

微热协同超高压处理杀灭芽孢杆菌芽孢效果的研究

高瑀珑, 鞠兴荣, 吴 定

(南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏 南京 210003)

摘 要: 采用比色法研究了微热协同超高压处理对枯草芽孢杆菌与嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的影响。结果表明, 微热协同超高压处理芽孢能够显著提高芽孢 2, 6-吡啶二羧酸(DPA)的泄漏率($p < 0.05$)。处理组 550、600MPa, 50、60、70℃作用于枯草芽孢杆菌与嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢, 破坏芽孢结构, 通透性屏障破坏, 导致 DPA 的泄漏。所泄漏的 DPA 与灭菌对照组 (121℃, 30min) 相比差异不显著($p > 0.05$), 主要是芽孢质中的 DPA。说明微热处理协同超高压杀灭枯草芽孢杆菌与嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的原因可能是其物理结构的破坏。

关键词: 超高压; 枯草芽孢杆菌; 嗜热脂肪芽孢杆菌; 芽孢; 2, 6-吡啶二羧酸(DPA)

Study on Synergetic Killing Effects of Mild Heat Treatment and High Hydrostatic Pressure on *Bacillus* Spores

GAO Yu-long, JU Xing-rong, WU Ding

(College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210003, China)

Abstract: Synergetic killing effects of mild heat and high hydrostatic pressure on *Bacillus* spores were studied with colorimetric assay. The results indicated that the rates of leakage of 2, 6-pyridinedicarboxylic acid from spores of *B. subtilis* and *B. stearothermophilus* treated with mild heat and high hydrostatic pressure are increased significantly ($p < 0.05$). Under several treatment groups (at 50, 60, 70℃ and 550, 600MPa), DPA leakage of spores of *B. subtilis* and *B. stearothermophilus* is not different strongly from control group (121℃, 30min) ($p > 0.05$), and structures of spores are destroyed completely, while permeability barriers of spores are demolished. Damage of physical structure of spores is probably the reason for the mild heat and high hydrostatic pressure-induced inactivation of spores of *B. subtilis* and *B. stearothermophilus*.

Key words: high hydrostatic pressure (HHP); *Bacillus subtilis*; *Bacillus stearothermophilus*; spore; 2, 6-pyridinedicarboxylic acid (DPA)

中图分类号: Q939.124

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)03-0059-05

芽孢(spore)又称内生孢子, 是产芽孢细菌细胞的特殊结构, 大多数产芽孢的细菌因生长环境缺乏营养或有害代谢产物积累过多时, 繁殖速度下降, 菌体的细胞原生质浓缩, 在细胞内形成一个圆形、椭圆形或圆柱形的特殊休眠体。芽孢是整个生物界抗逆性最强的生命体, 在抗热、抗化学药物、抗辐射、抗高压等方面更是首屈一指^[1-2]。

近年来, 许多研究者提出了“冷杀菌”(相对于高温杀菌而言)的概念。作为一种新型的食品超高压杀菌技术, 凭借其有效保留食品中原有营养价值、色泽和天然风味的独特作用, 使之得以广泛的应用^[3-4]。与湿

热灭菌(温度和时间组合)相比, 三维灭菌模型(压力、温度和时间组合)杀菌效果更佳^[5]。在常温下即使 800MPa 以上的超高压也难完全杀死枯草芽孢杆菌的芽孢, 但升温至 45~60℃, 加压至 600MPa 即可将其杀灭^[6-7], 同时也能够较好地保持食品的原汁、原味及营养成分。Moerman^[8]等研究发现, 50℃, 400MPa 作用 30min; 65~70℃, 250~350MPa 作用 15~20min 可达到商业灭菌的效果。

国外对于食品超高压杀菌应用方面的研究较多, 而对其杀菌机理的报道却较少^[9-11]。我们用微热协同超高压处理枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)及嗜热脂肪芽孢

收稿日期: 2006-03-31

基金项目: 财政部、农业部农业科技跨越计划资助项目(2003-13)

作者简介: 高瑀珑(1975-), 男, 讲师, 博士, 主要从事食品微生物及生物技术研究。

杆菌(*Bacillus stearothermophilus*)芽孢,探讨超高压处理对芽孢的影响,对探索超高压杀灭芽孢菌芽孢的机理具有重大意义,为其进一步在食品工业中的应用提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试剂

