

文章编号:1000-8551(2011)03-0523-06

发酵莴苣茎叶功能活性研究

崔莉^{1,2} 刘春泉^{1,2} 李大婧^{1,2} 宋江峰^{1,2}
江宁^{1,2} 刘春菊^{1,2} 吴海虹^{1,2} 朱丹宇^{1,2}

(1. 江苏省农业科学院农产品加工所,江苏 南京 210014;

2. 国家农业科技华东(江苏)创新中心农产品加工工程技术研究中心,江苏 南京 210014)

摘要:通过测定 ACE 抑制活性、抗氧化活性及总黄酮、总多酚的含量研究乳酸发酵对莴苣茎叶生物活性的影响。结果表明,无论发酵与否,莴苣叶各项指标均高于莴苣茎。发酵后莴苣叶的 ACE 抑制活性从 61.5% 显著升高至 92.9%,莴苣茎从 48.5% 显著升高至 68.3% ($P < 0.05$)。但发酵使莴苣茎和叶的抗氧化活性显著下降,莴苣叶对 DPPH 自由基的半数清除浓度从 0.22mg/ml 增加至 2.13mg/ml,莴苣茎从 16.5mg/ml 增加至 33.4mg/ml,且发酵后莴苣叶的抗氧化物质含量显著下降,而莴苣茎则变化不显著,说明总黄酮和总多酚不是莴苣中产生 ACE 抑制活性的主要物质。经本发酵工艺生产的莴苣茎叶发酵产品的各项指标均符合国家标准。

关键词:莴苣;发酵;ACE 抑制活性;抗氧化活性;抗氧化物质

FUNCTIONAL ACTIVITIES OF FERMENTED LETTUCE STEM AND LEAF

CUI Li^{1,2} LIU Chun-quan^{1,2} LI Da-jing^{1,2} SONG Jiang-feng^{1,2}
JIANG Ning^{1,2} LIU Chun-ju^{1,2} WU Hai-hong^{1,2} ZHU Dan-yu^{1,2}

(1. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014;

2. Engineering Research Center for Agricultural Products Processing, National Agricultural Science and Technology Innovation Center in East China, Nanjing, Jiangsu 210014)

Abstract: Effects of fermentation on contents of phenolics and total flavonoid, angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitory activity and antioxidant activities of lettuce stem and leaf were investigated. The results show that fermentation caused significant increasing on ACE inhibitory activity of both lettuce stem and leaf ($P < 0.05$). The ACE inhibitory activity of lettuce leaf increased from 61.5% to 92.9%, and from 48.5.9% to 68.3% in lettuce stem. The antioxidant activities of both lettuce stem and leaf decreased after fermentation. The IC_{50} value of DPPH radical scavenging effect increased from 0.22mg/ml to 2.13mg/ml in leaf and from 16.5mg/ml to 33.4mg/ml in leaf. The contents of total phenolics and total flavonoid in lettuce leaf significantly decreased ($P < 0.05$) but in stem the change was not obviously. It indicated that the phenolics and flavonoid were not the main components of ACE inhibitory activity in lettuce. All the physicochemical and microbial index were in line with national standards.

Key words: lettuce; fermentation; angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitory activity; antioxidant activity; antioxidant compounds

收稿日期:2010-06-07 接受日期:2010-08-18

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(08)611)

作者简介:崔莉(1978-),女,内蒙古鄂尔多斯人,博士,助理研究员,主要从事食品生物技术研究。Tel:025-84391570;E-mail:sunnycuili@yahoo.com.cn

通讯作者:刘春泉(1959-),男,江苏如东人,研究员,主要从事农产品精深加工研究。Tel:025-84390613;E-mail:liuchunquan2009@163.com

莴苣 (*Lactuca sativa var. angustana Irish*) 为菊科莴苣属一年生或二年生草本植物,富含维生素和矿物质,其乳状汁液中含有有机酸、甘露醇和莴苣素等多种化合物。据《本草纲目》记载,莴苣又名莴菜、千金菜。其味苦、冷、微毒,有利五脏、通筋脉、开胸膈、利气、坚筋骨、去口气、白齿牙、明眼目、通乳汁、利小便、杀虫、去蛇毒等功效。近期研究也表明,莴苣茎叶富含酚类物质,有预防癌症、抗氧化、增强免疫力等功能,对糖尿病、心脏病及高血压患者有益^[1-3]。

