

不同处理方式下毛竹笋发酵过程中质地变化分析

李梅,卜孟军,崔洋,龚佳,肖梅,吴月,苏曼文,胡永正,李明元,丁文武*

(西华大学 食品与生物工程学院,四川 成都,610039)

摘要 为了评价发酵对毛竹笋食用品质的影响,研究了不同处理方式下毛竹笋在发酵过程中其质构、微观结构和色泽的变化。结果表明:不同处理方式下,毛竹笋的硬度、脆性、凝聚性等质构特性显著下降,不同发酵方式对硬度、脆性、凝聚性等影响较大,而对弹性和回复性的影响不明显;4种处理方式中,以漂烫乳酸菌发酵竹笋保鲜效果最好,以该法保藏63 d之后,毛竹笋硬度、脆性、凝聚性、咀嚼性、弹性和回复性分别为:67.87 N,77.68 N,0.302,6.61 N,0.345,0.511,损失相对较小;通过扫描电镜观察竹笋的微观结构发现,毛竹笋在发酵之后,其薄壁细胞组织出现明显的皱缩,细胞间隙增加;其中漂烫乳酸菌发酵竹笋样品细胞结构保持较为完整;经过不同处理以后,毛竹笋色泽变化较明显,总色差 $\Delta E > 2$,其中漂烫乳酸菌发酵竹笋样品色差最小为8.71,具有较好的护色效果;综合评价发现,漂烫乳酸菌发酵较其他3种方式更能有效保持毛竹笋的质构特性,护色效果最佳。

关键词: 毛竹笋;不同处理方式;发酵;质构;微观结构;色泽

竹笋是禾本科多年生植物竹子的嫩茎,其色泽淡黄,滋味鲜美,口感独特,是很多国家的传统菜肴,尤其畅销于日本、加拿大和韩国等地^[1]。研究表明竹笋富含多种营养物质及生物活性物质,具有辅助降血压、血糖以及抗菌、抗氧化等多种生理功能^[2-4],然而采后竹笋在常温下贮藏极易发生褐变和木质化,进而影响其食用品质,因此采用合理的加工保鲜措施对竹笋产业发展具有非常重要的意义。目前最常见的加工贮藏方式主要包括:糖渍、腌制、冷冻、发酵以及液体涂膜处理等^[5],不同的保鲜贮藏方式对竹笋的质地有着不同的影响。发酵处理作为一种重要的蔬菜加工方式,不仅能够达到蔬菜保鲜的目的,还能改善蔬菜制品的色泽、质构、风味和营养成分的变化等^[6],其中质构、色泽和微观结构是评价竹笋等蔬菜保鲜效果的重要指标^[7],也是影响其市场价值的主要因素。

近年来,研究者对腌制或糖渍加工过程中的马铃薯^[8]、黄瓜^[9-10]、胡萝卜^[11]、李子^[12]等多种果蔬的质构和色泽等质地指标变化做了一定的研究,并取得了较好的研究成果,但是对毛竹笋发酵过程中的质地变

化研究却鲜有文献报道,因此本课题选用国内竹笋中最常见、产量最大的毛竹笋做为研究对象,研究不同处理方式下,毛竹笋的质构特性、色泽以及微观结构等质地指标随发酵时间的变化,以便为发酵保鲜竹笋提供理论依据,为蔬菜保鲜提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

毛竹春笋,采自宜宾市长宁县蜀山食品有限公司毛竹笋种植基地。

食盐、白砂糖,购于成都市郫县红光市场;乳酸菌粉,四川省食品发酵与设计研究院提供;戊二醛、无水乙醇、丙酮、磷酸二氢钾,均为分析纯,成都市迪维乐普科技有限公司。

1.2 仪器与设备

TA-XT2i 质构分析仪,英国 SMS 公司;日立 S-3400N 扫描电镜,日本 Hitachi 公司;UltraScan PRO 测色仪,美国 Hunter Lab 公司。

1.3 方法

1.3.1 毛竹笋发酵

挑选无破损、新鲜、色泽较好、笋龄和大小相对一致的新鲜竹笋,洗净去掉两端,取竹笋中部,将其切分为4 cm×3 cm×3 cm的块状,部分用100℃热水漂烫60 s,其余不做处理,然后分别按以下方式进行处理。

(1)自然发酵:准确称取400 g漂烫或未漂烫的竹笋装入含有40 g/L食盐和40 g/L蔗糖溶液中于25~30℃条件下自然发酵,同时做1个平行,其中竹

第一作者:硕士研究生(丁文武副教授为通讯作者,E-mail:swgc@mail.xhu.edu.cn)。

基金项目:四川省科技厅支撑项目(2016KZ0080,2015NZ0007,2014NZ0132);四川省教育厅项目(15ZB0126);西华大学校重点科研基金项目(zl420523);西华大学大学生创新创业训练项目(201510623097);四川省高校重点实验室开放项目(szzjz015-001);西华大学研究生创新基金(yzjj2016147)