2,6-吡啶二羧酸(DPA) Sigma公司;磷酸二氢钠;磷酸氢二钠;乙酸;乙酸钠;抗坏血酸(VC);硫酸亚铁铵;2,6-吡啶二羧酸色测反应剂(pH5.5, 0.5mol/L乙酸钠缓冲液100ml,抗坏血酸、硫酸亚铁铵各1g);双蒸水;0.03mol/L磷酸盐缓冲液(pH7.2),用微孔薄膜过滤器过滤除菌,冷藏备用;芽孢染色液:5%孔雀绿染液、0.5%的番红染液。以上试剂皆为国产分析纯。

1.2 菌种

枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)AS1.1731、嗜热脂肪芽孢杆菌(*Bacillus stearothermophilus*)AS1.1923 中国科学院微生物所。

1.3 培养基与培养方法

营养肉汁琼脂,营养肉汁 按文献[12]配制。

固体培养基:营养肉汁琼脂(牛肉膏0.5%,蛋白胨1.0%,氯化钠0.5%,氯化锰($MnCl_2 \cdot 4H_2O$)0.001%,琼脂1.7%);液体培养基:营养肉汁(牛肉膏0.5%,蛋白胨1.0%,氯化钠0.5%);菌种经活化后,接入液体培养基,37℃,140r/min震荡培养。

1.4 枯草芽孢杆菌AS1.1731及嗜热脂肪芽孢杆菌AS1.1923芽孢悬液的制备^[13]

取第3~14代的菌种,接种于含有0.001%氯化锰的营养肉汁琼脂上。枯草芽孢杆菌于37℃培养5d,嗜热脂肪芽孢杆菌55℃培养5d,置室温1~3d,镜检芽孢达95%以上,用无菌0.03mol/L磷酸盐缓冲液(pH7.2)洗下,转入放有玻璃珠的瓶内,震荡5min。将滤液放80℃水浴中10min后,离心(5000×g,15min),取沉淀物加无菌0.03mol/L磷酸盐缓冲液(pH7.2)配成 10^6 CFU/ml芽孢悬液置4℃冰箱备用。

1.5 仪器设备

超高压机(压力范围0~800MPa) 内蒙古包头市科发高新技术有限公司;高压介质 葵二酸二辛脂;FR-900型多功能薄膜封口机 上海麦尔多食品机械有限公司;TGL-220型冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂;XW-80型旋涡混合器 上海医科大学仪器厂;Sartorius精密电子天平 北京塞多斯天平有限公司;818奥立龙酸度计 Orion Research Inc, USA;721型分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;微生物实验常规仪器。

1.6 方法

1.6.1 芽孢悬液的加热处理

将1.4节中所制备的枯草芽孢杆菌AS1.1731与嗜热脂肪芽孢杆菌AS1.1923芽孢悬液8ml加入灭菌试管中,按照试验设计的温度和时间的要求进行加热处理。

1.6.2 芽孢悬液的超高压处理

将1.4节中所制备的起始芽孢数 N_0 为 10^6 CFU/ml的枯草芽孢杆菌AS1.1731与嗜热脂肪芽孢杆菌AS1.1923芽孢悬液分装于5ml的医用无菌塑料瓶,热封口(不留顶隙),冷藏备用。按照试验设计控制高压介质温度,待样品温度与高压介质温度达到平衡后,进行超高压处理,每一样品重复5次。

1.6.3 2,6-吡啶二羧酸(DPA)的检测

方法:比色法^[14];原理:硫酸亚铁铵是测定微量2,6-吡啶二羧酸的一种很好的显色剂,在pH为4.0~6.0的范围内,同时加入还原剂抗坏血酸(VC),它与2,6-吡啶二羧酸反应,生成一种稳定的黄色复合物,在440nm处有最大吸收峰,且黄色的深浅与2,6-吡啶二羧酸浓度呈良好的线性关系。