现有文献多集中于新鲜莴苣的功能活性研究,而对乳酸发酵对莴苣茎叶功能活性的影响及程度等国内外尚少见报道。本研究通过考察发酵对莴苣茎叶的ACE抑制活性、总黄酮含量、总多酚含量及抗氧化活性的影响,为进一步指导人们合理膳食和莴苣高效加工提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

带完整茎叶的莴苣茎用莴苣、泡菜盐和四川高粱酒,于6月中旬购于超市。

1.2 仪 器 及 试 剂

Agilent1100液相色谱仪、Agilent色谱工作站及Eclipse XDB-C18色谱柱(5 μ m 4.6 \times 150mm),安捷伦公司;TU-4810紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;TG16-WS台式高速离心机,湖南长沙湘仪离心机仪器有限公司;KQ-250DB型台式数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司。

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)、TPTZ (1,3,5-tri(2-pyridyl)-2,4,6-triazine)、福林-酚试剂(Folin-Ciocalteu phenol reagent)、血管紧张素转换酶(ACE 0.25U)、马尿酸-组氨酸-亮氨酸(HHL)、马尿酸标准品均购于美国Sigma公司;甲醇(色谱纯,Fisher chemicals,USA)、芦丁对照品(纯度>91.7%)、没食子酸对照品(纯度>90.1%)购于中国药品生物制品检定所;其余试剂为国产分析纯。

1.3 方 法

1.3.1 莴苣茎叶泡菜的制备 称取泡菜盐200g,加入水2400ml和100ml四川高粱酒,搅拌混匀,待盐全部溶解,即为泡菜水。将带完整茎叶的新鲜莴苣1200g清洗,拭干后将莴苣茎和莴苣叶分别加入泡菜坛中,再加入泡菜水800ml,水要没过菜面,加扣碗。泡菜坛保存在25 $^{\circ}$ C~28 $^{\circ}$ C下,发酵1星期左右。

1.3.2 测定样品的制备 新鲜莴苣的茎和叶以及发

酵莴苣茎和叶分开冷冻干燥,研磨,过40目筛。各称取1g加50%甲醇30ml,80Hz超声30min,12000r/min离心15min,收集上清液,剩余残渣按照相同方式和条件提取2次,合并上清液并转移至50ml蒸发表瓶中,45 $^{\circ}$ C旋转浓缩,氮气吹干,以30ml重蒸水稀释,12000r/min离心15min,上清液即为样品的提取液,-20 $^{\circ}$ C保存备用。

1.3.3 HPLC法测定ACE抑制活性 参照Cushman和Cheung^[4]的方法,根据具体情况略有修改,具体操作步骤如下:取各样品的提取液各10 μ l,与含5mmol/L马尿酸-组氨酸-亮氨酸(HHL)作底物的50mmol/L HEPES缓冲液65 μ l混合,37 $^{\circ}$ C水浴中预热3min,随后加入20 μ l血管紧张素转换酶(ACE,0.1U/ml),37 $^{\circ}$ C反应30min,加入1mol/L盐酸100 μ l终止反应,最后用蒸馏水稀释适当倍数,经0.45 μ m滤膜过滤后测定。色谱条件:流动相为甲醇:磷酸缓冲溶液(10mmol/L,pH 2.4)=25:75(V:V);流速:1.0ml/min;紫外检测波长:228nm;柱温:30 $^{\circ}$ C;进样:25 μ l。配制5.00mmol/L的马尿酸溶液,并依次稀释至0.10、0.20、0.30、0.40、0.50mmol/L。HPLC条件与样品相同。以马尿酸的浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,绘制标准曲线。

1.3.4 清除DPPH自由基活性测定 采用Blois法^[5],取样品提取液各2ml,加入 2×10^{-4} mol/L DPPH溶液2ml,30min后于517nm处测吸光值。

