

不同方式处理的黄花菜对豆腐品质影响

魏亚儒, 李应兰, 李海峰*

(宁夏大学食品与葡萄酒学院, 宁夏银川 750021)

摘要:为研究制粉、切段、榨汁3种处理方式的黄花菜对豆腐品质影响,以 $MgCl_2$ 为凝固剂制作黄花菜豆腐,采用流变仪对黄花菜豆腐断裂应力和屈服应变进行分析,并对黄花菜豆腐感官评分、得率、保水性、色差、质构特性、理化指标进行比较研究。结果表明:黄花菜汁豆腐感官评分、凝胶强度、得率、保水性等显著优于黄花菜粉豆腐和黄花菜段豆腐($p < 0.05$),分别为32分、2 505.17 g/mm、231.41 g、68%,同时黄花菜汁豆腐和黄花菜粉豆腐质构特性均显著优于黄花菜段豆腐($p < 0.05$),综合而言,添加黄花菜汁可更好地提升豆腐各项品质。为探究各项指标之间的相互影响,对黄花菜汁豆腐的重要特性做相关性分析,结果表明,豆腐得率与保水性和感官评分呈正相关,说明豆腐的得率越高,其保水性和感官评分越高;硬度、咀嚼性、胶着性、回复性、弹性、内聚性与得率、保水性和感官评分呈负相关,说明豆腐质构结果增大导致豆腐综合感官评分下降。

关键词:黄花菜豆腐;处理方式;质构特性;流变特性;相关性分析

Effects of Different Treatments of Daylily on the Quality of Tofu

WEI Ya-ru, LI Ying-lan, LI Hai-feng*

(School of Food and Wine, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: The effects of milling, cutting and juicing of daylily on the quality of daylily tofu were investigated. Daylily tofu was prepared with $MgCl_2$ as a coagulant. The fracture stress and yield strain of the daylily tofu preparations were analyzed using a rheometer. Sensory score, yield, water retention, color difference, and texture properties of the daylily tofu were compared and studied. Sensory score (32 points), gel strength (2 505.17 g/mm), yield (231.41 g), and water retention (68%) of daylily juice tofu were significantly better than those of daylily powder tofu and daylily segment tofu (all $p < 0.05$). Texture characteristics of daylily juice tofu and daylily powder tofu were significantly better than those of daylily segment tofu (all $p < 0.05$). In general, adding daylily juice improved tofu quality. Correlation analysis of the important characteristics of daylily juice tofu revealed that tofu yield, water retention, and sensory scores were positively correlated. Higher yield of tofu was associated with increased water retention and sensory scores. Higher water retention and yield negatively correlated with hardness, chewiness, adhesiveness, resilience, elasticity, cohesion and yield, indicating that the improved texture of tofu results in a decrease in the comprehensive sensory score.

Key words: daylily tofu; processing method; texture properties; rheometer; correlation analysis

引文格式:

魏亚儒, 李应兰, 李海峰. 不同方式处理的黄花菜对豆腐品质影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 103-111.

WEI Yaru, LI Yinglan, LI Haifeng. Effects of Different Treatments of Daylily on the Quality of Tofu[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15): 103-111.

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划重大(重点)项目(2019BFF02004-4)

作者简介:魏亚儒(1995—),女(汉),硕士研究生,研究方向:农产品加工与贮藏。

*通信作者:李海峰(1973—),男(汉),副教授,硕士,研究方向:食品加工与食品机械。

黄花菜(*Hemerocallis fulva*),又名金针菜,百合科多年生草本植物,在中国有两千多年的栽培史^[1]。

因黄花菜耐旱易种植,在中国很多地区均有大量种植,以湖南祁东、四川渠县、河南淮阳、甘肃庆阳为主要种植基地。近几年,黄花菜在宁夏也被广泛关注,在盐池、红寺堡等地区进行大量种植^[2-3]。黄花菜营养价

值很高,每100 g黄花菜干品中含有蛋白质14.1 g、脂肪0.4 g、碳水化合物60.1 g,而且黄花菜的维生素C含量远高于番茄、黄瓜、胡萝卜等蔬菜^[4],蛋白质含量也高于花椰菜、胡萝卜、红番茄等蔬菜,它含有的卵磷脂能够促进血液循环、降血脂降胆固醇及具有清除血管沉淀物的作用,同时它含有的黄酮具有抗抑郁、抗氧化、促睡眠的保健作用^[5-6]。

豆腐,起源于我国汉朝,其营养丰富,并含有大量的植物蛋白,深受广大人民喜欢。豆腐主要是以大豆为原料,制浆后在高温与凝固剂作用下形成的蛋白凝胶体。目前商业上主要采用盐卤做凝固剂制成北豆腐,其口感细腻筋道^[7]。豆腐的凝胶强度及质构特性是判断豆腐品质的重要指标,通过测定豆腐的凝胶强度可以优化得到生产加工豆腐的最佳方案^[8]。

据报道,研究者将核桃与大豆,花生与大豆结合制作豆腐,可以起到营养补充的作用。本文将黄花菜与豆腐相结合制成黄花菜豆腐,不仅有助于丰富豆腐和黄花菜产品的多样性,而且能加工生产出一种高营养高蛋白的食品,为人体每日所需营养蛋白质提供了保障。本试验研究了不同加工方式的黄花菜对豆腐品质影响,测定不同豆腐的保水性、得率、感官评分、质构特性及流变特性,以期得到黄花菜最佳加工方式制备的黄花菜豆腐。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大豆:市售;黄花菜(干):宁夏吴忠市盐池县惠泽