2,6-吡啶二羧酸标准曲线的制作:配制2,6-吡啶二羧酸10.85、20.70、43.40、86.80、108.50、162.75和217.0μg/ml系列溶液各5ml,其中含1ml 2,6-吡啶二羧酸色测反应剂。在1~2h内,于721型分光光度计440nm下测定其吸光度OD值,绘制出2,6-吡啶二羧酸含量对吸光度的标准曲线。

供试样品的制备及其2,6-吡啶二羧酸含量测定^[14-17]:将1.6.2节中经超高压处理的枯草芽孢杆菌AS1.1731与嗜热脂肪芽孢杆菌AS1.1923芽孢悬液立即离心(5000×g,15min),取4ml上清液加1ml的2,6-吡啶二羧酸色测反应剂,在1~2h内,于721型分光光度计440nm下测定其吸光度OD值。按标准曲线计算出2,6-吡啶二羧酸的含量。

以1.4节中所制备的芽孢悬液作为对照组,取5ml加入试管,塞上棉塞,用台式压力蒸汽灭菌器以121℃作用30min,冷却后加入1mol/L醋酸0.1ml,室温下静置1h,离心(5000×g,15min),取4ml上清液加1ml的2,6-吡啶二羧酸色测反应剂,在1~2h内,于721型分光光度计440nm下测定其吸光度OD值。按标准曲线算出2,6-吡啶二羧酸的含量。从处理组间与对照组2,6-吡啶二羧酸含量再计算芽孢DPA的漏出率。

1.7 试验设计

试验按照单因子试验法。即只改变一种因子的水平,保持其它因子的水平不变,研究单因子作用的变化规律。对表1~4中列与行数据均采用Duncan新复极差法(SSR)进行多重比较。

1.8 统计学方法

采用JMP软件(version 4.0.5, SAS Institute Inc., 1989—2001)来建立回归模型,数据处理通过SPSS(version 10.0,

SPSS Inc.) 软件, 结果以 $\bar{X} \pm SD$ 表示, $p < 0.05$ 为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 2, 6-吡啶二羧酸标准曲线方程

利用 JMP 软件对该试验数据进行线性回归拟合, 获得吸光度对 2, 6-吡啶二羧酸的浓度线性回归方程为: $y=0.0176812+0.0027868x$, 对方程方差分析, 该方程极显著 ($p < 0.01$), 校正决定系数 (adjusted coefficient of determination) $R^2_{Adj}=0.9997$, 相关系数 (correlation coefficient) $R=0.9997$, 表明 2, 6-吡啶二羧酸在 $10.85 \sim 217.00 \mu\text{g/ml}$ 的范围内与吸光度呈良好的线性关系。

2.2 加热处理对枯草芽孢杆菌 AS1.1731 芽孢 DPA 泄漏的影响

短时间热处理可以促进芽孢发芽, 发芽速度很快, 一般仅需几分钟, 在其发芽的过程中, 特有的耐热性逐渐下降, DPA 逐渐释放。测定经不同加热处理芽孢的 2, 6-吡啶二羧酸的含量表明, 正常的枯草芽孢杆菌芽孢是不通透的。由表 1 看出: 60°C 加热 5min 未见枯草芽孢杆菌芽孢 DPA 的泄漏, 说明此时枯草芽孢杆菌芽孢是不通透的; 之后随着温度的升高, 时间的延长均可检测出 DPA 的泄漏; 5min 后, 加热处理对枯草芽孢杆菌芽孢造成一定的伤害, 从 5~30min, 不同温度处理对芽孢泄漏率的影响程度不同, 60°C 、 70°C 、 100°C 芽孢泄漏率幅度分别在 $0 \sim 14.56\%$ 、 $6\% \sim 18\%$ 、 $12\% \sim 45\%$, 表

明在此加热时间内, DPA 的泄漏不多, 与灭菌对照组 (121°C , 30min) 相比, 其差异达到极显著水平 ($p < 0.01$)。 80°C 处理 10~30min, DPA 的泄漏率与相同时间内 60°C 、 70°C 的泄漏率相比均升高, 差异达到显著水平 ($p < 0.05$)。不同温度处理 15min DPA 的泄漏率与处理 10min 相比, 提高幅度差异极显著 ($p < 0.01$)。

