

# 发芽对青稞的营养成分 和抗氧化活性的影响

苟美玲,张 静

(成都师范学院化学与生命科学学院,四川成都 611130)

**摘要:**本实验通过对青稞进行发芽处理,来研究发芽前后青稞基础营养成分、总酚、总黄酮以及抗氧化活性的变化,并以此来评价发芽对青稞的营养价值和抗氧化活性的影响。研究结果表明,发芽使青稞的蛋白质和灰分含量提高了23.4%和31.5%,使直链淀粉和脂肪含量降低了13.8%和19.2%。发芽后青稞的总酚和总黄酮含量显著提高,分别增加了85.0%和101.7%。抗氧化活性分析表明,发芽青稞的 $IC_{50}^{DPPH}$ 值和FRAP(铁离子还原能力, ferric-reducing antioxidant power)值分别为 $(39.98 \pm 1.14)$  mg/mL和 $0.33 \sim 1.13$   $\mu\text{mol V}_c/\text{g}$ ,其抗氧化能力显著高于未发芽青稞。相关性分析表明,发芽青稞较强的抗氧化能力与高的总酚和总黄酮含量显著相关( $R^2 = 0.803 \sim 0.990$ )。这说明发芽能够改善青稞的营养价值和功能特性,其结果为青稞的加工应用以及相关功能食品的开发提供了可靠的科学依据。

**关键词:**发芽青稞,总酚,总黄酮,抗氧化活性,营养价值,功能特性

## Effects of Germination on the Nutrient and Antioxidant Activity of Barley

GOU Mei-ling, ZHANG Jing

(College of Chemistry and Life Science, Chengdu Normal University, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** In this experiment, the germination treatment of highland barley was carried out to study the changes of nutrient composition, total phenolics, total flavonoids and antioxidant activities of highland barley before and after germination, and to evaluate the effect of germination on the nutritional value and antioxidant activity of highland barley. The results indicated that germination increased the protein and ash content of barley by 23.4% and 31.5%, amylose and fat content reduced by 13.8% and 19.2%. After germination, the total phenolic and total flavonoids content of barley was significantly increased by 85% and 101.7%, respectively. The antioxidant activity analysis showed that the  $IC_{50}^{DPPH}$  value and FRAP (ferric-reducing antioxidant power) values of the germinated barley were  $(39.98 \pm 1.14)$  mg/mL and  $0.33 \sim 1.13$   $\mu\text{mol V}_c/\text{g}$ , respectively, and the antioxidant capacity was significantly higher than ungerminated highland barley. Correlation analysis showed that the strong antioxidant capacity of germinated barley was significantly correlated with high total phenol and total flavonoids content ( $R^2 = 0.803 \sim 0.990$ ). This indicates that germination can improve the nutritional value and functional properties of barley, and the results provide a reliable scientific basis for the processing of highland barley and the development of related functional foods.

**Key words:** germinated highland barley; total phenolics; total flavonoids; antioxidant activity; nutrient value; functional characteristics

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)03-0086-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.016

引文格式: 苟美玲,张静.发芽对青稞的营养成分和抗氧化活性的影响[J].食品工业科技,2020,41(3):86-89,97.

青稞(*Hordeum vulgare* Linn.var.nudum Hook.f.), 又称裸大麦,属于禾本科植物,一般生长在海拔4200~4500 m的高原地区<sup>[1]</sup>,主要分布在我国西藏、青海、四川甘孜州等地区。与其他谷物类食品相比,青稞有高的蛋白质和氨基酸含量,丰富的膳食纤维和B族维生素,以及钙、磷、铁等微量元素<sup>[2]</sup>。并且青稞因富含 $\beta$ -葡聚糖而具有调节人体血糖和血脂的作用,从而起到预防糖尿病和心血管病等慢性疾病的作

用。目前的研究表明<sup>[3-4]</sup>,长期食用青稞类的谷物将产生降胆固醇、抑制癌生长、预防冠心病和糖尿病等健康益处。

随着全谷类食物在人类膳食结构中的重要性被逐渐认识,青稞因其独特的营养成分和保健功能而受到了国内外食品行业的关注,被认为是今后一定时期内新型食品开发的热点<sup>[5]</sup>。研究表明随着谷物发芽,其营养和化学成分会随之改变。发芽过程意

