



## 腐乳后酵过程中辐照处理对其微生物指标的影响

汪建明, 胡峰, 李立英

(食品营养与安全教育部重点实验室, 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

**摘要:** 腐乳粗放式的手工生产致使成品中检出的微生物种类繁多, 影响了腐乳的质量. 本实验采用  $^{60}\text{Co}-\gamma$  射线对腐乳进行辐照处理, 研究后酵时间和温度对其细菌总数、霉菌总数和大肠菌群数的影响. 结果表明: 后酵 120 d 的腐乳经 3 kGy 辐照 3 h 后, 在 25 °C 下储藏 60 d, 细菌总数为  $2.09 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ , 霉菌总数为  $1.94 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ , 且细菌总数和霉菌总数比未辐照腐乳的分别减少了 26.77%~27.12%、25.11%~29.06%; 证明辐照处理可作为控制腐乳中微生物指标的措施之一, 有助于保持腐乳的品质.

**关键词:** 辐照; 腐乳; 安全性; 微生物

中图分类号: Q946.1 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2012)05-0011-04

## Effects of Irradiation on Microorganism Indicator During Sufu Ripening Process

WANG Jianming, HU Feng, LI Liying

(Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Ministry of Education, College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Because of extensive manual processing, a large variety of microorganisms appeared in the final sufu products, which is one of the main defects effecting sufu quality. Sufu was irradiated in this research by  $^{60}\text{Co}-\gamma$  radiation. Its bacterium, mildew and coliform counts were determined by different ripening period and temperature. According to the tests and analyses, after sufu was irradiated for 3 hours, ripened for 120 d, and stored at 25 °C for 60th day, the total bacterium count was  $2.09 \times 10^4 \text{ cfu/g}$  and the total mildew was  $1.94 \times 10^4 \text{ cfu/g}$ . Compared with unirradiated sufu, the total bacterium and total mildew of irradiated sufu were reduced by 26.77%~27.12% and 25.11%~29.06% respectively. Thus, irradiation is a method to control microorganism and maintain the quality of sufu.

**Key words:** irradiation; sufu; security; microorganisms

腐乳作为传统的大豆发酵食品, 其本身及生产过程中的安全性受到很大关注<sup>[1]</sup>. 腐乳在加工过程中的二次污染严重<sup>[2]</sup>, 由于其主、辅配料和加工工艺的多变性, 开放式生产必然会带入各种微生物<sup>[3-4]</sup>, 其中有益微生物的生长繁殖在一定程度上可促进腐乳风味的协调, 但有不少微生物是对人体健康不利且直接影响产品品质<sup>[5]</sup>. 辐照处理可以减少食品的微生物负荷、杀灭致病菌, 从而增加易腐食品的有效寿命<sup>[6-8]</sup>. 有关学者研究不同辐照剂量对腐乳保藏期品质的影响<sup>[9]</sup>, 确定了抑菌效果适宜的辐照剂量. 人们可根据

产品要求调节辐照剂量, 以达到不同的杀菌程度, 直至完全灭菌<sup>[10-11]</sup>. 在前期研究的基础上, 本文进一步探讨腐乳后酵过程中辐照处理对其微生物指标的影响, 为辐照处理在腐乳生产中的应用提供科学基础.

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

##### 1.1.1 原料与样品处理

腐乳, 天津市利民调料有限公司;  $^{60}\text{Co}$  辐照源,

收稿日期: 2012-01-08; 修回日期: 2012-05-22

基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目(11ZCKFNC01800); 东丽区科委项目“传统调味品非热力抑菌技术的集成与示范”

作者简介: 汪建明(1972—), 女, 新疆库尔勒人, 教授, 博士, wangjianming@tust.edu.cn.