黄花菜(干)→分选→清洗→浸泡→沥干→干燥→粉碎→过筛→黄花菜粉

大豆→清洗→浸泡→磨浆→浆渣分离→煮浆→点脑→保温→压制→4℃下冷藏(熟化)→性质测定

工艺要点:将黄花菜(干)经筛选浸泡干燥超微粉碎后过100目筛,称取5 g黄花菜粉,在煮浆时加入,制备

村;MgCl₂、消泡剂(均为食品级):连云港日丰钙镁有限公司;豆腐模具(长13.5 cm、宽9 cm、高9 cm):东莞市宏益精密科技有限公司。试验所用仪器设备见表1。

表1 试验所用仪器设备

Table 1 Instruments and equipment used in the experiment

设备名称	型号	生产公司
流变仪	HR-1 Discovery	美国TA公司
质构仪	TA-XT plus	英国Stable Micro Systems有限公司
破壁料理机	JP728	浙江苏泊尔股份有限公司
色差计	WSC-S	上海精密仪器有限公司
电子天平	SQP	多利斯科学仪器北京有限公司
超微粉碎仪	YF-10	浙江瑞安市永历有限责任公司
恒温鼓风干燥箱	DHG-9123A	上海精宏实验设备有限公司
高速台式冷冻离心机	L550	湘仪实验室仪器开发有限公司
电磁炉	C21-SDHCB9E35	浙江绍兴苏泊尔生活电器有限公司
冰箱	BCD-649WDGK	青岛海尔有限公司

1.2 试验方法

1.2.1 豆腐的制备

参照李小雅等^[9]、范柳等^[10]、江振桂等^[11]的方法并稍作修改,挑选完整无霉变的大豆100 g,按料液比1:3(g/mL)添加水浸泡12 h,沥干后按1:8(g/mL)加入水进行磨浆,浆渣分离后,先将豆浆加热至70℃,后继续加热至100℃沸腾5 min,冷却至85℃添加0.3%的MgCl₂溶液,保温10 min,压制1 h至成型,冷却制得豆腐。

1.2.1.1 黄花菜粉制备豆腐工艺流程

黄花菜粉豆腐(黄花菜粉的添加量通过预试验得出)。

1.2.1.2 黄花菜段制备豆腐工艺流程

黄花菜(干)→分选→清洗→浸泡→沥干→干燥→粉碎→过筛→黄花菜段

大豆→清洗→浸泡→磨浆→浆渣分离→煮浆→点脑→保温→压制→4℃下冷藏(熟化)→性质测定

工艺要点:将黄花菜(干)经筛选浸泡沥干后切分成2 mm~3 mm长的段状,称取3 g黄花菜段,在点脑进行一半时加入制备黄花菜段豆腐(黄花菜段的添加

量通过预试验得出)。

1.2.1.3 黄花菜汁制备豆腐工艺流程

黄花菜(干)→分选→清洗→浸泡→沥干→榨汁→黄花菜汁

大豆→清洗→浸泡→磨浆→浆渣分离→煮浆→点脑→保温→压制→4℃下冷藏(熟化)→性质测定

工艺要点:将黄花菜(干)经筛选浸泡沥干后称取20 g湿黄花菜加入蒸馏水,以黄花菜与蒸馏水1:10(g/mL)制作黄花菜汁,在煮浆时加入制备黄花菜汁豆腐(黄花菜汁的添加量通过预试验得出)。

1.2.2 流变性质的测定

参照贺云^[12]的方法,对不同加工方式黄花菜制得的豆腐进行流变测定。应变扫描:将样品切成2 mm薄片,25℃条件下,选用40 mm平行板探头,间隙为2 mm,

频率为1 Hz,应变从1%逐渐增加到60%,记录应变随应力变化情况。对豆腐的剪切应力、黏性模量及弹性模量进行指标分析。

1.2.3 感官评价

挑选10位食品专业的研究生,分别对不同加工方式黄花菜制得的豆腐进行独立感官评价,以表2的评价标准从口感、味道、色泽、组织状态4个方面进行感官评分,总分40。豆腐品质感官评分标准见表2。

表2 豆腐品质感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation standard of tofu quality

评价	口感	味道	色泽	组织状态
好(7分~10分)	柔软,细腻,富有弹性	浓郁豆香味及清香黄花菜味,无异味	光亮均一,颜色微黄	形态完整,黄花菜分布均匀
一般(4分~6分)	较柔软,爽口,弹性适中	豆香味较弱,黄花菜味较淡,微酸异味	颜色均一,无光亮感,颜色较黄	形态较完整,断面光滑,黄花菜分布较好
差(1分~3分)	质地较硬,粗糙黏牙,弹性差	有豆腥味,黄花菜味掩盖豆香味,发酸异味	颜色暗淡,无光泽	形态不完整,断面粗糙,黄花菜分布较差

1.2.4 保水性的测定

参照Li C等^[13]的方法,精确称取3 g豆腐,放置于底部有一定脱脂棉的50 mL的离心管中,以1000 r/min离心10 min,取出离心管上层的豆腐,称其质量(m_1),置于105℃条件下干燥3 h至质量恒定(m_0)。计算公式如式(1)所示。

$$\text{保水性}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.2.5 得率的测定

参照李岩等^[14]的方法并加以修改,将刚制作好的豆腐在室温(25±1)℃下放置10 min,称量,计算出每100 g原料所制得的豆腐质量,进行3次重复平行试验,计算试验平均值。计算公式如式(2)所示。

$$\text{湿豆腐得率}/\% = \frac{\text{样品制成豆腐的湿质量}}{\text{大豆样口风干质量}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.6 色差的测定