收稿日期:2017-03-20,改回日期:2017-04-20

笋和发酵液的料液比为 1:2(g:mL)。

(2) 乳酸菌发酵: 发酵方法同自然发酵处理, 不同之处在于发酵液中加入 50 g/L 活化后的乳酸菌悬液。

自然发酵是利用笋体表面复杂的微生物进行发酵, 具有不可控性; 乳酸菌发酵由于接入优势乳酸短杆菌, 能在一定程度上抑制其他菌的活动, 能加速发酵过程, 不同的发酵方式是影响发酵效果的主要因素。

1.3.2 质构测定

TPA 质构测试又被称为两次咀嚼测试, 主要是通过模拟人口腔的咀嚼运动, 对固体、半固体样品进行两次压缩, 测试与微机链接, 通过界面输出质构测试曲线, 从中可以分析质构特性参数, TPA 质构测试的项目主要包括: 脆性、硬度、黏性、弹性、凝聚性、咀嚼性、回复性等, 测试方法测定参考文献[13-14]进行, 具体测定方式如下: 利用 TA-XT2 质构仪采用 TPA 多面分析模式对竹笋样品进行 2 次压缩来模拟食品质地的感官评价, 测试过程中将样品切成 1 cm × 2 cm × 1 cm 的立方体, 然后将样品置于质构仪 P36R 探头下进行测试, 测试参数如下: 测前速率 2.0 mm/s, 测试速率 1.0 mm/s, 测后速率 1.0 mm/s; 压缩量 40%; 中间停顿时间 5.0 s; 数据采集速率 400 pps; 触发值 10.0 g; 每个样品重复测定 6 次, 取平均值。

1.3.3 微观结构测定

毛竹笋微观结构的测定参考 HARKER^[15] 对苹果微观结构的测定方法, 并在此基础上加以改进, 具体测试方法如下:

(1) 样品固定: 将毛竹笋样品切成 1 cm × 1 cm × 1 cm 的立方体规格大小, 处理前用 pH7.26 的磷酸缓冲液清洗 3 次, 每次 15 min; 然后置于适量体积分数为 2.5% 的戊二醛溶液中于 4 ℃ 固定 16 h;

(2) 乙醇脱水: 固定后用磷酸缓冲液清洗 3 次, 以梯度乙醇溶液(体积分数为 30%、50%、70%、95%) 脱水, 每次脱水时间为 15 min, 最后用 100% 无水乙醇脱水处理 30 min;

(3) 丙酮置换及干燥: 置换方式同乙醇脱水方法, 处理完后进行真空干燥;

(4) 样品观测: 干燥后的样品置于钢架上进行喷金镀膜, 电流: 5 mA, 电压: 1 100 ~ 1 200 V, 时间 2 ~ 3 min; 于扫描电镜下观测样品的微观结构。

1.3.4 色泽测定

麻竹笋的色泽测定参照文献[16]进行。测试前

首先将样品切成 1 cm × 2 cm × 1 cm 的立方体, 然后再用色差仪在室温避光条件下进行色泽测定。测定时色泽的代表参数主要有: 亮度值 L^* (表示亮度的综合值, 从 0 到 100 表示从黑到白, 亮度逐渐增加)、红绿值 a^* (为正值时, 其值越大越接近纯红色; 负值时, 绝对值越大越接近纯绿色)、黄蓝值 b^* (为正值时, 其值越大越接近纯黄色; 其值为负值时, 绝对值越大越接近纯蓝色)。总色差按公式(1)计算:

$$\Delta E = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_{00})^2 + (b^* - b_{00})^2]^{1/2} \quad (1)$$

1.4 数据分析

采用 Excel 和 Origin (Version 9.0) 等软件对实验数据进行处理与分析以及相关图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 毛竹笋在发酵过程中质构特性的变化