DPPH清除率(%) = $[1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100\%$,式中 A_i 为样液清除DPPH后的吸光值, A_j 为样液在517nm处的吸光值, A_0 为DPPH的吸光值。根据不同浓度莴苣提取物的DPPH的清除率建立函数,计算分别达到20%、50%、75%和90%时发酵前后莴苣茎、叶提取物的浓度。

1.3.5 FRAP法测定总还原能力 采用Benzie和Strain的方法^[6]:取样品提取液各30 μ l,加入1.8ml TPTZI作液(由0.3mol/L醋酸缓冲液25ml、10mmol/L TPTZ溶液2.5ml、20mmol/L的FeCl₃溶液2.5ml组成),混匀后37 $^{\circ}$ C反应10min,测定593nm处吸光度,以1.0mmol/L FeSO₄为标准,样品还原力以达到同样吸光度所需的FeSO₄的毫摩尔数表示。

1.3.6 总黄酮含量测定 采用氯化铝方法^[7],其操作步骤为:芦丁标准品溶液和样品提取液各1ml,分别加入2%氯化铝溶液1ml和甲醇2ml,混匀,室温放置15min后,测定430nm处的吸光值,分别计算芦丁标准曲线及莴苣中总黄酮含量,结果以mg芦丁当量/g干叶、茎为单位。

1.3.7 总多酚含量测定 采用 Folin-Ciocalteu 法^[8]: 没食子酸标准品溶液和样品提取液各 1ml 加到 10ml 比色管中,然后依次加入 1ml 去离子水,0.5ml 已稀释 2 倍的福林-酚试液,20% Na₂CO₃ 溶液 1.5ml,用水定容至 10ml,室温下反应 2h,在 760nm 下测定吸光度,分别计算没食子酸标准曲线及样品中莴苣总多酚含量,结果以 mg 没食子酸当量/g 干叶、茎为单位。

1.3.8 感官、理化及微生物指标检测 以莴苣茎叶泡菜为对象进行感官理化及微生物检测,感官检验按照国内贸易行业标准 SB/T 10439-2007^[9] 进行;水分、食盐和总酸、总砷、总铅及亚硝酸盐含量分别按 GB/T 5009.3-2003^[10]、GB/T 5009.51-2003^[11]、GB/T 5009.11-2003^[12]、GB/T 5009.12-2003^[13]、GB/T 5009.33-2003^[14] 中的方法进行测定;微生物指标分别按 GB/T 4789.4^[15]、GB/T4789.5^[16] 及 GB/T4789.10^[17] 中的方法进行测定。

2 结果与分析

2.1 发酵对莴苣茎叶 ACE 抑制活性的影响

如图 1,新鲜莴苣叶的 ACE 抑制活性显著高于莴苣茎,分别为 61.5% 和 48.5%。发酵后莴苣茎叶的 ACE 抑制活性分别为 68.3% 和 92.9%,莴苣叶仍高于茎($P < 0.05$)。与发酵前相比,ACE 抑制活性均显著增强($P < 0.05$),分别增加了 40.7% 和 51.1%,说明乳酸发酵能增强莴苣的 ACE 抑制能力。

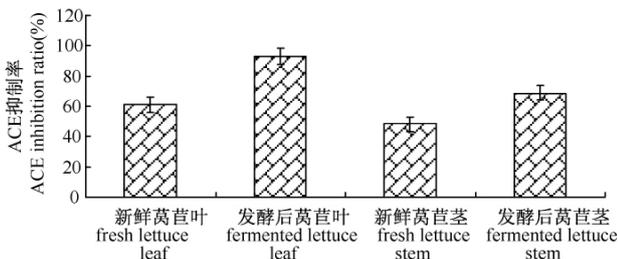


图 1 发酵对莴苣茎、叶 ACE 抑制活性的影响

Fig. 1 Effects of fermentation on ACE inhibitory activity of lettuce stem and leaf