2.3 加热处理对嗜热脂肪芽孢杆菌 AS1.1923 芽孢 DPA 泄漏的影响

由表 2 看出: 60°C 加热 5~10min, 70°C 加热 10min 未见嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢 DPA 泄漏, 说明此时嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢是不通透的。之后随着温度的升高, 时间的延长均可检测出 DPA 的泄漏, 这说明一定温度下, 超过一定时间后, 加热处理对嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢造成一定的伤害; 从 5~30min, 不同温度处理对芽孢泄漏率产生不同程度的影响, 60°C 、 70°C 、 100°C 芽孢泄漏率幅度分别在 $0 \sim 8.34\%$ 、 $0 \sim 12.89\%$ 、 $25.14\% \sim 38.77\%$, DPA 的泄漏不多, 与灭菌对照组 (121°C , 30min) 相比, 其差异达到极显著水平 ($p < 0.01$)。 80°C 处理 5~30min, DPA 的泄漏率与相同时间内 60°C 、 70°C 的泄漏率相比均显著升高 ($p < 0.05$)。从 $60 \sim 121^\circ\text{C}$, 不同温度处理 15min DPA 的泄漏率与处理 10min 相比, 提高幅度差异显著 ($p < 0.05$)。

2.4 加热协同超高压处理 15min 对枯草芽孢杆菌 AS1.1731 芽孢 DPA 泄漏的影响

由表 3 看出: 不同压力、温度协同组合处理对枯

表 1 加热处理对枯草芽孢杆菌 AS1.1731 芽孢 DPA 泄漏的影响 ($n=5$)
Table 1 Effects of heat treatment on DPA leakage of spores of AS1.1731 ($n=5$)

处理时间 (min)	枯草芽孢杆菌 (AS1.1731) 2, 6-吡啶二羧酸的泄漏量 ($\mu\text{g/ml}$)					
	处理温度 ($^\circ\text{C}$)					
	60	70	80	90	100	121
5	0	5.26 ± 1.05^a	6.31 ± 1.44^{ab}	7.85 ± 1.92^{ab}	10.25 ± 2.85^a	64.24 ± 2.07^b
10	5.06 ± 1.02^b	9.65 ± 1.23^a	13.26 ± 1.01^d	15.87 ± 1.58^e	28.58 ± 2.61^c	71.24 ± 2.07^b
15	9.26 ± 1.18^b	12.36 ± 1.01^c	16.64 ± 1.09^b	20.56 ± 1.33^f	35.65 ± 2.54^{de}	84.25 ± 3.28^a
20	11.15 ± 2.01^b	14.26 ± 2.60^c	19.47 ± 1.66^e	24.21 ± 1.47^f	35.89 ± 3.55^{de}	84.64 ± 3.45^a
25	12.21 ± 2.31^b	15.26 ± 2.65^c	21.02 ± 2.61^e	27.32 ± 2.47^{gf}	37.98 ± 2.78^{de}	84.28 ± 2.90^a
30	12.32 ± 2.45^b	15.29 ± 2.54^c	23.09 ± 3.11^e	29.34 ± 2.87^g	38.09 ± 2.54^{de}	84.34 ± 3.01^a

注: 项目数据没有共同上标字母者差异显著, $p < 0.05$ 。

表 2 加热处理对嗜热脂肪芽孢杆菌 AS1.1731 芽孢 DPA 泄漏的影响 ($n=5$)
Table 2 Effects of heat treatment on DPA leakage of spores of AS1.1731 ($n=5$)

处理时间 (min)	嗜热脂肪芽孢杆菌 (AS1.1923) 2, 6-吡啶二羧酸的泄漏量 ($\mu\text{g/ml}$)					
	处理温度 ($^\circ\text{C}$)					
	60	70	80	90	100	121
5	0	0	6.17 ± 1.14^A	10.15 ± 1.14^b	18.22 ± 2.15^{cd}	60.59 ± 3.11^E
10	0	5.56 ± 1.19^A	9.09 ± 1.30^b	13.65 ± 1.32^c	20.14 ± 1.47^{cd}	63.21 ± 2.32^E
15	5.12 ± 0.96^A	8.31 ± 1.10^b	12.98 ± 1.47^c	16.48 ± 1.48^d	25.45 ± 2.42^e	69.42 ± 2.11^a
20	5.48 ± 1.03^A	8.47 ± 1.11^b	12.44 ± 1.30^c	16.58 ± 2.56^{cd}	27.14 ± 3.11^e	71.36 ± 2.87^a
25	5.69 ± 0.69^A	9.21 ± 1.45^b	12.54 ± 1.04^c	17.74 ± 2.45^{cd}	27.86 ± 3.54^e	72.15 ± 2.2^a
30	6.04 ± 1.04^A	9.34 ± 1.25^b	12.99 ± 1.37^c	18.26 ± 1.17^{cd}	28.09 ± 2.67^e	72.45 ± 2.39^a