参照陈菲^[15]的方法并加以修改,用色差计测定豆腐表面的L*(亮度)值、a*(红度)值和b*(黄度)值,其中L*代表亮度,L*值越大,代表样品越亮;a*值为红绿值,a*为正值时,表明样品红色增加,a*为负值时,表明样品绿色增加;b*为黄蓝值,b*为正值时,表明样品黄色增加,b*为负值时,表明样品蓝色增加。每组3个平行,每块豆腐测定3次,取其平均值。

1.2.7 凝胶强度及质构性质测定

参照曹佳佳等^[16]的方法,使用TA-XT plus质构分析仪对黄花菜豆腐进行质构分析(texture profile analysis, TPA),选用凝胶强度来判别不同加工方式黄花菜制得的豆腐凝胶性能的优劣。凝胶强度=破断力

(g)×破断距离(mm)。

参照李蒙等^[17]的方法,将豆腐在4℃下过夜,取出至室温(25℃),用质构仪的TPA模式进行质构测定,用取样器制成直径20 mm,高20 mm的样品,采用P35探头进行测定。压缩率为50%,测前速度5 mm/s,测中速度1 mm/s,测后速度1 mm/s。对豆腐的硬度、胶着性、咀嚼性、弹性、回复性、内聚性进行测定。

1.2.8 豆腐基本营养成分测定

水分含量测定方法参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;蛋白质含量测定方法参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》;脂肪含量测定方法参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》。

1.3 统计分析

采用SPSS 22.0与Origin 2017软件进行数据处理与统计分析,并进行参数相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同方式处理所得黄花菜对豆腐流变性质影响

不同方式处理所得黄花菜对豆腐流变性质影响结果见图1~图3。

如图1所示,对黄花菜粉、黄花菜段、黄花菜汁豆腐进行应变扫描,随着剪切应变的增大,剪切应力开始缓慢增大,然后急剧增大,最后趋于平缓,不再增长。如图2、图3所示,在剪切应变较低的情况下,3种豆腐的黏性模量和弹性模量变化幅度很小,说明3种豆腐在此应变范围内未遭到很大的破坏,可以维持自身结构的稳定。当剪切应变增大到一定值时,剪切应力不

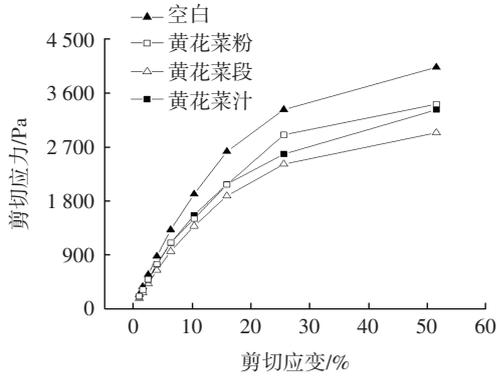


图1 不同处理方式所得黄花菜豆腐应变扫描曲线
Fig.1 Strain scanning curve of daylily tofu with different treatments