2.2 发酵对莴苣茎叶的总黄酮、总多酚含量的影响

发酵对莴苣茎叶的总黄酮、总多酚含量的影响如图 2 所示。新鲜莴苣叶的总黄酮、总多酚含量显著高于新鲜莴苣茎($P < 0.05$),发酵后莴苣叶的总黄酮、总多酚含量仍显著高于新鲜莴苣茎($P < 0.05$)。莴苣茎的总黄酮、总多酚含量发酵前后变化不显著,总黄酮含量为 0.48 和 0.33mg 芦丁当量/g 干茎,总多酚含量为

0.086 和 0.068mg 没食子酸当量/g 干茎。发酵后莴苣叶的总黄酮、总多酚含量分别为 5.28mg 芦丁当量/g 干叶和 0.53mg 没食子酸当量/g 干叶,与新鲜莴苣叶相比显著下降($P < 0.05$),分别下降了 62.3% 和 93.6%。

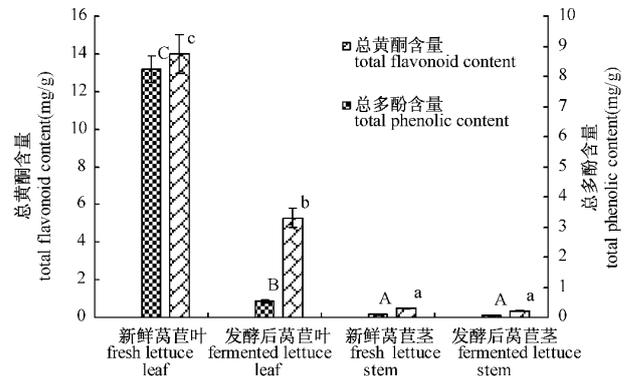


图 2 发酵对莴苣茎、叶总黄酮、多酚含量的影响

Fig. 2 Effects of fermentation on total phenolic

and total flavonoid content of lettuce stem and leaf

不同小写字母表示不同样品总黄酮含量间差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示不同样品间总多酚含量差异显著($P < 0.05$)。

Date followed by different small letters mean there were significant difference among samples on total flavonoid content ($P < 0.05$), date followed by different capital letters mean there were significant difference among samples on phenolic content ($P < 0.05$).

2.3 发酵对莴苣茎叶的抗氧化活性的影响

发酵对莴苣茎叶总还原能力的影响如图 3 所示。从图 3 可知,新鲜莴苣叶的抗氧化活性总还原能力显著高于新鲜莴苣茎。发酵后,莴苣茎、叶的 FRAP 值大幅下降,分别下降至未经发酵莴苣茎、叶的 31.3% 和 42.6%。说明发酵会使莴苣茎、叶的还原能力下降。

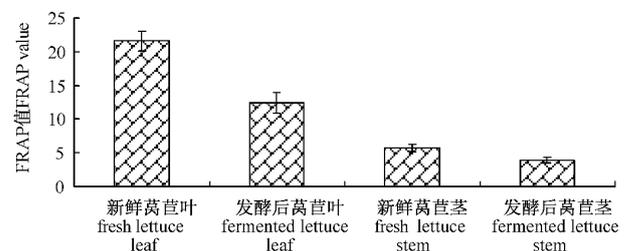


图 3 发酵对莴苣茎、叶总还原能力的影响

Fig. 3 Effects of fermentation on reducing power of lettuce stem and leaf

发酵对莴苣茎叶清除 DPPH 自由基活性的影响如图 4 所示。发酵前后莴苣茎、叶对 DPPH 自由基清除率关系式分别为: $y = 0.9x^2 - 0.3126x + 0.1672$ 、 $y = 10.8x^2 - 6.204x + 2.49$ 、 $y = 98.4x^2 - 47.72x + 16.75$ 和 $y = 81.935x^2 + 5.8113x + 12.432$ 。由图 4 可知,新

鲜莴苣茎、叶的半数清除浓度分别为 16.5 和 0.22mg/ml,所需要莴苣茎提取液的浓度约为莴苣叶的 10 倍。莴苣茎与叶的自由基清除活性相差较大,当自由基清除率从 20% 上升到 50% 新鲜莴苣叶提取液的浓度只需增加 0.072mg/ml,而新鲜莴苣茎提取液的浓度则需增加 5.2mg/ml。发酵莴苣茎、新鲜莴苣茎、发酵莴苣叶及新鲜莴苣叶各自的半数清除浓度分别为 33.4、16.5、2.13 和 0.22mg/ml,可知发酵后莴苣茎叶的清除自由基活性均大幅下降,这与总还原能力的变化相似。