收稿日期:2019-04-12

作者简介:苟美玲(1988-),女,硕士研究生,助教,研究方向:功能性食品,E-mail:416117274@qq.com。

基金项目:成都师范学院校级科研项目(CS19ZC06)。

味着一系列复杂的生化和理化反应,其能够引起谷物化学成分和形态的变化<sup>[6]</sup>。发芽是蛋白质、维生素和矿物质以及维护健康的营养物质的良好来源,如酚类化合物和含硒成分<sup>[7]</sup>。此外,大量资料也显示种子发芽是天然提高食品营养价值和健康品质的加工方法之一<sup>[8]</sup>。目前,发芽作为一种简便、快捷、安全提高谷物营养价值和抗氧化活性的方法已被广泛应用于薏米<sup>[9]</sup>、小麦<sup>[10]</sup>、黄豆<sup>[11]</sup>等食品中。如果能通过发芽改善青稞的营养价值和植物化学成分,使其加工成具有一定功能价值的食品,必将能拓展青稞的应用市场。本实验旨在通过对发芽前后青稞的基础营养成、总酚、总黄酮及体外抗氧化活性进行评价来分析发芽对青稞营养和功能特性的影响,以期对青稞的加工应用及相关功能食品的开发提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

青稞 购置于本地市场;2,2-二苯基-1-三硝基苯肼(DPPH)、没食子酸、抗坏血酸、芦丁、直链淀粉(土豆来源)标准品(纯度 $\geq 99\%$ ) 均购置于上海源叶生物科技有限公司;其他试剂 均为分析纯。

TD-5M 离心机 四川蜀科仪器有限公司;JP-500B-8 万能粉碎机 永康市久品工贸有限公司;K9860 型全自动凯氏定氮仪 河南九和共创仪器有限公司;SOX406 脂肪测定仪 山东海能科学仪器有限公司;HWL-10MC 马弗炉 山东华威炉业有限公司;SpectraMax i3x 酶标仪 美国 Molecular Devices 公司;Alpha-1860Plus 紫外可见分光光度计 上海谱元仪器有限公司;ME204 电子天平 美国梅特勒-托利多公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 发芽青稞粉制备 根据 Vale 等<sup>[12]</sup>早前的研究方法来进行青稞发芽实验。称取 300.0 g 青稞种子用 5% NaCl 溶液清洗,然后用清水浸泡 18 h 后,将青稞置于 20 °C 的恒温培养箱中黑暗培养 72 h,紧接着将发好芽的青稞置于-80 °C 冷冻 4 h 后置于冷冻干燥机中干燥 30 h。用粉碎机将干燥好的青稞芽磨粉,并过 80 目筛子。所得青稞粉置于真空塑料袋中在-20 °C 下贮存备用。

1.2.2 基础营养成分测定 样品中蛋白质含量按照 GB/T 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法进行测定<sup>[13]</sup>;样品中脂肪含量按照 GB/T 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法进行测定<sup>[14]</sup>;样品中灰分含量按照 GB/T 5009.4-2016《准食品中灰分的测定》中的灼烧法进行测定<sup>[15]</sup>。

1.2.3 直链淀粉测定 采用双波长法测定青稞中的直链淀粉含量<sup>[16]</sup>。称取 0.100 g 直链淀粉标准品溶于 10 mL 0.5 mol/L KOH 溶液,在 80 °C 水浴中溶解后用蒸馏水定容至 100 mL,得到直链淀粉标注贮备液(1 mg/L)。标准曲线制备:分别取标准贮备液 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL 于 50 mL 容量瓶中并加入 30 mL 蒸馏水后,用 0.1 mol/L HCl 调 pH 至 3.0,加入碘试剂 0.5 mL,用蒸馏水定容得到浓度为 0、4、8、