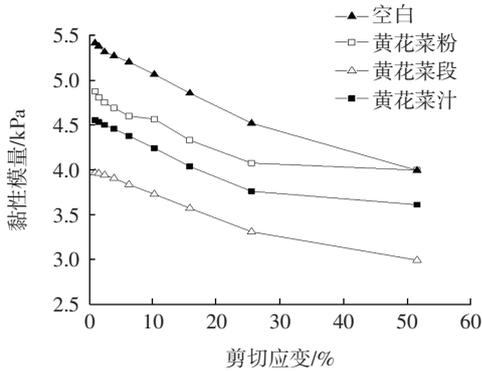


图2 黏性模量随剪切应变的变化
Fig.2 Variation of viscosity modulus with strain

再增长,逐渐趋于平缓,黏性模量和弹性模量下降,此时豆腐凝胶结构遭到破坏。剪切应力最大的点称为屈服点,此时的剪切应力称为屈服应力^[18-19]。3种豆腐相

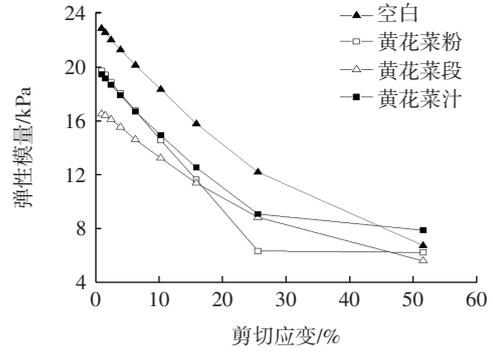


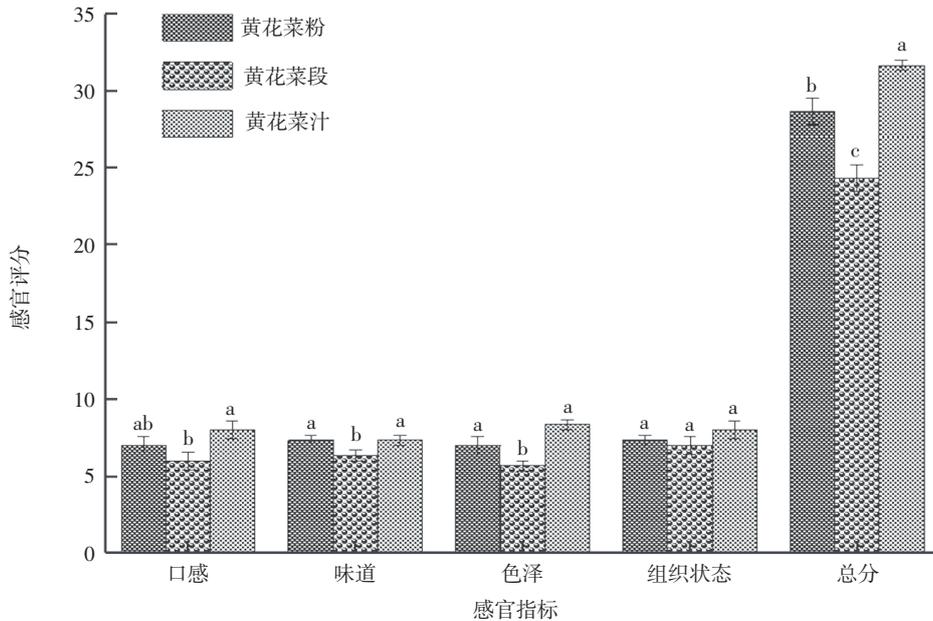
图3 弹性模量随剪切应变的变化
Fig.3 Variation of elastic modulus with strain

比较,黄花菜段豆腐具有更大的屈服应力,表明其易产生断裂,即可变形性更大。3种豆腐屈服应力大小顺序为黄花菜段豆腐>黄花菜粉豆腐>黄花菜汁豆腐,由此可知,黄花菜汁豆腐凝胶强度最强,黄花菜粉豆腐次之。

2.2 不同处理方式所得黄花菜对豆腐感官评价结果分析

不同处理方式所得黄花菜豆腐感官评分结果见图4。

由图4可知,不同处理方式所得的黄花菜制成的豆腐感官评分差异显著($p < 0.05$)。在口感方面,黄花菜汁制备的豆腐质地柔软爽口细腻,富有弹性,黄花菜粉次之,黄花菜段制备的豆腐则质地较硬,粗糙黏牙;在味道方面,以黄花菜粉和黄花菜汁生产加工的豆腐有浓郁豆香味及清香的黄花菜味,无任何异味,黄花



不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。

图4 不同处理方式所得黄花菜豆腐感官评分

Fig.4 Sensory score of daylily tofu in different treatments

菜段生产的豆腐黄花菜味掩盖了豆香味,甚至有淡淡的豆腥味^[2];在色泽方面,黄花菜汁加工的豆腐色泽微黄光亮均一,黄花菜粉加工的豆腐色泽无光亮,黄花菜段加工的豆腐色泽较暗淡,颜色不均一,可能是黄花菜段在豆腐中分布不均匀的原因;组织状态方面,黄花菜汁和黄花菜粉混合均匀加入到豆浆中制得的豆腐形态完整,断面较为光滑,而黄花菜段豆腐形态不完整,断面粗糙。综合各个指标,以黄花菜汁制备的豆腐感官评分最高,总分达32分。

2.3 不同处理方式所得黄花菜对豆腐凝胶强度的影响

不同处理方式所得黄花菜豆腐凝胶强度见图5。

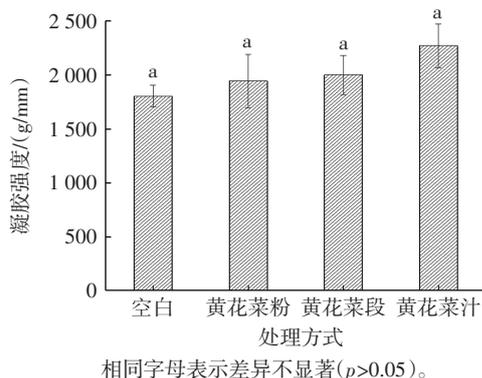


图5 不同处理方式所得黄花菜豆腐凝胶强度
Fig.5 Gelatinous strength of daylily tofu under different treatments

由图5可知,不同方式处理的黄花菜对豆腐凝胶强度差异不显著($p>0.05$),其中黄花菜汁制备的豆腐凝胶强度最好达2272.85 g/mm,主要原因是黄花菜经过打浆之后,黄花菜的膳食纤维得以改性,糖含量被水稀释,黄花菜经打汁磨浆制备的豆腐凝胶性能提高;黄花菜段制备的豆腐凝胶性能较差,黄花菜段的加入使得豆腐断面不平整,可能是因为黄花菜段的加入减弱蛋白质分子之间、蛋白质分子与水分子之间的相互作用力和结合力,导致凝胶能力减弱,凝胶强度为2001.90 g/mm;黄花菜粉生产加工的豆腐凝胶强度最差,凝胶强度为1945.45 g/mm,可能原因是黄花菜的膳食纤维不能很好的与豆浆中的蛋白质紧密结合,在压制后生产得到的豆腐质地较软易破裂,凝胶性能下降。

2.4 不同处理方式所得黄花菜对豆腐得率及保水性的影响

不同处理方式对黄花菜豆腐得率及保水性影响见图6。

不同方式处理的黄花菜制成的豆腐较对照组豆腐得率差异极显著($p<0.01$),黄花菜粉的添加使得豆腐得率较高;黄花菜段因粒径较大,不能很好地与大

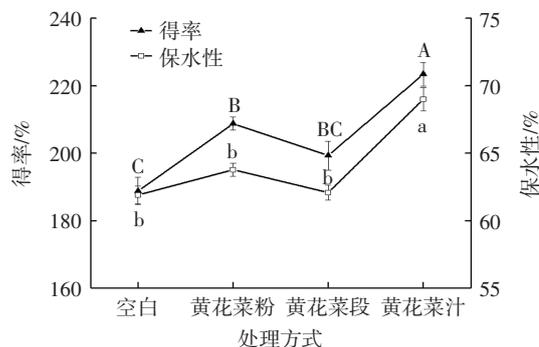


图6 不同处理方式所得黄花菜豆腐得率及保水性
Fig.6 Yield and water retention of daylily tofu by different treatments