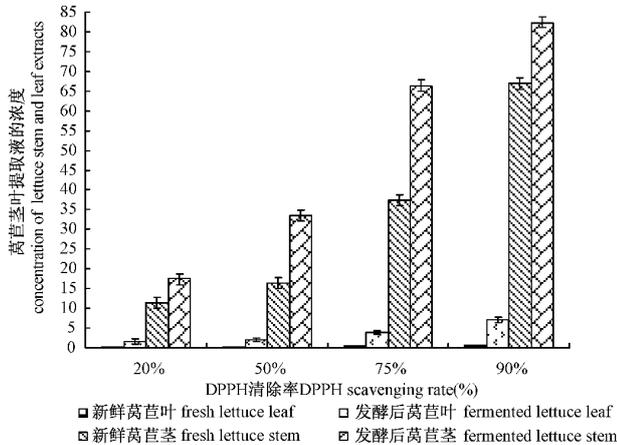


图 4 发酵对莴苣茎、叶清除 DPPH 活性的影响

Fig. 4 Effects of fermentation on DPPH free radical scavenging activity of lettuce stem and leaf

2.4 莴苣泡菜的感官、理化指标及微生物指标检测

2.4.1 感官检测 将发酵成熟的莴苣泡菜倒在洁净的白瓷盘中,用肉眼直接观察色泽、形态,嗅其气味,品尝滋味,结果表明,莴苣泡菜具有淡黄绿色泽和发酵莴苣特有的滋味和香气,鲜香可口,无异味;外观厚薄基本均匀,无杂质卤汁无混浊;质地脆嫩,各项指标均符合国家标准要求。

2.4.2 理化指标检测 检测结果如表 1 所示,各项理化指标均符合标准要求。

表 1 莴苣泡菜的理化指标

Table 1 Physicochemical index of fermented lettuce pickle

项目 item	发酵莴苣泡菜 fermented lettuce pickle	标准 standard
水分 water content (g/100g)	90.28	≤ 93
食盐 salt content (g/100g)	6.24	≤ 9
总酸 total acid (g/100g)	0.802	≤ 2
总砷 total arsenic (mg/kg)	0.237	≤ 0.5
总铅 total lead (mg/kg)	0.358	≤ 1
亚硝酸盐 nitrite content (mg/kg)	3.96	≤ 20

2.4.3 微生物指标检测 微生物指标检测结果如表 2 所示,发酵莴苣泡菜中均未检出沙门氏菌、志贺氏菌

和金黄色葡萄球菌,大肠菌群数也符合国标要求。

表 2 莴苣泡菜的微生物指标

Table 2 Microbial analysis of fermented lettuce pickle

项目 item	发酵莴苣泡菜 fermented lettuce pickle	标准 standard
沙门氏菌 <i>Salmonella</i>	未检出 undetected	不得检出 can not be detected
志贺氏菌 <i>Shigella</i>	未检出 undetected	不得检出 can not be detected
金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i>	未检出 undetected	不得检出 can not be detected
大肠菌群 <i>E. coli</i> (MPN/100g)	< 30	≤ 30

3 讨论

高血压是导致心血管病的危险因素,是影响人类健康的顽疾。据国家高血压研究中心最新统计,我国高血压患者已达 1.2 亿人,发病率为 11.9%,其危害仅次于肿瘤。在对高血压致病机理的研究中人们发现,在控制人体血压的多种因素中,人体肾素-血管紧张素系统 (Renin Angiotensin System, RAS) 和激肽释放酶-激肽系统 (Kallikrain-Kinin, KKS) 在血压调节方面是一对相互拮抗的体系,二者平衡协调则维持人体正常血压,平衡失调被认为是高血压发病的重要原因之一。ACE 在这两个系统中起到关键调节剂的作用,ACE 活力升高破坏了正常人体中升压和降压体系的平衡,使得血管紧张素 II 生成过多,而体系中扩张血管物质舒缓激肽合成减少,必然导致血压升高。所以,如果抑制了 ACE 的活性,理论上就可以抑制血压的升高,或者使血压下降。于是,人们首先在体外筛选具有 ACE 抑制活性的物质,然后经动物和人体试验证明其是否具有降血压活性。本研究首次发现新鲜和发酵莴苣茎叶有 ACE 抑制活性,并计划在下一阶段进行 SHR 大鼠体内试验,为研制开发降血压食品提供有利的理论基础。