12、16、2、24  $\mu\text{g/mL}$  的标准溶液。以加入 0.1 mol/L HCl 和碘试剂的水溶液作为空白对照。用紫外可见分光光度计分别在波长  $\lambda_1 = 630 \text{ nm}$  和  $\lambda_2 = 480 \text{ nm}$  下测定吸光度值。实验所得标准曲线为  $y = 0.012x + 0.0116$  ( $R^2 = 0.996$ )。称取 1.00 g 样品于抽提杯中并加入 30 mL 乙醚,在脂肪测定仪中脱脂 3 h 后,再加入 85% 乙醇进行脱糖 3 h。将进行脱脂和脱糖后的粉末放入 98 °C 恒温干燥箱中干燥至恒重。取 0.100 g 干燥后的青稞粉末溶于 10 mL 0.5 mol/L 的 KOH 溶液,在 80 °C 水浴中溶解后用蒸馏水定容至 50 mL,混匀后吸取 2.5 mL 混合液,用与标品相同的处理方式处理后对其吸光度进行测定。

1.2.4 样品提取液制备 称取 2.0 g 青稞粉于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 80% 乙醇涡旋 30 s 后超声提取 30 min,在 4500 r/min 条件下离心 15 min 然后取上清液过 0.45  $\mu\text{m}$  的滤膜得到滤液,将滤液贮存备用。

1.2.5 总酚含量测定 通过 Singleton 等<sup>[17]</sup>的 Folin-Ciocalteu 比色法并略作修改来确定三种青稞的总酚含量。取 25  $\mu\text{L}$  样品与 125  $\mu\text{L}$  质量分数为 10% 的福林酚试剂加入 96 孔板中静置 8~10 min 后,加入 125  $\mu\text{L}$  质量分数为 7.5% 的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液,避光反应 30 min 后在波长为 765 nm 处测定其吸光度。实验以没食子酸为标准品来计算青稞中的总酚含量,其标准曲线的线性范围为 0~0.30 mg/mL,标准曲线为  $y = 0.007x + 0.112$  ( $R^2 = 0.998$ )。结果表示为没食子酸当量(mg GAE/g)。

1.2.6 总黄酮含量测定 参考袁旭等<sup>[18]</sup>的研究方法测定青稞中总黄酮含量。取 50  $\mu\text{L}$  样品提取液于 96 孔板中加入 20  $\mu\text{L}$  0.5 mol/L  $\text{NaNO}_3$  溶液后孵育 5 min 后,再加入 20  $\mu\text{L}$  0.3 mol/L  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  溶液静置 6 min,最后加入 200  $\mu\text{L}$  0.5 mol/L NaOH 溶液混合均匀后,于波长 500 nm 处测定其吸光度。以芦丁为标准品来计算样品中的总黄酮含量,其标准曲线的线性范围为 0~0.5 mg/mL,标准曲线为  $y = 1.475x + 0.0450$  ( $R^2 = 0.998$ )。结果表示为芦丁当量(mg RE/g)。

1.2.7 DPPH 自由基清除活性(DPPH free radical scavenging activity) 参考 Brand-Williams 等<sup>[19]</sup>的方法,通过青稞样本对 DPPH 自由基的清除能力来评价发芽前后青稞抗氧化能力的变化。 $\text{IC}_{50}^{\text{DPPH}}$  被计算表示为使 DPPH 自由基清除率达到 50% 时所需的样品浓度。计算公式为:

$$\text{自由基清除率}(\%) = \frac{\text{Aa} - (\text{As} - \text{Ab})}{\text{Aa}}$$

其中:Aa 表示 DPPH 和甲醇混合溶液的吸光度;As 表示 DPPH 和样品混合溶液的吸光度, $\text{A}_b$  表示甲醇和样品混合溶液的吸光度。

1.2.8 铁离子还原能力(Ferric reducing antioxidant power,FRAP) 根据 Yingbin Shen 等<sup>[20]</sup>的方法略作修改来进行铁还原氧化能力测定。新鲜制备的 FRAP 试剂(2.5 mL 10 mmol 溶解于 40 mL HCl 溶液中的 TPTZ 溶液,2.5 mL 20 mmol/L 的  $\text{FeCl}_3$  溶液和 25 mL 0.1 mol/L pH = 3.6 的乙酸缓冲液)在 37 °C 下

表1 发芽青稞的基础营养成分分析

Table 1 Basic nutrient composition analysis of barley

种类	蛋白质(%)	脂肪(%)	灰分(%)	直链淀粉(%)
未发芽青稞	9.28 ± 0.04	1.67 ± 0.11	1.49 ± 0.07	14.10 ± 0.47
发芽青稞	11.45 ± 0.10*	1.35 ± 0.02*	1.96 ± 0.05*	12.16 ± 0.13*