天津市技术物理研究所。

取后酵 0、60、120、180、240 d 的腐乳样品, 5 kg 桶装, 每块大小约为 4 cm × 4 cm × 1.5 cm。在无菌台上, 将桶装腐乳分装到直径为 6 cm、高为 2.5 cm 的塑料盒中, 每盒中加入 1 块腐乳和 4 g 腐乳汤料。将分装后的样品放进纸箱中, 进行 3 kGy 辐照处理 3 h。

1.1.2 试剂

胰蛋白胨、蛋白胨, 天津市东方卫生材料厂; 酵母浸膏、琼脂, 天津市珠江卫生材料厂; 无水葡萄糖、氯化钠, 天津市化学试剂三厂; 蔗糖、乳糖, 天津市北方化玻购销中心; 牛胆粉, 北京豪尔思科技有限公司; 煌绿, 天津市文达稀贵试剂厂。

1.1.3 仪器设备

KBHW-4 型恒温恒湿库, 天津食品加工工程中心; LRH-250-A 生化培养箱, 北京仪器设备厂; 分析天平, 上海精密科学仪器有限公司; 高压蒸汽消毒器, 北京工农兵医疗器械厂。

1.2 食品微生物学检验

依照 GB/T 4789.2—2010《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定》<sup>[12]</sup>、GB/T 4789.15—2010《食品安全国家标准食品微生物学检验霉菌和酵母计数》<sup>[13]</sup>和 GB/T 4789.3—2010《食品安全国家标准食品微生物学检验大肠菌群计数》<sup>[14]</sup>检测辐照腐乳中细菌总数、霉菌数和大肠菌群数。

1.3 感官指标的测定

对腐乳进行组织形态、色泽、气味、滋味等感官指标观察及品尝鉴定。依照表 1 进行感官评分。

表 1 感官评分标准表

Tab. 1 Rules of sufu sensory evaluation

| 项目    | 特征                        | 得分    |
|-------|---------------------------|-------|
| 组织形态  | 块型整齐, 薄厚一致, 不破边, 不缺角, 不破皮 | 26~30 |
|       | 块型不整齐, 薄厚不均匀              | 20~25 |
|       | 破边, 破角                    | 10~19 |
|       | 破皮                        | 0~9   |
| 色泽    | 表面鲜红或是紫红, 内部杏黄            | 26~30 |
|       | 表面颜色不正                    | 20~25 |
|       | 表面有白点                     | 10~19 |
|       | 内部颜色不正                    | 0~9   |
| 滋味、气味 | 香气纯正、准确, 具有与市售腐乳较为一致的特有香气 | 30~40 |
|       | 香气不明显                     | 20~29 |
|       | 香气不准确                     | 10~19 |
|       | 有不良气味                     | 0~9   |
| 总分    |                           | 100   |

2 结果与讨论

2.1 后酵时间对辐照腐乳主要微生物的影响

取未后酵、后酵 60、120、180、240 d 的腐乳进行 3 kGy 的辐照 3 h, 并在 25 °C 下分别储藏 0、15、30、45、60 d, 按照 1.2.1, 1.2.2 和 1.2.3 中的方法检测储藏期内辐照腐乳的大肠菌群最可能数 (MPN)、细菌总数和霉菌总数 (表 2、表 3 和表 4)。

表 2 后酵时间对辐照腐乳中大肠菌群最可能数(MPN)的影响

Tab. 2 Effects of ripening time on coliform MPN in irradiated sufu

| 储藏时间/d | MPN  |      |       |       |       |
|--------|------|------|-------|-------|-------|
|        | 未后酵  | 60 d | 120 d | 180 d | 240 d |
| 0      | -    | -    | -     | -     | -     |
| 15     | -    | -    | -     | -     | -     |
| 30     | -    | -    | -     | -     | -     |
| 45     | -    | -    | -     | <3.0  | <3.0  |
| 60     | <3.0 | <3.0 | <3.0  | <3.0  | <3.0  |

注: “-”表示未检出。

由表 2 可知, 在相同后酵度的辐照腐乳中, 随着储藏时间的延长, 大肠菌群数呈现缓慢增长的趋势。在相同储藏时间下, 随着腐乳后酵时间的延长, 其大肠菌群也在缓慢增长, 但始终远远低于国家卫生标准。对后酵时间为 180 d 的腐乳进行辐照处理后, 储藏 45 d 便可检出大肠菌群数, 但低于国家卫生标准, 然而在相同条件下, 对后酵时间为 120 d 的腐乳中并未检出大肠菌群。由此可见, 腐乳后酵 120 d 的时候进行辐照, 有较好的抑菌效果。