2.1.1 发酵处理对毛竹笋硬度的影响

不同处理方式对毛竹笋发酵过程中的硬度影响如图 1 所示。从图 1 可以看出, 虽然处理方式不同, 但是毛竹笋的硬度都随发酵时间延长而逐渐下降; 据有关研究^[17], 发酵过程中, 竹笋硬度的变化与发酵液中的总酸含量、乙醇不溶物含量、微生物对竹笋的作用以及竹笋中果胶含量等多种因素有关, 如发酵过程中竹笋中的原果胶会逐渐从样品中溶出到发酵液中, 便会使其硬度降低。采取漂烫自然发酵处理的竹笋样品硬度下降最大, 由最初的 167.3 N 下降到 64.4 N, 下降率高达 61.5%; 而采取未漂烫乳酸发酵处理的样品下降率最少为 52.2%, 说明采用未漂烫乳酸发酵有利于保持毛竹笋的硬度; 此外, 采用自然发酵和乳酸菌发酵竹笋样品硬度分别平均下降了 58.2% 和 51.5%, 乳酸菌发酵样品硬度比自然发酵少下降 6.7%; 漂烫和未漂烫处理竹笋样品硬度分别平均下降了 59.1% 和 56.1%, 未漂烫竹笋样品比漂烫处理的样品硬度稍高; 由此可以看出, 采用不漂烫处理经乳酸菌发酵更有利于毛竹笋硬度的保持, 造成这种现象的原因可能是, 漂烫会引起细胞组织结构膨胀造成硬度降低, 向发酵液中接种乳酸菌, 增加了乳酸菌的初始数量, 有利于乳酸菌的迅速繁殖, 并成为发酵液中的优势菌群, 从而抑制了发酵液中其他微生物的生长繁殖, 进而使产生分解竹笋细胞结构的相关酶量有所降低, 因而竹笋细胞结构遭到破坏的程度也随之降低^[18]。

从以上分析可以得到, 漂烫处理并不能很好的保持毛竹笋的硬度, 且漂烫处理也增加了工艺的复杂性

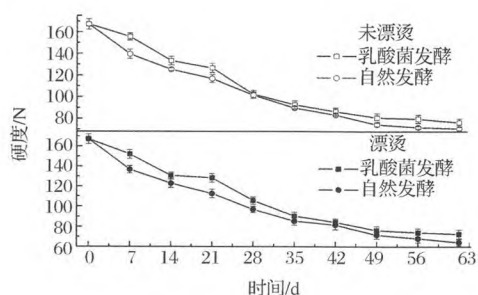


图1 毛竹笋发酵过程中硬度的变化

Fig. 1 Change in hardness of bamboo shoots during fermentation

和成本,因此,采取不漂烫直接接种乳酸菌发酵的处理方式,更有利于保持竹笋的硬度,且可以简化工艺,并降低生产本。

2.1.2 发酵处理对毛竹笋脆性的影响

发酵过程中毛竹笋的脆性变化如图2所示。从图2可以看出,竹笋的脆性随着发酵时间的延长而逐渐下降,其中,发酵前21 d竹笋的脆度下降速度较快,之后下降速度减慢逐渐趋于平缓。此外,对比漂烫和非漂烫样品发现,其脆度平均下降率分别为36.4%和32.2%;自然发酵和乳酸菌发酵样品的脆度平均下降率分别为40.3%和30.2%;说明是否漂烫处理对竹笋的脆性影响不明显,而经过乳酸菌发酵处理更能有效保持竹笋的脆性,其中未漂烫乳酸菌发酵样品脆度值最高为87.5 N。

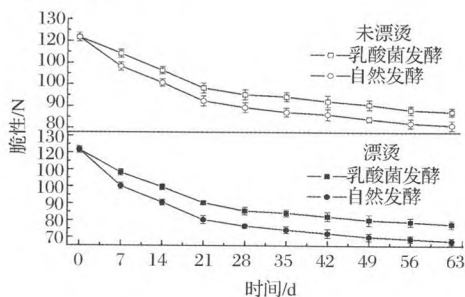


图2 毛竹笋发酵过程中脆性的变化

Fig. 2 Change in fragility of bamboo shoots during fermentation

据文献报道,竹笋的脆性主要与细胞的膨压有密切关系^[19]。当竹笋细胞失水导致细胞膨压降低时,其脆性会随之降低;试验采用适宜的盐浓度进行发酵处理,使得发酵液与竹笋细胞液之间形成渗透压,能够在一定范围内稳定和保持竹笋细胞的膨压,从而减缓竹笋脆性的下降速度;因此,竹笋样品的脆性会在某个时间段下降到极值,最后逐渐趋于平衡。

此外,竹笋的脆性还与细胞壁的原果胶含量呈正相关^[19],在采用乳酸菌进行发酵处理时,乳酸菌与其

微生物形成竞争性抑制作用,乳酸菌较强的代谢活动能够抑制发酵环境中其他微生物的生长繁殖,从而减少果胶酶类的分泌,在一定程度上保持发酵竹笋的脆性;漂烫可能会引起毛竹笋细胞内原果胶发生不同程度的降解(漂烫处理会在一定程度上破坏细胞结构,加快胞内果胶酶的溶出和不同程度的降解,因而造成竹笋脆性的下降)^[19];因此,在发酵过程中,乳酸菌发酵处理的竹笋样品脆度值明显高于自然发酵的样品,未漂烫处理的竹笋样品脆性高于漂烫竹笋样品。故采取不漂烫经乳酸菌发酵的处理方式,更有利于保持竹笋的脆性。