注: 项目数据没有共同上标字母者差异显著, $p < 0.05$ 。

表3 加热协同超高压处理 15min 对枯草芽孢杆菌 AS1.1731 芽孢 DPA 泄漏的影响(n=5)
Table 3 Effects of the combination of heat treatment with HHP on DPA leakage of spores of AS1.1731 in 15min(n=5)

处理温度(℃)	枯草芽孢杆菌(AS1.1731)芽孢2,6-吡啶二羧酸的泄漏量(μg/ml)						
	压力(MPa)						
	300	350	400	450	500	550	600
20	5.54±1.03	8.35±1.18	10.24±1.37	21.46±1.24	31.24±2.24	37.41±2.14	40.14±3.90
30	7.44±1.01	10.44±1.47	16.48±2.69	25.25±1.57	38.40±2.19	41.92±3.66	54.32±4.10
40	8.49±1.31	15.47±1.24	20.17±2.14	30.29±2.51	44.37±2.45	57.30±5.40	73.21±4.57
50	13.31±1.01	19.87±1.52	27.08±2.48	37.44±2.59	51.08±2.97	81.38±4.25 ^A	81.94±5.11 ^A
60	18.44±1.08	27.12±2.19	30.18±1.14	41.67±3.50	63.87±3.98	81.25±3.09 ^A	83.19±4.75 ^A
70	25.35±2.30	30.15±2.21	33.14±2.18	54.63±4.15	70.18±5.04	82.54±4.50 ^A	83.21±2.11 ^A

注：项目数据没有共同上标字母者差异显著， $p < 0.05$ 。

表4 加热协同超高压处理 15min 对嗜热脂肪芽孢杆菌 AS1.1923 芽孢 DPA 泄漏的影响(n=5)
Table 4 Effects of the combination of heat treatment with HHP on DPA leakage of spores of AS1.1923 in 15min(n=5)

处理温度(℃)	嗜热脂肪芽孢杆菌(AS1.1923)芽孢2,6-吡啶二羧酸的泄漏量(μg/ml)						
	压力(MPa)						
	300	350	400	450	500	550	600
20	7.21±1.01	10.27±1.29	18.24±1.99	24.15±2.09	31.25±3.45	40.14±3.59	45.25±4.15
30	9.34±1.09	15.18±2.29	20.18±2.66	29.03±3.21	40.32±3.44	50.17±4.18	54.28±1.59
40	14.34±1.56	20.17±2.10	27.26±1.20	39.47±3.47	47.30±3.69	60.35±4.15	64.37±3.47
50	19.68±2.14	29.48±2.58	38.29±1.49	45.16±13.28	56.21±3.69	69.21±2.17 ^K	70.64±2.10 ^K
60	24.24±2.57	33.25±2.34	40.25±2.59	50.24±4.01	65.21±2.54	71.00±4.21 ^K	71.23±2.64 ^K
70	34.19±2.21	37.33±2.58	44.29±2.16	57.19±2.99	68.44±3.49	71.59±3.59 ^K	72.10±3.45 ^K

注：项目数据没有共同上标字母者差异显著， $p < 0.05$ 。

草芽孢杆菌芽孢 DPA 泄漏的影响程度不同。不同压力，50、60℃芽孢 DPA 的泄漏率幅度在 15.72%~96.81%、21.78%~98.28%，极显著高于 60℃(见表 1)加热处理 15min 的泄漏率 10.94%($p < 0.01$)。处理组 550、600MPa，50、60、70℃作用于枯草芽孢杆菌芽孢，DPA 的泄漏与灭菌对照组相比(见表 1，121℃，30min)差异不显著($p > 0.05$)，同时将此处理组的芽孢接种在营养肉汁中与营养肉汁琼脂培养基上培养，未发现其生长。这说明 50、60、70℃加热协同 550、600MPa 超高压处理可能破坏了芽孢的结构，通透性提高，DPA 泄漏，导致枯草芽孢杆菌芽孢死亡。