表 3 和表 4 表明, 同一后酵度的腐乳经辐照后, 随着储藏时间的延长, 细菌总数和霉菌总数均呈增加趋势。未后酵、后酵 60、120、180、240 d 的辐照腐乳, 在储藏期间, 细菌总数分别增长了  $8.49 \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ 、 $9.97 \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ 、 $1.97 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ 、 $3.06 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ 、 $4.93 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ 。同样, 在储藏期间, 霉菌总数依次增长了  $5.43 \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ 、 $8.65 \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ 、 $2.00 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ 、 $2.88 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ 、 $4.23 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ , 由于后酵时间为 180、240 d 的腐乳汤料中营养成分相对较少, 同时汤料中的高盐含量和酒精对微生物的生长有一定的抑制作用, 菌落总数增长趋势趋于平缓。

由此可见, 将后酵 120 d 的腐乳进行辐照处理, 在储藏第 60 天才可检测出大肠菌群, 而对后酵 180 d 的腐乳进行辐照处理后, 在储藏第 45 天就可检测出大肠菌群。因此, 腐乳后酵 120 d 的时候进行辐照, 就可以很好地达到抑菌效果。在储藏末期, 细菌总数

为  $2.09 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ , 霉菌总数为  $1.94 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ .

表 3 后酵时间对辐照腐乳中细菌总数的影响

Tab. 3 Effects of ripening time on the total bacterium count in irradiated sufu

| 储藏时间/d | 细菌总数/ $\text{g}^{-1}$ |                    |                    |                    |                    |
|--------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|        | 未后酵                   | 60 d               | 120 d              | 180 d              | 240 d              |
| 0      | $2.24 \times 10^2$    | $5.01 \times 10^2$ | $1.23 \times 10^3$ | $3.31 \times 10^3$ | $6.92 \times 10^3$ |
| 15     | $5.62 \times 10^2$    | $1.48 \times 10^3$ | $2.75 \times 10^3$ | $8.71 \times 10^3$ | $1.70 \times 10^4$ |
| 30     | $2.57 \times 10^3$    | $4.57 \times 10^3$ | $8.13 \times 10^3$ | $1.66 \times 10^4$ | $2.57 \times 10^4$ |
| 45     | $5.13 \times 10^3$    | $7.76 \times 10^3$ | $1.51 \times 10^4$ | $2.63 \times 10^4$ | $4.07 \times 10^4$ |
| 60     | $8.71 \times 10^3$    | $1.05 \times 10^4$ | $2.09 \times 10^4$ | $3.39 \times 10^4$ | $5.62 \times 10^4$ |

表 4 后酵时间对辐照腐乳中霉菌总数的影响

Tab. 4 Effects of ripening time on total molds in irradiated sufu

| 储藏时间/d | 霉菌总数/ $\text{g}^{-1}$ |                    |                    |                    |                    |
|--------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|        | 未后酵                   | 60 d               | 120 d              | 180 d              | 240 d              |
| 0      | $1.95 \times 10^2$    | $2.63 \times 10^2$ | $3.39 \times 10^2$ | $7.24 \times 10^2$ | $1.51 \times 10^3$ |
| 15     | $4.07 \times 10^2$    | $5.13 \times 10^2$ | $7.59 \times 10^2$ | $1.66 \times 10^3$ | $4.68 \times 10^3$ |
| 30     | $1.05 \times 10^3$    | $2.69 \times 10^3$ | $3.80 \times 10^3$ | $5.12 \times 10^3$ | $1.17 \times 10^4$ |
| 45     | $3.89 \times 10^3$    | $6.02 \times 10^3$ | $1.10 \times 10^4$ | $1.70 \times 10^4$ | $2.24 \times 10^4$ |
| 60     | $5.62 \times 10^3$    | $8.91 \times 10^3$ | $2.04 \times 10^4$ | $2.95 \times 10^4$ | $4.37 \times 10^4$ |

## 2.2 后酵温度对辐照腐乳主要微生物的影响

国内腐乳厂,目前在生产中基本上都是采用在自然条件下发酵,对温度不加以控制,而腐乳后酵极易受环境条件的影响,发酵周期长,而实行控温发酵尚处在摸索阶段,所以有必要先了解温度对发酵的影响情况.对后酵 120 d 的腐乳进行 3 kGy 的辐照处理 3 h 后,在 4、16、25、37 °C 下分别储藏 0、15、30、45、60 d 后,依据 1.2.1、1.2.2 和 1.2.3 的实验方法,测定其大肠菌群最可能数(MPN)、细菌总数和霉菌总数(表 5、表 6 和表 7).