豆蛋白质分子结合,导致黄花菜段展现在豆腐表面,得率最差;黄花菜汁生产加工的豆腐得率最高,可能原因是随着黄花菜汁的增加,豆浆的体积也在增大,得率最好。

黄花菜粉制备的豆腐保水性优于黄花菜段豆腐,原因是黄花菜粉的膳食纤维能够包含豆浆中的水分,增加保水性能;而黄花菜段豆腐保水性最差,可能原因是黄花菜因切段,黄花菜段有空隙,不能更好地结合豆浆中的水分,在凝固剂作用下生产的豆腐保水性能较差;黄花菜汁生产的豆腐保水性最好,黄花菜汁经过均匀磨浆后生产的豆腐表面光亮,断面光滑,品质越好的豆腐其保水性越好。

2.5 不同处理方式所得黄花菜对豆腐色差的影响

不同处理方式所得黄花菜豆腐色差测定结果见表3。

表3 不同处理方式所得黄花菜豆腐色差测定结果
Table 3 Color difference of daylily tofu with different treatments

加工方式	色差		
	L*	a*	b*
黄花菜粉	68.77±5.25 ^a	-6.64±2.22 ^a	8.39±0.03 ^a
黄花菜段	70.64±4.04 ^a	-6.61±1.42 ^a	7.06±0.78 ^b
黄花菜汁	72.66±0.68 ^a	-7.41±0.22 ^a	6.75±0.68 ^b

注:同一列中不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

色泽是消费者购买产品的重要因素,由表3可知,不同方式处理的黄花菜对豆腐色差的L*值影响差异不显著,可能原因是黄花菜粉和汁能较好地融入到豆浆中,而黄花菜段在豆腐中分布不均匀,导致其亮度值和空白对照组得到的豆腐相似。不同方式处理的黄花菜对豆腐色差的a*值影响不显著,对b*值影响显著($p<0.05$),添加黄花菜粉的豆腐的b*值最高,表明其颜色更偏黄,而以黄花菜汁制作的豆腐黄值最低,为

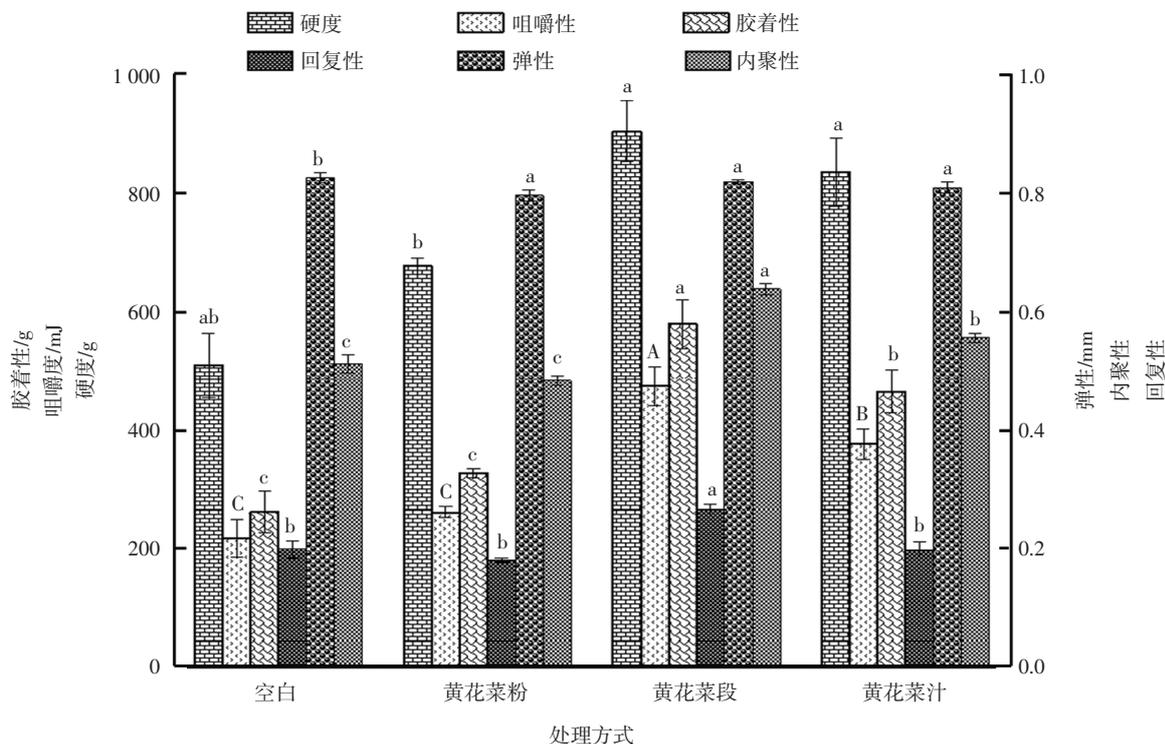
6.75,可能原因是黄花菜汁与豆浆相结合,制备出的豆腐亮度均一,黄花菜颜色较淡。