注: \* 表示显著差异性( $P < 0.05$ )。

孵育 10 min。然后,取 0.05 mL 青稞提取液与 2 mL FRAP 试剂于 10 mL 容量瓶中,并用蒸馏水定容后,在室温下孵育 20 min。使用 UV 分光光度计在波长 593 nm 测定其吸光度。取 2 mL FRAP 试剂用蒸馏水定容至 10 mL,并以此为空白。实验以  $V_c$  作为标品,其线性范围为 0~1000  $\mu\text{mol/L}$ ,标准曲线为  $y = 0.0007x + 0.0651$  ( $R^2 = 0.999$ )。结果表示为微摩尔抗坏血酸当量( $\mu\text{mol } V_c/\text{g}$ )。

### 1.3 数据处理

所有实验均重复三次,其结果表示为平均值 ± 标准差。用 IBM SPSS 22.0 软件进行独立样本 t 检验,显著性水平为 0.05。采用 Origin Pro 2017 软件进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 发芽青稞基础营养成分的变化

由表 1 可知,发芽后青稞的蛋白质、灰分含量显著增加,脂肪、直链淀粉含量显著降低。与发芽前的青稞相比,发芽后青稞蛋白质含量增加了 23.4%。发芽后更高的蛋白质含量可能是由于发芽后青稞的整体组成成分发生改变引起的<sup>[21]</sup>。发芽后青稞灰分含量比未发芽的青稞灰分含量增加了 31.5%,造成这种差异的可能原因是发芽过程中青稞中可溶固形物的减少和干物质的损失<sup>[21]</sup>。

与未发芽青稞相比,发芽后青稞的脂肪和直链淀粉含量分别减少为未发芽青稞种子的 19.2% 和 13.8%。发芽青稞脂肪含量的减少可归因于脂质的水解,即发芽过程中青稞通过脂质水解来为其发生的生物、物理和化学变化提供能量,从而促进青稞芽的生长。而发芽后直链淀粉含量的减少可能是由于种子萌发期间呼吸代谢中的淀粉酶活性增强,促进淀粉水解为单糖来为青稞萌发提供能量。Fengfeng Wu 等<sup>[22]</sup>也研究报道了糙米在发芽过程中其直链淀粉含量的降低。

### 2.2 发芽青稞总酚和总黄酮含量的变化

如表 2 所示,发芽前后青稞的总酚含量存在显著差异( $P < 0.05$ ),发芽后青稞的总酚含量比发芽前增加了 85.0%。与未发芽青稞相比,发芽后更高的总酚含量可能是由于青稞萌发过程中酶水解引起了酚类化合物的生物合成。这与早前 Alvarez-Jubete 等<sup>[23]</sup>所报道的发芽能显著提高小麦中的总酚含量的结果相一致。

由表 2 可知,发芽前后青稞的总黄酮含量存在显著差异( $P < 0.05$ ),发芽后的总黄酮含量比发芽前的增加了 101.7%。这可能是由于发芽过程中青稞在各种酶的催化作用下进行了生物合成与转化从而形成了新的次级代谢产物所致。

表2 青稞的总酚、总黄酮以及抗氧化活性分析

Table 2 Analysis of total phenolics, total flavonoids and antioxidant activity of highland barley

种类	总酚(mg GAE/g)	总黄酮(mg RE/g)
未发芽青稞	1.60 ± 0.06	1.16 ± 0.02
发芽青稞	2.96 ± 0.04*	2.34 ± 0.07*