自从 1965 年 Ferreira 首次从巴西蝮蛇毒中分离出 ACE 抑制肽以来,人们已从多种蛋白质中分离到了结构、序列及大小不一的具有抑制 ACE 活性的小肽^[18]。另外,研究还发现甲壳素衍生物,原花青素,多酚类,黄烷醇,氨基酸氧脂肪酸盐等具有 ACE 抑制活性^[19-22]。Actis-Goretta、Kawakami 和 Liu 等也报道,食品中的黄酮、荞麦中的芦丁和中国中草药中的单宁均具有 ACE 抑制活性^[23-25]。我们前期的研究发现新

鲜莴苣茎叶具有 ACE 抑制活性。从本文研究可知,新鲜莴苣叶的 ACE 抑制活性显著高于莴苣茎,且新鲜莴苣叶的总黄酮和总多酚含量也显著高于莴苣茎。结合以上文献报道,我们初步推测新鲜莴苣茎叶的 ACE 抑制活性与其中的总黄酮和总多酚含量有关。那么,发酵莴苣茎叶的 ACE 抑制活性是否也与其中的总黄酮和总多酚含量有关?研究发现,发酵后莴苣茎叶的 ACE 抑制活性均显著增强而发酵后莴苣茎叶的总黄酮和总多酚含量却显著下降了,显然,ACE 抑制活性增强的原因不可能是莴苣茎叶中的总黄酮和总多酚含量。在发酵过程中,由于各种微生物的作用会产生许多小肽,其中就可能有 ACE 抑制肽^[26-27]。我们在测定 ACE 抑制活性时,样品的提取采用了极性较强的甲醇,不仅可以提取酚类和黄酮,还可以将体系中的小肽提取出来^[28],所以我们推测正是发酵过程中产生的小肽使 ACE 抑制活性升高。为了证实推测,下一步研究应首先分离纯化莴苣泡菜中的微生物得到纯菌株,然后测定其是否会产生 ACE 抑制肽。

摄入足够蔬菜和水果能够显著降低罹患某些慢性疾病的风险^[29]。人们推测,可能这类食物是各种天然保健成分的最佳组合。天然保健成分主要指天然抗氧化物质膳食纤维以及一些生物活性物质,其中抗氧化物质近年来引起了广泛的关注。由于多数果蔬要经过加工才可以食用,所以加工过程中抗氧化物质的变化已成为研究热点。本文研究了发酵对莴苣茎叶的总黄酮、总多酚含量的影响,结果表明发酵引起莴苣叶的总黄酮、总多酚含量显著下降,此结果与 Wang 的结果相近^[30],其研究结果表明发酵降低了腌渍叶用芥菜的总黄酮、总多酚含量。究其原因可能与酚类的氧化降解有关。本发酵过程采用的盐度较高,可能造成发酵体系的酸度没有达到抑制多酚氧化酶的浓度,从而使酚类物质被氧化降解,含量下降^[31]。也可能是由于发酵过程改变了蔬菜的质构,促使组织软化,造成组织脱水,使一些水分含量较高的蔬菜在水分流失的同时造成一些水溶性酚类物质流失,从而使发酵后酚类物质含量降低^[32-33]。

发酵后莴苣茎叶的清除自由基活性和总还原能力的变化相似,均大幅下降。以上结果与 Wang 和 Fang 的报道相似^[30-34],其结果表明发酵降低了腌雪里蕻和腌叶用芥菜的 DPPH 清除率和 FRAP 值。很多研究认为,植物体内的抗氧化活性主要是由酚类物质提供的,酚类物质与抗氧化活性直接相关^[35-36]。无论新鲜还是发酵的莴苣茎叶,其抗氧化活性与总多酚和总黄酮含量变化趋势基本一致,初步表明总多酚和总黄酮含