2.6 不同方式所得处理黄花菜对豆腐质构影响

用质构仪分别对不同方式处理的黄花菜所得豆

腐进行质构分析,检测结果如图7所示^[21]。

硬度是质构仪第1次压缩样品时最大的峰值,在感官上是牙咬碎样品时的力。与对照组相比,添加不同处理方式的黄花菜使豆腐硬度增大,可能是因为大豆



不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$);不同大写字母表示差异极显著($p < 0.01$)。

图7 不同处理方式对黄花菜豆腐质构的影响

Fig.7 Effects of different treatments on the texture of daylily tofu

蛋白质经热变性后其溶解度明显降低,大豆蛋白的二级结构未能恢复,不能较好地与黄花菜中膳食纤维结合,使豆腐硬度增大。由于黄花菜段颗粒的无定形空囊较多,吸水量增大,导致黄花菜段豆腐的硬度最大。

胶着性被定义为硬度与凝聚性的乘积,用来描述半固体食品的口感。不同处理方式的黄花菜制得的豆腐胶着性差异显著($p < 0.05$),其中黄花菜粉豆腐的胶着性最低可能原因是黄花菜经超微粉碎后可以与大豆蛋白更好地结合,使得豆腐的凝聚性增大。

咀嚼性可以反映口腔咀嚼食物时所需要的能量,不同处理方式的黄花菜制得的豆腐咀嚼性差异极显著($p < 0.01$),其中黄花菜段豆腐的咀嚼性最高,主要原因是黄花菜段没有均匀地分布在豆腐中,导致豆腐难以咀嚼,口感粗糙黏牙。

回复性被定义为第1次下压,压缩时所需能量与返回时样品释放的弹性势能的比值,反映了食品能以弹性形变保存的能量。黄花菜的加入使豆腐的回复性增大,特别是黄花菜段豆腐,可能是因为黄花菜段吸

收凝胶体系中的游离水,与蛋白质的网状结构紧密结合,从而使回复性增大。

黄花菜汁生产的豆腐的各项指标均处于黄花菜粉及黄花菜段之间,除了对照组外,由黄花菜粉制得的豆腐各项指标均低于黄花菜段和黄花菜汁。综合评价,以黄花菜粉生产加工的豆腐质构特性最好,黄花菜汁次之。

2.7 黄花菜豆腐理化指标

根据测定结果,确定以黄花菜汁生产的豆腐品质最好。将黄花菜汁豆腐与普通豆腐营养成分进行对比分析,结果见表4。

表4 豆腐的营养成分

Table 4 Nutritional composition of tofu

营养成分	水分/100 g	蛋白质/g	脂肪/g
普通豆腐	82.38±0.23	5.21±0.28	26.79±0.16
黄花菜汁豆腐	84.23±0.53*	8.23±0.26*	31.25±1.25*

注:* 与普通豆腐相比差异显著($p < 0.05$)。

由表4可知,黄花菜汁豆腐中的营养成分都有显

著性提高,其中水分、蛋白质和脂肪比普通大豆豆腐分别提高了0.02%、36.69%和14.27%,蛋白质含量的增加可以修复更新人体受损细胞,为人的生命活动提供能量。相比普通豆腐,黄花菜豆腐的营养价值

更高。

2.8 不同方式处理的黄花菜所得豆腐品质指标相关性分析

黄花菜豆腐品质指标之间的相关性分析见表5。

表5 黄花菜豆腐品质指标之间的相关性分析
Table 5 Correlation analysis between daylily tofu quality indexes

相关系数	得率	保水性	感官评分	硬度	咀嚼性	胶着性	回复性	弹性
保水性	0.694*							
感官评分	0.831**	0.344						
硬度	-0.259	-0.213	-0.289					
咀嚼性	-0.351	-0.201	-0.465	0.961**				
胶着性	-0.354	-0.197	-0.447	0.970**	0.998*			
回复性	-0.664	-0.314	-0.738*	0.778*	0.890**	0.889**		
弹性	-0.027	-0.09	-0.366	0.360	0.505	0.452	0.397	
内聚性	-0.399	-0.147	-0.555	0.855**	0.961**	0.952**	0.935**	0.570

注:*表示差异显著($p>0.05$);**表示差异极显著($p<0.01$)。

不同处理方式黄花菜制备的豆腐品质指标之间的关系:豆腐的得率与保水性呈显著正相关关系($r=0.694$),即保水性越好豆腐得率越高,保水性好的豆腐表面光滑整齐,无粗糙感^[2];与感官评分呈极显著正相关关系,可能原因是黄花菜中的糖类物质,通过酯化反应生成芳香类物质,使豆腐呈现出果味、芳香味及淡香味^[23-24],因此能够生产加工出得率高并且口感好的豆腐;与硬度、咀嚼性、胶着性、回复性、弹性及内聚性呈负相关关系(r 分别为 -0.259 、 -0.351 、 -0.354 、 -0.664 、 -0.027 、 -0.399),这是因为硬度、咀嚼性、胶着性、回复性、弹性和内聚性的增大导致蛋白质网络结合水分能力减弱。

保水性与感官评分呈正相关关系(r 为0.344),即保水性好的豆腐感官评分也高,其口感组织状态都较好;与硬度、咀嚼性、胶着性、回复性、弹性和内聚性呈负相关关系(r 分别为 -0.213 、 -0.201 、 -0.197 、 -0.314 、 -0.09 、 -0.147),可能的原因是硬度、咀嚼性、胶着性、回复性、弹性和内聚性的增大,导致蛋白质网络不能包裹水分,大豆蛋白不能更好地与水分子结合,使得豆腐的保水性减弱。

