，在后酵期间，空白腐乳坯体蛋白质含量与坯体硬度呈极显著正相关（ $P < 0.01$ ），Pearson 相关系数为 0.95，样品腐乳坯体蛋白质含量与坯体硬度也呈极显著正相关（ $P < 0.01$ ），Pearson 相关系数为 0.97，说明坯体的硬度与坯体的蛋白质含量有关，原因是蛋白质的凝胶结构在后酵过程中被破坏，腐乳坯体中主要的固形物就是蛋白质，所以蛋白质凝胶结构对坯体硬度有显著影响。

空白腐乳和样品腐乳在后酵期间蛋白质与粘聚性的相关性如表 4 所示。由表 4 可知，在后酵期间，空白腐乳坯体蛋白质含量与坯体粘聚性呈极显著负相关（ $P < 0.01$ ），Pearson 相关系数为 0.96，样品腐乳坯体蛋白质含量与坯体粘聚性也呈极显著负相关（ $P < 0.01$ ），Pearson 相关系数为 0.97，说明坯体的粘聚性与坯体的蛋白质含量有关，原因是蛋白质的凝胶结构在后酵过程中被破坏，而蛋白凝胶结构又影响着坯体的粘聚性。

空白腐乳和样品腐乳在后酵期间蛋白质与弹性的相关性如表 4 所示。由表 4 可知，在后酵期间，空白腐乳坯体蛋白质含量与坯体弹性呈正相关（ $P < 0.05$ ），

Pearson 相关系数为 0.77, 样品腐乳坯体蛋白质含量与坯体弹性呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), Pearson 相关系数为 0.99, 说明坯体的弹性与坯体的蛋白质含量有关, 原因是蛋白质的凝胶结构在后酵过程中被破坏, 而坯体的弹性主要是受其蛋白凝胶结构影响。

### 2.4 青方腐乳汤料对腐乳产臭作用的分析

在无菌条件下, 取该市售青方腐乳汤料, 分装于 2 mL 灭菌的 EP 管, 分别以 500、2000、4000、6000、

8000、10000 和 12000 r/min 离心 10 min, 取滤液, 分别接入腐乳, 接种量为 3%, 分别标记为 (2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7) 和 (8), 用 0.22  $\mu\text{m}$  和 0.45  $\mu\text{m}$  无菌滤膜过滤该汤料, 将滤液分别接入腐乳, 接种量为 3%, 分别标记为 (9)、(10), 汤料原液作为阳性对照, 也接入腐乳中, 标记为 (1), 没有接入汤料的腐乳作为阴性对照, 标记为 (11)。置于 28  $^{\circ}\text{C}$  恒温培养箱静置培养, 每周检测一次颜色及气味的变化, 一共检测 7 周, 检测结果如表 5 和表 6 所示。

表 5 离心和过滤汤料对腐乳产含硫化合物的影响

Table 5 The effects of soup on the producing of sulfur compounds after centrifugation and filtration

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
第 1 周	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
第 2 周	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
第 3 周	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
第 4 周	+++	++	+	-	-	-	-	-	-	-	-
第 5 周	+++	+++	++	-	-	-	-	-	-	-	-
第 6 周	++++	+++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-
第 7 周	++++	+++	+++	-	-	-	-	-	-	-	-

注: “-”: 不产硫化物; “+”: 产硫化物

由表 5 和表 6 可知, 没处理过的某品牌市售青方腐乳汤料能使腐乳产生含挥发性硫化物和吲哚的特殊臭味, 在所检测的 7 周过程中, (1) 组实验在第 2 周就能使乙酸铅试纸条变黑和测吲哚实验时能产生玫瑰红色, 在之后的第 3、4、5、6、7 周都能检测出挥发性硫化物和吲哚, 且到第 6 周时乙酸铅试纸条的颜色最深、玫瑰红色最明显。汤料第 2 周使腐乳产臭、第 6 周产臭达到最大量, 在 28  $^{\circ}\text{C}$  恒温培养条件下需要 42 d 才能是腐乳的产臭达到最大值, 说明后酵是一个较漫长的过程, 由表 5 及表 6 中实验组 (2) 和 (3)

可知, 在青方腐乳后酵过程中, 含硫化合物先于吲哚产生。由表 5 和表 6 可知, 经 500 及 2000 r/min 离心 10 min 处理的汤料与阳性实验结果相近, 能使腐乳产生特殊风味 (臭味); 而经 4000、6000、8000、10000、12000 r/min 离心 10 min 及经 0.22  $\mu\text{m}$  和 0.45  $\mu\text{m}$  过滤处理的汤料与阴性实验结果相近, 不能使腐乳产生特殊风味 (臭味)。由此可知, 该市售青方腐乳汤料中, 可能含有使腐乳产生臭味的微生物, 较高转速的离心及微孔滤膜过滤可除去这类微生物, 因此接种后不能使腐乳产生臭味。

表 6 离心和过滤汤料对腐乳产吲哚的影响

Table 6 The effects of soup on the producing of indole after centrifugation and filtration