表 5 后酵温度对辐照腐乳中大肠菌群最可能数(MPN)的影响

Tab. 5 Effects of preservation temperature on coliform MPN in irradiated sufu

| 储藏时间/d | MPN  |       |       |       |
|--------|------|-------|-------|-------|
|        | 4 °C | 16 °C | 25 °C | 37 °C |
| 0      | -    | -     | -     | -     |
| 15     | -    | -     | -     | -     |
| 30     | -    | -     | -     | <3.0  |
| 45     | -    | <3.0  | -     | <3.0  |
| 60     | -    | <3.0  | <3.0  | 3.0   |

注:“-”表示未检出.

由表 5 可知:辐照后的腐乳,在低温后酵过程中,大肠菌群数均未检出,说明低温对于微生物的生长繁殖有一定的抑制作用.随着后酵温度的升高,大肠菌群数随之出现小幅度增长.在 37 °C 下后酵,第 30 天时大肠菌群 MPN 值小于 3.0,而在 16 °C 和 25 °C 下后酵的腐乳还未检测出.37 °C 为大肠菌群最适

生长温度,在第 60 天时,37 °C 条件下的腐乳的 MPN 值为 3.0,略低于国家卫生标准,在其他温度下后酵的腐乳的 MPN 依然低于国家标准.

表 6 后酵温度对辐照腐乳中细菌总数的影响

Tab. 6 Effects of ripening temperature on total bacterium count in irradiated sufu

| 储藏时间/d | 细菌总数/ $\text{g}^{-1}$ |                    |                    |                    |
|--------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|        | 4 °C                  | 16 °C              | 25 °C              | 37 °C              |
| 0      | $1.32 \times 10^3$    | $1.20 \times 10^3$ | $1.23 \times 10^3$ | $1.29 \times 10^3$ |
| 15     | $1.55 \times 10^3$    | $2.09 \times 10^3$ | $2.76 \times 10^3$ | $3.39 \times 10^3$ |
| 30     | $1.66 \times 10^3$    | $6.02 \times 10^3$ | $8.13 \times 10^3$ | $1.15 \times 10^4$ |
| 45     | $2.19 \times 10^3$    | $8.91 \times 10^3$ | $1.51 \times 10^4$ | $3.24 \times 10^4$ |
| 60     | $2.40 \times 10^3$    | $1.70 \times 10^4$ | $2.09 \times 10^4$ | $7.94 \times 10^4$ |

表 7 后酵温度对辐照腐乳中霉菌总数的影响

Tab. 7 Effects of ripening temperature on total molds in irradiated sufu

| 储藏时间/d | 霉菌总数/ $\text{g}^{-1}$ |                    |                    |                    |
|--------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|        | 4 °C                  | 16 °C              | 25 °C              | 37 °C              |
| 0      | $3.98 \times 10^2$    | $3.89 \times 10^2$ | $3.89 \times 10^2$ | $3.71 \times 10^2$ |
| 15     | $4.68 \times 10^2$    | $5.24 \times 10^2$ | $7.59 \times 10^2$ | $5.75 \times 10^2$ |
| 30     | $5.37 \times 10^2$    | $1.15 \times 10^3$ | $3.80 \times 10^3$ | $9.55 \times 10^2$ |
| 45     | $5.89 \times 10^2$    | $3.09 \times 10^3$ | $1.10 \times 10^4$ | $1.82 \times 10^3$ |
| 60     | $6.91 \times 10^2$    | $8.32 \times 10^3$ | $2.04 \times 10^4$ | $3.39 \times 10^3$ |

表 6 和表 7 表明,在同一后酵温度下,细菌总数和霉菌总数随着储藏时间的延长均呈增加趋势.后酵温度为 4、16、25、37 °C 时,在储藏期间细菌总数分别增长了  $1.08 \times 10^2 \text{ g}^{-1}$ 、 $1.58 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ 、 $1.97 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ 、

$7.81 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ . 同样,在储藏期间,霉菌总数依次增长了  $2.94 \times 10^2 \text{ g}^{-1}$ 、 $7.93 \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ 、 $2.00 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ 、 $3.02 \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ . 后酵温度为  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  和  $16 \text{ }^\circ\text{C}$  时,细菌总数虽少,但优先考虑霉菌的生长. 霉菌的最适生长温度为  $25 \sim 28 \text{ }^\circ\text{C}$ , 最有利于腐乳风味物质的产生,低温或高温都会抑制霉菌的生长. 因此,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  为最佳后酵温度.