量是影响莴苣茎叶的抗氧化活性的重要因素。下一步的研究可以通过将莴苣茎叶的抗氧化活性与总多酚和总黄酮含量做相关性分析,来证实推测是否成立。

据文献报道^[37],莴苣茎、叶富含维生素和矿物质,其含量分别为胡萝卜素 0.02 和 1.7mg/100g、硫胺素 0.03 和 0.12mg/100g、核黄素 0.02 和 0.1mg/100g、抗坏血酸 4 和 15mg/100g、尼克酸 0.4 和 0.73mg/100g、钙 25 和 58mg/100g、磷 33 和 35mg/100g、铁 1.4 和 1.7mg/100g,结合本研究对功能性活性成分和功能活性的测定结果,莴苣叶所含蛋白质、维生素、矿物质、总黄酮、总多酚、抗氧化活性和降血压活性均比茎高,因此人们在食用莴苣时应改变过去丢弃莴苣叶的习惯,重视莴苣叶的食用和开发。

经本研究发酵工艺生产的莴苣茎叶乳酸发酵产品的抗氧化活性降低显著,下一步研究可以考虑通过调整发酵工艺或研究其他加工方式,来有效保持其抗氧化活性。值得关注的是,本研究生产的莴苣泡菜具有显著的体外 ACE 抑制活性且各项指标均符合国家标准,若经动物和人体试验证实降血压活性,则有望开发为有着广泛来源的降血压保健食品,具有良好的市场开发前景。

4 结论

莴苣叶的 ACE 抑制活性、抗氧化活性、总黄酮含量、总多酚含量均比莴苣茎高。发酵后莴苣茎叶的 ACE 抑制活性显著升高,抗氧化活性显著下降;发酵后莴苣叶的抗氧化物质含量显著下降,莴苣茎则变化不显著。初步推断,新鲜莴苣茎叶的 ACE 抑制活性和抗氧化活性与总黄酮含量和总多酚含量有相关性。发酵后莴苣茎叶的 ACE 抑制活性显著升高可能是由于发酵后生成了 ACE 抑制肽。发酵后莴苣茎叶的抗氧化活性显著下降可能是由于发酵过程降解或流失了其总黄酮和总多酚。经本发酵工艺生产的莴苣茎叶乳酸发酵产品具有显著的体外 ACE 抑制活性且各项指标均符合国家标准。

参考文献:

- [1] Caldwell C R. Alkylperoxyl radical scavenging activity of red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) phenolics [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51:4589-4595
- [2] Chu Y F, Sun J, Wu X, Liu R H. Antioxidant and antiproliferative activities of common vegetables [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50:6910-6916
- [3] Cao G, Sofic E, Prior R L. Antioxidant capacity of tea and common