感官评分与硬度、咀嚼性、胶着性、弹性及内聚性呈负相关关系(r 分别为 -0.289 、 -0.465 、 -0.447 、 -0.366 、 -0.555),即豆腐的硬度、咀嚼性、胶着性、弹性及内聚性增大会导致豆腐的感官品质下降,豆腐的色泽、口感、味道、组织状态都会下降;与回复性呈显著负相关关系(r 为 -0.738),即豆腐的回复性越高,其感官评分就越低。

硬度与咀嚼性、胶着性及内聚性呈极显著正相关关系(r 分别为0.961、0.970、0.855),即豆腐的硬度越大,其咀嚼性、胶着性和内聚性也会随之增大;与回复性呈显著正相关关系(r 为0.778),即豆腐的硬度大,其回复性也会增大;与弹性呈正相关关系(r 为0.360),即硬度大的豆腐弹性也相对较好。

咀嚼性与胶着性呈显著正相关关系(r 为0.998),与回复性和内聚性呈极显著正相关关系(r 分别为0.890、0.961),即豆腐的咀嚼性越好则豆腐的胶着性、回复性和内聚性也越好;与弹性呈正相关关系(r 为0.505),咀嚼性好的豆腐弹性也相对较好。

胶着性与回复性和内聚性呈极显著正相关关系(r 分别为0.899、0.952),可能的原因是豆腐的胶着性影响其回复性和内聚性,凝胶强度大的豆腐其内聚性也越大^[25];与豆腐的弹性呈正相关关系(r 为0.452)。

回复性与内聚性呈极显著正相关关系(r 为0.935),即豆腐的回复性越强其内聚性也越强;与弹性呈正相关关系(r 为0.397),豆腐的弹性与内聚性也呈正相关关系(r 为0.570),即豆腐的弹性影响着豆腐的回复性与内聚性。

综上所述,黄花菜豆腐的各个品质指标之间相互联系较为复杂。

3 结论

本文将黄花菜经不同处理方式处理后与大豆结合制备豆腐,研究得出:不同处理方式中,黄花菜汁制作的豆腐感官评分最高,黄花菜粉次之,黄花菜段最

低。黄花菜汁与黄花菜粉制作的豆腐口感细腻,有黄花菜的清香味,感官评分分别为32、28分;得率及保水性最好的是黄花菜汁制备的豆腐(223%,69.01%),黄花菜粉次之,黄花菜段最差;可以得出豆腐的得率越好保水性越好;凝胶强度及豆腐亮度最好的是黄花菜汁制备的豆腐(2 272.85 g/mm,72.66),黄花菜段次之,黄花菜粉最差;即豆腐的凝胶强度与豆腐亮度成正比;不同豆腐的质构结果差异性显著,黄花菜粉制备的豆腐质构特性优于以黄花菜汁加工的豆腐;流变分析表明不同豆腐的弹性模量及黏性模量差异显著,反映出黄花菜段豆腐屈服应力大于黄花菜粉和黄花菜汁制备的豆腐,表明黄花菜段加工的豆腐更易断裂;不同方式处理的黄花菜豆腐各个指标之间存在复杂相关关系,豆腐得率与保水性、感官评分存在显著性正相关关系,豆腐得率越高,其保水性越好,感官评分越高。

综合各个指标结果分析,黄花菜汁制作的豆腐相对于其它组具有较好的品质特性。在后续的研究中可以进一步研究黄花菜汁对大豆蛋白凝胶特性的影响;同时黄花菜汁作为一种高膳食纤维的产品,可以通过发酵黄花菜汁水代替酸类凝固剂在豆腐中应用,为豆腐产品的营养价值及多样性提供依据。

参考文献:

- [1] 杨大伟,夏延斌.脱水黄花菜加工过程中的预处理工艺研究[J].食品工业科技,2003,24(11):44-47.
YANG Dawei, XIA Yanbin. Study on pre-processing technology for dehydrated day lily[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, 24(11): 44-47.
- [2] 李勇,吴浩一,时培宁,等.黄花菜饮料的配方及加工工艺研究[J].徐州工程学院学报(自然科学版),2019,34(3):48-53.
LI Yong, WU Haoyi, SHI Peining, et al. Study on the formulation and processing technology of daylily beverage[J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology (Natural Sciences Edition), 2019, 34(3): 48-53.
- [3] 刘伟,孙江浩,张菊华,等.基于UHPLC-LTQ-Orbitrap高分辨质谱的黄花菜中化学成分快速鉴定及裂解途径分析[J].中国食品学报,2020,20(9):256-264.
LIU Wei, SUN Jianghao, ZHANG Juhua, et al. Rapid characterization of chemical profile in daylily flowers and analysis of their fragmentation pathways by UHPLC-LTQ-Orbitrap MSⁿ[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(9): 256-264.
- [4] 张宁,李森,王金耀,等.萱草属植物花蕾中秋水仙碱含量HPLC检测体系的优化[J].河北农业大学学报,2017,40(5):48-54.
ZHANG Ning, LI Sen, WANG Jinyao, et al. Optimization of HPLC detection system for colchicine content in flower buds of *Hemerocallis*[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2017, 40(5): 48-54.
- [5] 余蕾.大同黄花农产品区域公用品牌传播策划案[D].杭州:浙江大学,2019.
YU Lei. Branding communication plan of Datong day lily regional public brand[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [6] LIN S H, CHANG H C, CHEN P J, et al. The antidepressant-like effect of ethanol extract of daylily flowers (金針花 *jīn zhēn huā*) in rats[J]. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 2013, 3(1): 53-61.
- [7] 张际峰,张兮,叶韬.豆腐保鲜工艺的研究进展[J].黄山学院学报,2020,22(3):37-42.
ZHANG Jifeng, ZHANG Xi, YE Tao. Research progress on the preservation technology of tofu[J]. Journal of Huangshan University, 2020, 22(3): 37-42.
- [8] REKHA C R, VIJAYALAKSHMI G. Influence of processing parameters on the quality of soycurd (tofu)[J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 50(1): 176-180.
- [9] 李小雅,许慧,江杨娟,等.加工工艺对北方豆腐品质特性的影响[J].食品科学,2017,38(6):261-266.
LI Xiaoya, XU Hui, JIANG Yangjuan, et al. Effects of processing on the quality properties of northern Chinese tofu[J]. Food Science, 2017, 38(6): 261-266.
- [10] 范柳,刘海宇,赵良忠,等.不同制浆工艺对豆浆品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(7):148-154.
FAN Liu, LIU Haiyu, ZHAO Liangzhong, et al. Study on the influence of different pulping processes on the quality of soymilk[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(7): 148-154.
- [11] 江振桂,王秋普,张一震,等.不同凝固剂对豆腐品质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(7):229-234.
JIANG Zhengui, WANG Qiupu, ZHANG Yizhen, et al. Effects of different coagulants on the quality of tofu[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(7): 229-234.
- [12] 贺云.豆腐酸浆中乳酸菌的分离鉴定及其在酸浆豆腐中的应用[D].无锡:江南大学,2018.
HE Yun. The isolation and identification of lactic acid bacteria from naturally fermented tofu whey and the application of the strains in the acidic whey tofu[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.
- [13] LI C, RUI X, ZHANG Y H, et al. Production of tofu by lactic acid bacteria isolated from naturally fermented soy whey and evaluation of its quality[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 82: 227-234.
- [14] 李岩,肖铭凯,黄楚恒,等.云芝核桃豆腐的制备[J].现代食品,2019(7):76-79.
LI Yan, XIAO Mingkai, HUANG Chuheng, et al. Preparation of Yunzhi walnut tofu[J]. Modern Food, 2019(7): 76-79.
- [15] 陈菲.鸭血豆腐加工工艺优化及品质改善技术研究[D].南京:南京农业大学,2012.
CHEN Fei. Study on process optimization of duck blood tofu and quality improvement[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University,

- 2012.
- [16] 曹佳佳, 邱春江, 郭优. 豆丹的添加量对鱼豆腐品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(8): 133-138.
CAO Jiajia, QIU Chunjiang, GUO You. Effect of the addition of *Clanis bilineata* tsingtauica on qualitative properties of fish tofu[J]. Food Research and Development, 2019, 40(8): 133-138.
- [17] 李蒙, 陈复生, 杨宏顺, 等. 氯化镁瓜尔胶复合凝固剂对豆腐凝固过程影响[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(4): 30-33.
LI Meng, CHEN Fusheng, YANG Hongshun, et al. Effect of magnesium chloride guar gum mixture on the coagulation process of tofu [J]. Cereals & Oils, 2014, 27(4): 30-33.
- [18] SAOWAPARK S, APICHARTSRANGKON A, BELL A E. Viscoelastic properties of high pressure and heat induced tofu gels[J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 984-989.
- [19] SHEN Y R, KUO M I. Effects of different carrageenan types on the rheological and water-holding properties of tofu[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 78: 122-128.
- [20] 陆海勤, 陈淋转, 张昆华, 等. 四种方法提取的黄花菜挥发性物质及残渣结构分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(23): 221-228.
LU Haiqin, CHEN Linzhuang, ZHANG Kunhua, et al. Analysis of volatile components and residue structure of *hemerocalis citrina* baroni(daylily) extracted by four kinds of methods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(23): 221-228.
- [21] 匡凤军, 刘群, 曹倩蕾, 等. 质构仪在食品行业中的应用综述[J]. 现代食品, 2020(3): 112-115.
KUANG Fengjun, LIU Qun, CAO Qianlei, et al. Application of texture analyzer in food industries[J]. Modern Food, 2020(3): 112-115.
- [22] 张伟. 不同生产工艺对豆腐活性成分及产率和品质的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014.
ZHANG Wei. Effect of different production processes to the active components for tofu yield and quality[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2014.
- [23] 黄宝玲, 王洁, 廖振林, 等. 酸浆豆腐冷藏期间的品质变化分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 263-270.
HUANG Baoling, WANG Jie, LIAO Zhenlin, et al. Analysis of the quality change of yogurt tofu during cold storage[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 263-270.
- [24] 李加双, 张良, 王晶, 等. 不同加热处理对豆腐风味和异黄酮含量的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(11): 1-9.
LI Jiashuang, ZHANG Liang, WANG Jing, et al. Effects of different heating methods on flavor and isoflavone content of tofu[J]. Food Research and Development, 2020, 41(11): 1-9.
- [25] 王哲昀. 豆腐结构及其胶凝性的研究进展[J]. 食品安全导刊, 2020(6): 171-173.
WANG Zheyun. Research progress on the structure and gelling properties of tofu[J]. China Food Safety Magazine, 2020(6): 171-173.

加工编辑: 冯娜

收稿日期: 2020-09-04