2.1.3 发酵处理对毛竹笋凝聚性、咀嚼性的变化

不同处理方式对毛竹笋发酵过程中凝聚性和咀嚼性的变化如图3和图4所示。

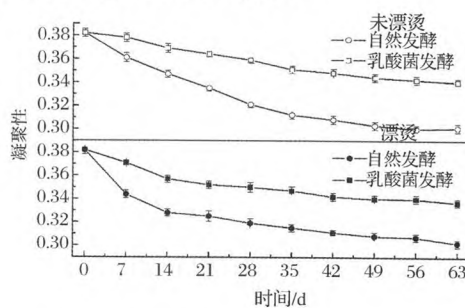


图3 毛竹笋发酵过程中凝聚性的变化

Fig. 3 Change in cohesiveness of bamboo shoots during fermentation

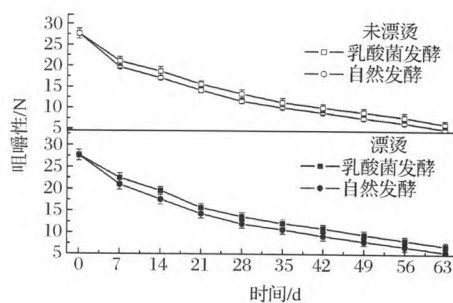


图4 毛竹笋发酵过程中咀嚼性的变化

Fig. 4 Change in chewiness of bamboo shoots during fermentation

由图3和图4可以看出,不同处理方式下,毛竹笋的凝聚性和咀嚼性都随发酵时间延长逐渐下降,其中未漂烫乳酸菌竹笋样品凝聚性和咀嚼性下降率最小分别为11.1%和75.8%;此外,对比漂烫和非漂烫样品发现,其凝聚性平均下降率分别为16.5%和16.0%,咀嚼性平均下降率分别为79.7%和78.0%,结果表明是否漂烫处理对毛竹笋的凝聚性和咀嚼性

影响不大;而自然发酵和乳酸菌发酵样品的凝聚性平均下降率分别为 21.05% 和 11.05%,咀嚼性平均下降率分别为 81.0% 和 76.5%。竹笋的凝聚性和咀嚼性与其硬度存在一定的相关性^[20],长期发酵贮藏使其硬度降低将导致竹笋的凝聚性和咀嚼性下降。漂烫处理使得竹笋质地变软,不耐咀嚼,其凝聚性也随之降低;而乳酸菌发酵处理能够有效改变发酵液的微生物组成,抑制有害杂菌的生长代谢,从而减缓竹笋硬度的丢失^[16],故使得发酵竹笋的凝聚性和咀嚼性下降程度较为缓慢。结果显示,漂烫处理后竹笋的凝聚性和咀嚼性略低于未漂烫处理的竹笋;采用乳酸菌发酵能较好地保持竹笋的凝聚性和咀嚼性,说明毛竹笋不经漂烫处理直接采用乳酸菌发酵能更加有效地保持竹笋的凝聚性和咀嚼性。

2.1.4 发酵处理对毛竹笋弹性及回复性的影响

不同处理方式对毛竹笋发酵过程中弹性的影响如图 5 所示。

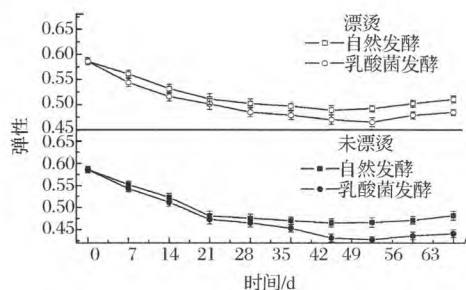


图 5 毛竹笋发酵过程中弹性的变化

Fig. 5 Change in springiness of bamboo shoots during fermentation

由图 5 可知,4 种不同处理方式下,毛竹笋样品的弹性发酵前 42 d 都呈下降趋势,随后略有上升的趋势。发酵中后期,弹性呈现小幅度上升是因为发酵液向毛竹笋细胞内扩散,使得细胞含水量增加,渗透压达到平衡,细胞结构得到不同程度的恢复。对比漂烫和非漂烫样品发现,其弹性平均下降率分别为 15.3% 和 17.3%,自然发酵和乳酸菌发酵样品的弹性平均下降率分别为 13.5% 和 16.1%,说明不同处理方式对毛竹笋在发酵过程中弹性的影响不明显;其中漂烫自然发酵对毛竹笋的弹性影响最小,说明漂烫能使竹笋质地变软,使竹笋肉质更富有弹性,可能是热烫处理会使蛋白质变性,降低竹笋肌纤维弹性;自然发酵竹笋样品弹性高于乳酸菌发酵竹笋样品,说明乳酸菌能够保持竹笋的硬度,使其弹性低于自然发酵,与 2.1.1 结果一致。从以上分析可以得出,漂烫处理对