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
第 1 周	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
第 2 周	$\Delta$	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
第 3 周	$\Delta\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	*	*	*	*	*	*	*	*
第 4 周	$\Delta\Delta\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	*	*	*	*	*	*	*	*
第 5 周	$\Delta\Delta\Delta$	$\Delta\Delta$	$\Delta\Delta$	*	*	*	*	*	*	*	*
第 6 周	$\Delta\Delta\Delta$	$\Delta\Delta$	$\Delta\Delta$	*	*	*	*	*	*	*	*
第 7 周	$\Delta\Delta\Delta\Delta$	$\Delta\Delta\Delta$	$\Delta\Delta$	*	*	*	*	*	*	*	*

注: “\*”: 不产吲哚; “ $\Delta$ ”: 产吲哚。

## 3 结论

3.1 青方腐乳在后酵过程中, 蛋白质和粗脂肪含量均下降, 而游离氨基酸含量升高。在后期发酵阶段,

样品腐乳坯体中的蛋白质和粗脂肪含量低于空白腐乳, 而游离氨基酸含量高于空白腐乳。后酵第 49 d 时, 样品腐乳的氨基酸含量达到 11.70% (干重), 比空白腐乳氨基酸含量 7.34% (干重) 提高了 60% 左右。

3.2 青方腐乳在后酵过程中, 坯体的硬度和弹性呈下降的趋势, 而粘聚性缓慢上升。在后期发酵阶段, 样品腐乳的硬度和弹性低于空白腐乳, 而粘聚性高于空白腐乳。后酵第 49 d 时, 空白腐乳坯体的硬度、粘聚性和弹性分别为 258.28 g、0.29 和 0.43; 样品腐乳坯体的硬度、粘聚性和弹性分别为 213.75 g、0.37 和 0.35。两种腐乳坯体质构参数(硬度、粘聚性和弹性)与坯体蛋白质含量存在着显著的相关性。

3.3 取某市售青方腐乳汤料, 分别经过离心和过滤后接种到腐乳中, 以没有处理的汤料为阳性对照, 不添加汤料为阴性对照, 定期检测挥发性硫化物和吲哚。结果表明, 经 500 及 2000 r/min 离心 10 min 处理的汤料与阳性实验结果相近, 能使腐乳产生特殊风味(臭味); 而经 4000、6000、8000、10000、12000 r/min 离心 10 min 及经 0.22  $\mu\text{m}$  和 0.45  $\mu\text{m}$  过滤处理的汤料与阴性实验结果相近, 不能使腐乳产生特殊风味(臭味)。

#### 参考文献

- [1] 陈福生主编. 食品发酵设备与工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011  
Chen F S. Food fermentation equipments and technologies [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011
- [2] Han B Z, Rombouts F M, Nout M J R. A Chinese fermented soybean food [J]. Int. J. Food Microbiol., 2001, 65: 1-10
- [3] 王瑞芝. 中国腐乳酿造[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009  
Wang R Z. Chinese sufubrewing [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009
- [4] 鲁绯, 张京生, 刘子鹏, 等. 青方腐乳中乳酸菌的分离鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(4): 38-41  
Lu F, Zhang J S, Liu Z P, et al. The separation and Identification of lactobacillus from grey sufu [J]. Food and Fermentation Industries, 2006, 32(4): 38-41
- [5] 刘玉平, 陈海涛, 孙宝国, 等. 固相微萃取与 GC-MS 法分析发酵型臭豆腐中的挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2009, 30(12): 403-405  
Liu Y P, Chen H T, Sun B G, et al. Analysis of volatile constituents in fermented stinky tofu made in Beijing by solid-phase micro-extraction combined with GC-MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(12): 403-405
- [6] Guan R F, Liu Z F, Zhang J J, et al. Investigation of biogenic amines in sufu (furu): A Chinese traditional fermented soybean food product [J]. Food Control, 2013, 31: 345-352
- [7] Han B Z, Cao C F, Rombouts F M, et al. Microbial changes during the production of sufu—a Chinese fermented soybean food [J]. Food Control, 2004, 15: 265-270
- [8] 孙贵朋, 张雪娇, 王妍, 等. 臭豆腐卤液中细菌多样性研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(10): 1087-1091  
Sun G P, Zhang X J, Wang Y, et al. The investigation of bacteria diversity in stinky tofu brine [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(10): 1087-1091
- [9] 元顺平, 翁新楚. 非发酵臭豆腐挥发性风味物质的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 400-404  
Qi S P, Weng X C. Study on volatile flavor compounds of unfermented smelly tofu [J]. Food Science, 2007, 28(12): 400-404
- [10] Han B Z, Rombouts F M, Nout M J R. Amino acid profiles of sufu, a Chinese Fermented Soybean Food [J]. J. Food Compos. Anal., 2004, 17: 689-698
- [11] Ma Y L, Wang J H, Cheng Y Q, et al. Some biochemical and physical changes during manufacturing of grey sufu, a traditional chinese fermented soybean curd [J]. Int. J. of Food Eng., 2013, 9(1): 45-54
- [12] Li Y Y, Yu R C, Chou C C. Some biochemical and physical changes during the preparation of the enzyme-ripening sufu, a fermented product of soybean curd [J]. J. Agric. Food Chem., 2010, 58: 4888-4893