2.5 加热协同超高压处理 15min 对嗜热脂肪芽孢杆菌 AS1.1923 芽孢 DPA 泄漏的影响

由表 4 看出：不同压力、温度组合处理对嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢 DPA 泄漏的影响程度不同。不同压力，50、60℃芽孢 DPA 的泄漏量极显著高于 60℃(见表 2)加热处理 15min 的泄漏($p < 0.01$)。处理组 550、600MPa，50、60、70℃作用于嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢，DPA 的泄漏与灭菌对照组相比(见表 2，121℃，30min)差异不显著($p > 0.05$)，同时也将此处理组的芽孢接种在营养肉汁中与营养肉汁琼脂培养基上培养，未发现其生长，这说明经适当条件的加热协同超高压处理后能够起到杀灭嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的作用，这对于超高压杀菌在食品工业上的应用具有重要的指导意义。

3 讨论

3.1 芽孢的结构

皮层(cortex)占芽孢体积 36%~60%，其内含有占芽孢干重 7%~10% 的 2,6-吡啶二羧酸(DPA)，皮层的渗透压为 2.0MPa 左右，含水量 70%，略低于营养细胞(80%)，但比芽孢整体的平均含水量(40%)高出许多。芽孢的核心又称芽孢原生质体，由芽胞壁、芽胞质膜、芽胞质和核区四部分组成，它的含水量很低(10%~25%)，芽孢质内含有芽孢干重 90%~93% 的 DPA，因而特别有利于抗热、抗高压、抗化学药物、抗辐射^[1]。DPA 是在芽孢形成过程中产生的营养细胞所没有的特殊物质^[1]，因此本研究选用 DPA 作为芽孢泄漏的指标。

3.2 加热对芽孢 DPA 泄漏的影响

试验表明，不同的温度处理条件对枯草芽孢杆菌和嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢影响不同。60℃加热 5min 未见枯草芽孢杆菌芽孢 DPA 的泄漏，60℃加热 5~10min，70℃加热 10min 未见嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢 DPA 泄出，因正常的枯草芽孢杆菌芽孢是不通透的，所以上述处理条件不能引起芽孢通透性屏障的损坏。随着温度的升高，时间的延长，芽孢的 DPA 有少量漏出，但 DPA 的泄漏不多，仅占其含有总量的少部分，与灭菌对照组(121℃，30min)相比，差异达到极显著水平($p < 0.01$)，其通透性屏障只是遭到轻微的损坏。

加热处理可能使孢外壁、芽胞衣的脂蛋白疏水性角

蛋白变性,破坏了皮层中的肽聚糖,由此推测,低于100℃的热处理使芽孢所泄漏的DPA可能主要是皮层的DPA。

3.3 加热协同超高压处理芽孢DPA泄漏的影响

加热协同超高压处理芽孢能够显著提高芽孢DPA的泄漏。处理条件550、600MPa,50、60、70℃作用于枯草芽孢杆菌与嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢,DPA的泄漏与灭菌对照组相比差异不显著($p > 0.05$),因此可以推测,适度加热协同超高压灭菌能够破坏芽孢结构,可能导致通透性屏障受损,芽孢物理结构的破坏,从而引起芽孢DPA的泄漏,所泄漏的DPA主要是芽孢质中的DPA,此工作我们还在研究之中。

另外,对于超高压的作用下芽孢的超微结构、酶活性的变化及化学组成的影响,超高压的作用下芽孢的灭活机理,相关工作我们将作进一步的报道。

参考文献:

- [1] 沈萍. 微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 51-57.
- [2] 杨洁彬, 李淑高, 张璇, 等. 食品微生物学[M]. 2版. 北京: 中国农业大学出版社, 1995: 18-20.
- [3] GAO Yu-long, JIANG Han-hu. Optimization of inactivation conditions of high hydrostatic pressure using response surface methodology[J]. Agricultural Science in China, 2004, 3(7): 528-534.
- [4] TRUJILLO A J, CCPELLAS M, SALDO J, et al. Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2002, 3(4): 295-307.
- [5] SMELT J P P M. Recent advances in the microbiology of high pressure processing[J]. Trends in Food Science and Technology, 1998(9): 152-158.
- [6] STEWART C M, DUNNE C P, SIKES A, et al. Sensitivity of spores of *Bacillus subtilis* and *Clostridium sporogene* PA 3679 to combinations of high hydrostatic pressure and other processing parameters[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2000(1): 49-56.
- [7] HOOVER D G. Minimally processed fruits and vegetables: reducing microbial load by nonthermal physical treatments[J]. Food Technology, 1997, 51: 66-71.
- [8] MOERMAN F, MERTENS B, DEMEY L, et al. Reduction of *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus* and *Streptococcus facialis* in meat batters by temperature-high hydrostatic pressure pasteurization[J]. Meat Science, 2001, 59: 115-125.
- [9] WOUTERS P C, GLAASKER E, SMELT, J P P M. Effects of high pressure on inactivation kinetics and events related to proton efflux in *Lactobacillus plantarum*[J]. Appl Environ Microbiol, 1998, 64: 509-514.
- [10] SPILIMBERGO S, ELVASSORE N, BERTUCCO A. Microbial inactivation by high-pressure[J]. Journal of Supercritical Fluids, 2002, 22: 55-63.
- [11] LINTONA M, MCCLEMENTS J M J, PATTERSON M F. Inactivation of pathogenic *Escherichia coli* in skimmed milk using high hydrostatic pressure[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2001(2): 99-104.
- [12] 周宇光. 菌种目录[M]. 3版. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 230.
- [13] 王有森, 王云峰, 白竞玉. 消毒技术规范[S]. 北京: 卫生部, 1991: 83-89.
- [14] JANSSEN F W. Colorimetric assay for dipicolinic acid in bacterial spores[J]. Science, 1957, 127: 26-27.
- [15] 张朝武, 刘衡川, 刘湘民, 等. 典伏对蜡状杆菌芽孢杀灭机理的研究[J]. 中国消毒学杂志, 1991, 8(2): 69-74.
- [16] 李荣芬, 李素卿. 微波杀菌机理的研究: 对细菌通透性影响的观察[J]. 中国消毒学杂志, 1995, 12(3): 129-131.
- [17] 刘怀田, 李荣芬. 紫外线与乙醇协同对枯草杆菌黑色变种芽孢杀灭机理的初步研究[J]. 中国消毒学杂志, 1994, 11(4): 197-204.



信息

食用黄烷醇类食物可以提高大脑能力

来自诺丁汉大学的科学家发现,食用巧克力等食物能使头脑变得更敏锐,并且能使认知能力得到短期的提高。

由 Ian Macdonald 教授领导的研究小组发现,食用富含黄烷醇的可可饮料能促进大脑一些重要区域的血流速度达2~3h,黄烷醇是黑巧克力的一种主要成分。而大脑中一些特定区域的血流增加能帮助提高大脑能力,以及在短时间内使人变得更敏锐。

这一结果在美国最大型的科学会议上公布,它同时预示着巧克力中的某些成分可望帮助用来治疗血管损伤类疾病,包括痴呆和中风等。研究还发现,巧克力中的可可黄烷醇能帮助人们对抗疲倦、失眠、甚至是衰老的症状。Ian Macdonald 是代谢生理学的教授,他利用核磁共振检测了服用富含黄烷醇的可可饮料的人脑部特定区域活动的增加情况。其中的机制主要是脑部血管扩张,血流变多,因此带来的氧气也更多。

科学家还发现黄烷醇不仅存在于巧克力中,而且出现在其它食物如红酒、绿茶和蓝莓里。Macdonald 将结果在 AAAS 的年度大会上公布,这是来自世界各地科学家的年度大会。他说:“这些富含黄烷醇的可可摄入能提高脑部灰质区域血流达2~3h。以上研究结果证明了特定食物对于脑部血流速度的影响,并且这能提高大脑的功能,对于治疗认知损伤导致的疲劳、失眠、衰老等症状有着一定的效果。”