毛竹笋的弹性影响较小,乳酸菌发酵也不能改善竹笋发酵过程中的弹性,因此,应综合其他质构指标选择更有利于保持竹笋品质的处理方法。

不同处理方式对毛竹笋发酵过程中回复性的影响如图 6 所示,4 个竹笋样品的回复性随着发酵时间的延长均呈下降趋势,但每个样品之间回复性差异不大,而且其回复性随着时间的变化也并不明显,4 种处理方式下毛竹笋样品的回复性分别降低了 16.5%、17.1%、15%、14.2%。TPA 测试时,压缩程度和压缩速率对竹笋样品的回复性和弹性具有极为显著的影响^[21]。可能在 TPA 测试时,采用 40% 的压缩程度,1.0 mm/s 的压缩速率,对毛竹笋样品组织结构造成了一定的破坏,使得其回复性数值较小,变化也不明显,但在上述测试条件下对毛竹笋的其他只够特性测试效果好,因此,在进一步分析竹笋样品的回复性随发酵时间的变化时可以考虑调整测试速率以及压缩程度等参数条件,深入探究 TPA 测试参数对竹笋样品质构的影响。

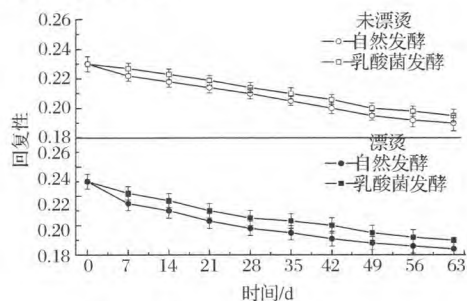


图 6 毛竹笋发酵过程中回复性的变化

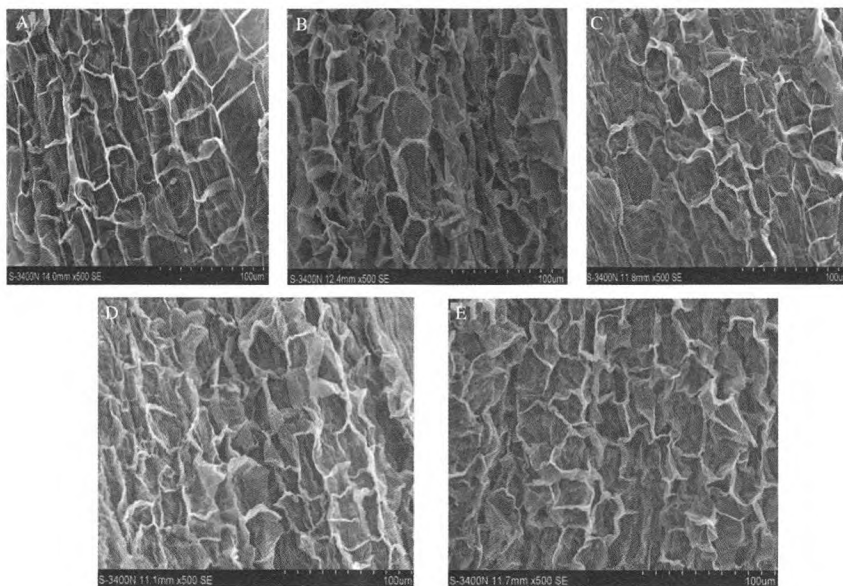
Fig. 6 Change in resilience of bamboo shoots during fermentation

2.2 毛竹笋在发酵过程中微观结构的变化

不同处理方式对毛竹笋微观结构的影响结果如图 7 所示。从图 7 可以看出,新鲜毛竹笋(图 A)横切面的薄壁细胞排列规则,细胞间隙较小,细胞壁结构呈致密排列。通过发酵处理之后的毛竹笋(图 B - 图 E)薄壁组织细胞都表现出形状不规则而且出现明显皱缩,细胞间隙增加,细胞出现破损;其中以漂烫自然发酵竹笋样品(图 D)细胞结构变化最为明显;漂烫(图 D、图 E)较不漂烫(图 B、图 C)发酵竹笋样品细胞结构变化大,但不明显;可能原因是热烫处理引起竹笋薄壁组织细胞间果胶多糖发生分解导致细胞间的附着力减弱。乳酸菌发酵(图 C、图 E)较自然发酵(图 B、图 D)能够较好地保持竹笋薄壁细胞的完整性以及紧密性,其可能原因是乳酸菌发酵能够有效改变发酵环境,与其他微生物形成竞争性抑制作用,从而