- vegetables[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44:3426-3431
- [4] Cushman D W, Cheung H S. Spectrometric assay and properties of angiotensin converting enzyme of rabbit lung [J]. Biochem Pharmacol, 1971, 20:1637-1647
- [5] Blois M S. Antioxidant determination by the use of a stable free radical[J]. Nature, 1958, 181:1199-1200
- [6] Benzie I F F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239:70-76
- [7] 中华人民共和国卫生部药典委员会编著. 中华人民共和国药典(1部)[S]. 北京:人民出版社, 1995:311
- [8] Cheung L M, Cheung P C K, Coi V E C. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts [J]. Food Chemistry, 2003, 81:249-255
- [9] SB/T 10439-2007 酱腌菜[S]
- [10] GB/T 5009.3-2003 食品中水分的测定[S]
- [11] GB/T 5009.51-2003 非发酵性豆制品及面筋卫生标准的分析方法[S]
- [12] GB/T 5009.11-2003 食品中总砷及无机砷的测定[S]
- [13] GB/T 5009.12-2003 食品中铅的测定[S]
- [14] GB/T 5009.33-2003 食品亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S]
- [15] GB/T 4789.4 食品卫生微生物学检验 沙门氏菌检验[S]
- [16] GB/T 4789.5 食品中卫生微生物学检验 志贺氏菌检验[S]
- [17] GB/T 4789.10 食品中卫生微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验[S]
- [18] Je J Y, Park P J, Kim B, Kim S K. Antihypertensive activity of chitin derivatives Biopolymers[J]. Biopolymers, 2006, 83:250-254
- [19] Actis-Goretti L, Ottaviani J, Fraga C. Inhibition of angiotensin converting enzyme activity by flavanol-rich foods [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54:229-234
- [20] An B J, Lee J T. Isolation and characterization of angiotensin converting enzyme inhibitors from *Camellia sinensis* L. and their chemical structure determination [J]. Food Science and Biotechnology, 1999, 8:285-289
- [21] Liu D Z, Lin Y S, Hou W C. Monohydroxamates of aspartic acid and glutamic acid exhibit antioxidant and angiotensin converting enzyme inhibitory activities[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52:2386-2390
- [22] Kawakami A, Inbe T, Kayahara H, Horii A. Preparation of enzymatic hydrolysates of buckwheat globulin and their angiotensin I converting enzyme inhibitory activities [J]. Current Advances in Buckwheat Research, 1995, 1:927-934
- [23] Actis-Goretti L, Ottaviani J I, Fraga C G. Inhibition of angiotensin converting enzyme activity by flavanol-rich foods [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54:229-234
- [24] Aklllloglu H G, Karakaya S. Effects of heat treatment and in vitro digestion on the Angiotensin converting enzyme inhibitory activity of some legume species[J]. European Food Research and Technology, 2009, 229:915-921
- [25] Liu J C, Hsu F L, Tsai J C, Chan P, Liu J Y H, Thomas G N, Tomlinson B, Lo M Y, Lin J Y. Antihypertensive effects of tannins isolated from traditional Chinese herbs as non-specific inhibitors of angiotensin converting enzyme [J]. Life Science, 2003, 73:1543-1555
- [26] 赵树平. 乳杆菌发酵乳中 ACE 抑制活性和 γ -氨基丁酸的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学食品科学系, 2008
- [27] Korhonen H, Pihlanto A. Bioactive peptides: Production and functionality[J]. International Dairy Journal, 2006, 16:945-960
- [28] 张丽梅. 灰树花中降压活性成分的分离纯化工艺研究[D]. 北京:北京化工大学化工系, 2005
- [29] Franceschi S, Parpinel M, La Vecchia C, Favero A, Talamini R. Negrierole of different types of vegetables and fruit in the prevention of cancer of the colon, Rectum and Breast[J]. Epidemiology, 1998, 9:338-341
- [30] 王萍, 朱祝军. 腌制加工对不同品种叶用芥菜抗氧化物质含量和抗氧化活性的影响[J]. 核农学报, 2006, 20(6):516-520
- [31] 胡玉霞. 雪里蕻腌渍过程中理化成分及其抗氧化性变化研究[D]. 杭州:浙江大学生物系统工程和食品科学系, 2007
- [32] 余小林, 林薇, 徐步前. 不同处理对数种果蔬抗氧化活性稳定性的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(6):66-69
- [33] 陈静波, 田迪英. 莴笋不同部位抗氧化活性的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(9):54-57
- [34] Fang Z X, Hu Y X, Liu D H, Chen J C, Ye X Q. Changes of phenolic acids and antioxidant activities during potherb mustard (*Brassica juncea*, Coss.) pickling[J]. Food Chemistry, 2008, 108:811-817
- [35] Velioglu Y S, Mazza G, Gao L, Oomah B D. Antioxidant activity and the total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products [J]. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 1998, 46:4113-4117
- [36] Maisuthisakul P, Pongsawatmanit R, Gordon M H. Characterization of the phytochemicals and antioxidant properties of extracts from tea (*Cratogeomys formosum* Dyer) [J]. Food Chemistry, 2007, 100:1620-1629
- [37] 黄裕蜀. 莴苣[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1992:2

(责任编辑 高美须 裴颖)