由此可见:将后酵 120 d 的腐乳进行辐照处理,在  $4$ 、 $16$ 、 $25 \text{ }^\circ\text{C}$  下储藏的腐乳,其 MPN 均低于国家标准. 在  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  时,霉菌总数增长最快,霉菌总数为  $2.00 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ ; 细菌总数为  $1.97 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ . 其中辐照腐乳的细菌总数和霉菌总数均低于未辐照的腐乳,且细菌总数比未辐照腐乳的减少了  $26.77\% \sim 27.12\%$ ,霉菌总数减少了  $25.11\% \sim 29.06\%$ ,这是因为辐照能有效地杀灭腐乳中的微生物,且细菌总数低于国家卫生标准.

### 2.3 辐照腐乳感官评定

取后酵 120 d 的腐乳进行  $3 \text{ kGy}$  辐照  $3 \text{ h}$ ,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  储藏 60 d, 对其进行感官评价,并与未辐照腐乳进行比较,结果见表 8.

表 8 腐乳感官评定值

Tab. 8 Sensory evaluation score of sufu

| 试样   | 组织形态/分 | 色泽/分 | 滋味、气味/分 | 总分/分 |
|------|--------|------|---------|------|
| 对照样品 | 25     | 23   | 36      | 84   |
| 辐照腐乳 | 23     | 26   | 33      | 81   |

由表 8 可以看出,辐照前后腐乳感官指标接近,且都符合国家标准,因此辐照技术具有在国内市场开发的潜能,可对其作进一步研究.

## 3 结 论

对后酵 120 d 的腐乳进行  $3 \text{ kGy}$  辐照处理  $3 \text{ h}$ , 就可以使得辐照在杀灭微生物的同时,不影响腐乳的品质.  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  后酵期间,其感官评定良好,既保持腐乳品质,又不导致腐乳的过度后酵. 储藏第 60 天时,辐照腐乳的细菌总数为  $2.09 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ ,霉菌总数为  $1.94 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$ ,均低于未辐照的腐乳,且细菌总数比未辐照腐乳的减少了  $26.77\% \sim 27.12\%$ ,霉菌总数减少了  $25.11\% \sim 29.06\%$ .

### 参考文献:

- [1] 王红涛,罗立新. 腐乳安全性研究概述[C]//第二届中国食品安全高峰论坛论文集,2010:36-38.
- [2] 王瑞芝. 中国腐乳酿造[M]. 北京:中国轻工业出版社,1998:98-105.
- [3] 李幼筠. 固态发酵调味品保鲜储存的研究[J]. 江苏调味副食品,2004,21(2):1-3.
- [4] 李幼筠. 中国腐乳的现代研究[J]. 中国酿造,2006(1):4-7.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 2711—1998 非发酵性豆制品及面筋卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社,1998.
- [6] 卢星达,汪建明. 辐照对腐乳理化指标的影响[J]. 中国食品添加剂,2011(z1):222-225.
- [7] Horn N, Martı́nenez M I, Martı́nenez J M, et al. Enhanced production of pediocin PA-1 and coproduction of nisin and pediocin PA-1 by *Lactococcus lactis*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(10): 4443-4450.
- [8] Garcia M C, Marina M L, Laborda F, et al. Chemical characterization of commercial soybean products[J]. Food Chemistry, 1998, 62(3): 325-331.
- [9] 汪建明,谷金颖. 辐照对腐乳储藏期和品质的研究[J]. 中国食品添加剂,2010(z1):100-103.
- [10] Halliwell B. Role of free radicals in the neurodegenerative disease: Therapeutic implications for antioxidant treatment [J]. Drugs Aging, 2001, 18(9): 685-716.
- [11] 汪勋清,哈利益,高美须. 食品辐照加工技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005:88-109.
- [12] 中华人民共和国卫生部. GB/T 4789.2—2010 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [13] 中华人民共和国卫生部. GB/T 4789.15—2010 食品安全国家标准食品微生物学检验霉菌和酵母计数[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB/T 4789.3—2010 食品安全国家标准食品微生物学检验大肠菌群计数[S]. 北京:中国标准出版社,2010.

责任编辑: 郎婧