降低能够分解细胞组织的酶量^[22],减缓薄壁细胞组织中果胶多糖的减少速度,以保持竹笋细胞结构的完

整性。因此,未漂烫乳酸菌发酵能够较好地保持竹笋细胞的完整性,这与竹笋硬度变化的结果一致。



A - 新鲜毛竹笋; B - 未漂烫自然发酵竹笋样品; C - 未漂烫乳酸菌发酵竹笋样品; D - 漂烫自然发酵竹笋样品;
E - 漂烫乳酸菌发酵竹笋样品

图7 毛竹笋各样品电镜扫描结构(×500)

Fig. 7 The electron microscopic scanning structure of bamboo shoots(×500)

2.3 毛竹笋在发酵过程中色泽的变化

不同处理方式对毛竹笋色泽的影响结果如图8和表1所示,由图8可以看出,经过发酵处理之后,毛竹笋的亮度综合值、绿值均有不同程度的下降,而竹笋的黄度值有所增加;其中毛竹笋的综合亮度值、绿值在发酵前21 d急剧下降,随后呈现缓慢变化的趋势,而毛竹笋的黄色度变化正好相反,说明不同处理方式下毛竹笋在发酵至21 d之前色泽变化较明显,

原因可能是发酵前21 d发酵液中微生物迅速繁殖使得发酵环境中pH值快速降低,进而加快竹笋色泽变化的速率,其中漂烫乳酸菌发酵护色效果最好;随着发酵时间的延长不同处理方式对毛竹笋色泽影响逐渐减弱。由表1可以看出,毛竹笋经漂烫后采用乳酸菌发酵处理63 d之后色泽变化最小为8.17,说明经过漂烫之后乳酸菌发酵较其他3种处理方式更能有效保持毛竹笋的综合色度,进而达到护色的目的。

表1 毛竹笋鲜样和发酵第63天样品的色泽对比($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 1 Color of fresh and fermented bamboo shoots after 63 days($\bar{x} \pm s, n=3$)

样品	综合亮度	绿度	黄度	ΔE
鲜样	81.82 ± 0.66^a	-1.99 ± 0.07^a	12.55 ± 1.23^a	0
漂烫乳酸菌发酵	73.84 ± 1.23^b	-1.35 ± 0.17^a	15.48 ± 1.13^a	8.71
未漂烫自然发酵	64.84 ± 1.08^b	-1.75 ± 0.11^a	14.32 ± 0.84^a	14.16
未漂烫乳酸菌发酵	72.09 ± 1.12^b	-1.47 ± 0.09^a	17.39 ± 1.10^a	9.22
漂烫自然发酵	67.67 ± 0.61^b	-1.42 ± 0.07^a	16.12 ± 1.15^a	12.37

注:同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

竹笋在发酵过程中颜色变化的主要原因是微生物作用和化学反应的综合结果,化学反应主要包括非酶褐变、酶促褐变以及美拉德反应等,微生物作用主要是通过改变发酵环境的pH值而使竹笋细胞中不稳定的色素(如叶绿素、花青素等)发生不同程度的

降解^[25]。新鲜毛竹笋主要呈淡黄绿色,是因为竹笋细胞内部含有叶黄素和叶绿素,在发酵过程中,微生物的综合作用产生的酸性环境容易使叶黄素和叶绿素等色素发生降解;同时,竹笋在发酵过程中可能发生美拉德反应从而发生褐变,失去原有的色泽^[26]。

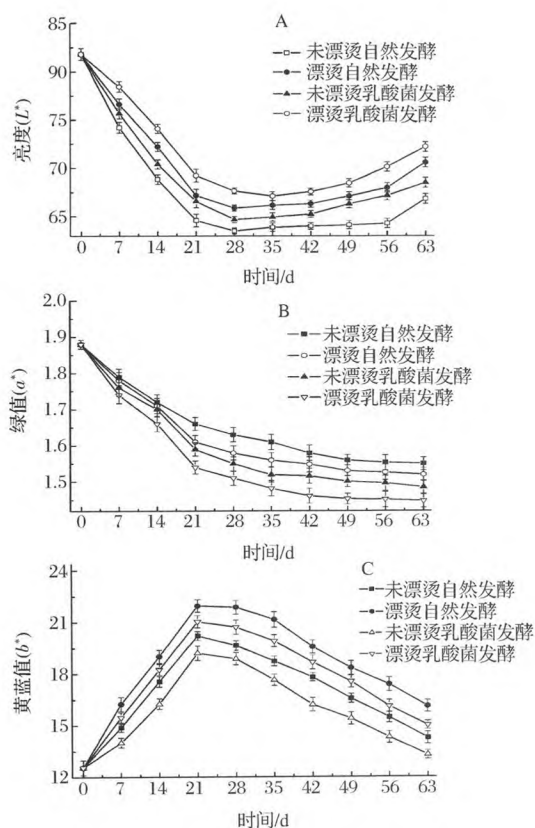


图8 毛竹笋色泽的变化

Fig. 8 Change in color of bamboo shoots during fermenting

竹笋的亮度值的变化是由于竹笋细胞内部类胡萝卜素增加引起的色泽加深以及叶绿素的降解引起的绿色变浅引起的。漂烫乳酸菌发酵具有较好护色效果可能原因是漂烫能够在一定程度上钝化酶活性,减少酶促褐变的产生使得竹笋色泽变化程度小于未漂烫处理竹笋样品;而乳酸菌发酵能够降低发酵环境的pH、缩短发酵周期,减缓毛竹笋细胞中色素的降解速度,保持原有色泽的稳定性。因此,漂烫乳酸菌发酵处理能够有效保持竹笋的色泽,护色效果明显。

由表1还可以看出,通过方差分析的结果显示,发酵处理对竹笋综合亮度值影响差异性较为显著;对绿度和黄度值影响差异不显著。许多研究^[23-24]表明,当总色差大于2时,样品的色泽变化可以通过肉眼观测,也就是说样品间的色泽发生了显著性的变化。由表1的结果显示,以未漂烫自然发酵的竹笋样品色差最大,达到了14.16;漂烫乳酸菌发酵的竹笋样品色差最小,为8.71;说明竹笋经过漂烫之后采用乳酸菌进行发酵处理能够达到较好的护色效果。

3 结论

不同处理方式下毛竹笋在发酵过程中硬度、凝聚性、咀嚼性等质构指标均呈现不同程度的下降;综合发现采用漂烫乳酸菌发酵处理更能有效地保持竹笋的质构特性。通过电镜扫描发现:经过4种不同的处理方式之后,毛竹笋的细胞壁出现明显的皱缩,细胞间隙增大;其中以漂烫自然发酵竹笋样品细胞壁皱缩最为明显,细胞间隙较大;漂烫乳酸菌发酵竹笋样品细胞结构变化相对最小;说明乳酸菌发酵能够适当地保持竹笋细胞的完整性和紧密性。发酵毛竹笋与鲜样相比,毛竹笋的亮度综合值变化差异显著($\Delta E > 2$),其中以漂烫乳酸菌发酵竹笋样品色泽参数变化最小为8.71,即毛竹笋经过漂烫乳酸菌发酵能够有效保持竹笋的色泽。综合考察得出漂烫后采用乳酸菌发酵处理毛竹笋保鲜效果最好,发酵63 d后,其硬度、脆性、凝聚性、咀嚼性、弹性和回复性分别为:67.87 N, 77.68 N, 0.302, 6.61 N, 0.345, 0.511,质地损失相对较小;漂烫乳酸菌发酵竹笋样品细胞结构基本完整,色泽参数变化最小为8.71。实验结果表明,采后毛竹笋漂烫后经乳酸菌发酵处理能够有效保持其质构特性及色泽和微观结构。

参考文献

- [1] BHATT B P, SINGHA L B, SINGH K, et al. Some commercial edible bamboo species of North East India: production, indigenous uses, cost-benefit and management strategies [J]. Journal of the American Bamboo Society, 2003, 17 (1): 4-20.
- [2] BHATT B P, SINGH K, SINGH A. Nutritional values of some commercial edible bamboo species of the North Eastern Himalayan region, India [J]. Journal of Bamboo and Rattan, 2005, 4 (2): 111-124.
- [3] PARK E J, JHON D Y. The antioxidant, angiotensin converting enzyme inhibition activity, and phenolic compounds of bamboo shoot extracts [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43 (4): 655-659.
- [4] WANG H X, NG T B. Dendrocin a distinctive antifungal protein from bamboo shoots [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2003, 307 (3): 750-755.
- [5] CHOUDHURY D, SAHU J K, SHARMA G D. Value addition to bamboo shoots: a review [J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2012, 49 (4): 407-414.
- [6] SHIH -GUEIFU, YOUNGMO YOON, RUSSELLB AZEMORE, et al. Aroma-Active components in fermented bamboo shoots [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 48: 165-173.
- [7] LLORCA E, PUIG A, HERNANDO I, et al. Effect of fermentation time on texture and microstructure of pickled carrots [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,

- 2001,81(15):1 553-1 560.
- [8] SIVAKUMAR P S, PANDA S H, RAY R C, et al. Consumer acceptance of lactic acid-fermented sweet potato pickle [J]. *Journal of Sensory Studies*, 2010, 25(5): 706-719.
- [9] YOON M, HWANG I K, JI G E, et al. Effects of salts and preheating temperature of brine on the texture of pickled cucumbers [J]. *Journal of Food Science*, 2006, 71(2): 97-101.
- [10] CHO M J, BUESCHER R W. Potential role of native pickling cucumber polygalacturonase in softening of fresh pack pickles [J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(4): 443-447.
- [11] LLORCA E, PUIG A, HERNANDO I, et al. Effect of fermentation time on texture and microstructure of pickled carrots [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2001, 81(15): 1 553-1 560.
- [12] NUNES C, SANTOS C, PINTO G, et al. Effect of candying on microstructure and texture of plums (*Prunus domestica* L.) [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(10): 1 776-1 783.
- [13] 郑炯, 宋家芯, 陈光静等. 腌制加工对麻竹笋质构和微观结构及色泽的影响 [J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 85-88.
- [14] GARCIA-SEGOVIA P, ANDRES-BELLO A, MARTINEZ-MONZO J. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L, cv Monalisa) as affected by different cooking processes [J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 88(1): 28-35.
- [15] HARKER F R, MAINDONALD J, MURRAY S H, et al. Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 24(3): 225-239.
- [17] 汪莉莎, 谭雁文, 陈光静, 等. 不同腌制条件下大叶麻竹笋质构特性及色泽变化规律的研究 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34(18): 94-97.
- [18] 陈光静, 郑炯, 汪莉莎, 等. 大叶麻竹笋腌制过程中质地变软原因探究 [J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 56-61.
- [19] 周春红. 大叶麻竹笋腌制加工过程中品质的变化 [D]. 重庆: 西南大学, 2011: 29-38.
- [20] 陈光静, 汪莉莎, 胡鹏. 大叶麻竹笋腌制过程中质地的变化 [J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(4): 101-105.
- [21] 王海鸥, 姜松. 质构分析 (TPA) 及测试条件对面包品质的影响 [J]. *粮油食品科技*, 2004, 12(3): 1-4.
- [22] QUILES A, HERNANDO I, PEREZ-MUNUERA I, et al. Effect of calcium propionate on the microstructure and pectin methyl-esterase activity in the parenchyma of fresh-cut Fuji apples [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(3): 511-519.
- [23] ZHOU L Y, WANG Y Y, HU X S, et al. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2009, 10(3): 321-327.
- [24] 郑炯, 宋家芯, 陈光静等. 腌制加工对麻竹笋质构和微观结构及色泽的影响 [J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 85-88.
- [25] GUNAWAN M I, BARRINGER S A. Green color degradation of blanched broccoli (*Brassica oleracea*) due to acid and microbial growth [J]. *Journal of Processing and Preservation*, 2000, 24(3): 253-263.
- [26] KOCA N, KARADENIZ F, BURDURLU H. Effect of pH on chlorophyll degradation and color loss in blanched green peas [J]. *Food Chemistry*, 2006, 100(2): 609-615.

Change of the texture of bamboo shoots (*Phyllostachys edulis*) with different treatments during fermentation

LI Mei, BU Meng-jun, CUI Yang, GONG Jia, XIAO Mei, WU Yue,
SU Man-wen, HU Yong-zheng, LI Ming-yuan, DING Wen-wu*

(College of Food and Biological Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

ABSTRACT The texture, microstructure and color of bamboo shoots (*Phyllostachys edulis*) after fermentation with different treatments were investigated and compared to evaluate the effects of different treatment on the edible quality of bamboo shoots. The results showed that textural characteristics such as hardness, fracturability and cohesiveness decreased obviously after 63 d of treatment. Meanwhile, the hardness, fracturability and cohesiveness would be influenced significantly by different fermenting methods while the effects on spring and resilience were not obvious. Compared with other methods, the loss of textural characteristics such as hardness, fracturability and cohesiveness of bamboo shoots from lactic acid bacteria fermentation after blanching were relatively low. After 63 d treatments, the scanning electron microscope images of bamboo shoots revealed that the parenchyma cells were obviously shrunk while the cell gap increased. The cell structure of bamboo remained relatively complete using lactic acid bacteria fermentation after blanching. In addition, compared to that of fresh bamboo shoots, the color was significantly changed (the total color difference $\Delta E > 2$) after 63 d of treatment. Comprehensive evaluation indicated that the edible quality and the color of bamboo shoots could be maintained effectively with the lactic acid bacteria fermentation process after blanching.

Key words bamboo shoots (*Phyllostachys edulis*); different treatments; fermenting process; texture; microstructure; color