注: \* 表示显著差异性( $P < 0.05$ )。

### 2.3 发芽青稞抗氧化活性的变化

2.3.1 DPPH 自由基清除率的变化 DPPH 自由基清除是一种广泛用于评价植物混合物和纯抗氧化剂自由基清除活性的方法。在 DPPH 试验中,抗氧化剂能够将稳定的 DPPH 自由基(紫色)还原为非自由基形式 DPPH-H(黄色)。实验分别配制不同浓度的样品和  $V_c$  标准品溶液,并根据样品与标品对 DPPH 自由基清除能力绘制曲线(如图 1)。以  $V_c$  的抗氧化能力为参照,比较发芽前后青稞的抗氧化活性能力强弱。 $IC_{50}^{DPPH}$  值是自由基清除率达到 50% 时样品或标品的质量浓度,它的大小表示样品抗氧化活性的强弱,一般  $IC_{50}^{DPPH}$  值越小,其抗氧化活性越强。由图 1 可知,发芽前后青稞的  $IC_{50}^{DPPH}$  值存在显著差异,发芽后青稞的  $IC_{50}^{DPPH}$  (39.98 ± 1.14 mg/mL) 要显著低于发芽前(56.31 ± 2.12 mg/mL),这说明与未发芽相比,发芽后青稞的自由基清除能力显著增强,即其抗氧化能力显著增强。导致这种现象的原因可能是发芽后青稞中总酚和总黄酮含量的增加。此外,发芽前后青稞的  $IC_{50}^{DPPH}$  值均要小于  $V_c$  (25.03 ± 1.39 mg/mL),这说明青稞的抗氧化活性要低于  $V_c$ 。

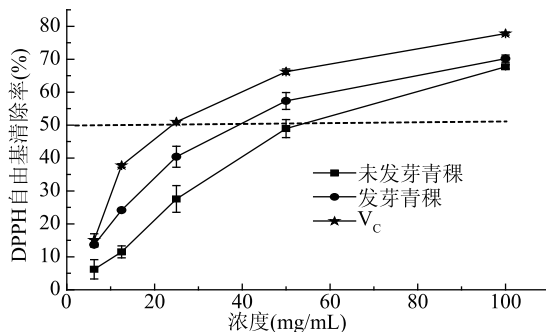


图1 发芽前后青稞在不同浓度下的 DPPH 自由基的清除率

Fig.1 DPPH free radical scavenging rate of highland barley before and after germination

2.3.2 铁离子还原能力的变化 由图 2 可知,发芽后不同浓度青稞的 FRAP 值范围为 0.33~1.13  $\mu\text{mol } V_c/\text{g}$ ,比未发芽青稞的 FRAP 值(0.22~0.86  $\mu\text{mol } V_c/\text{g}$ )增加了 25.42%~50.00%,说明发芽后的青稞具有更强的铁离子还原能力。萌发后青稞铁离子还原能力的增强可能是由于发芽青稞中生物活性物质含

表3 总酚、总黄酮与 DPPH、FRAP 的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between total phenolics, total flavonoids and DPPH, FRAP

处理方式	TPC-FRAP	TPC-DPPH	TFC-FRAP	TFC-DPPH
未发芽青稞	0.995 **	0.874 **	0.988 **	0.886 **
发芽青稞	0.990 **	0.859 **	0.985 **	0.803 *

注:TPC-FRAP 和 TPC-DPPH 分别表示总酚含量与铁离子还原能力和自由基清除率的相关性,TFC-FRAP 和 TFC-DPPH 分别表示总黄酮含量与铁离子还原能力和自由基清除率的相关性;\* 表示相关性显著( $P < 0.05$ ), \*\* 表示相关性极显著( $P < 0.01$ )。

量增加所导致的青稞中酚类含量增加引起的。据研究资料显示,铁离子还原能力与总酚含量密切相关。此外,Alothman 等<sup>[24]</sup>的研究表明发芽谷类物质的抗氧化特性可作为功能性食品的组成成分。

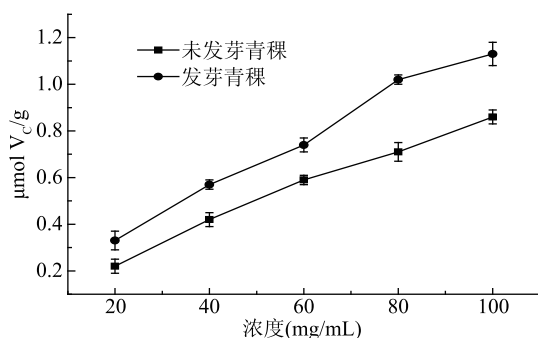


图2 发芽前后不同浓度青稞的 FRAP 值

Fig.2 FRAP values of different concentrations of highland barley before and after germination

## 2.4 相关性分析

由表 3 可知,青稞中的总酚含量与 DPPH 和 FRAP 的相关系数范围为 0.859~0.995,总黄酮含量与 DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力相关系数范围为 0.803~0.988,这说明总酚、总黄酮含量与其抗氧化活性存在着显著的相关。Zielinski 等<sup>[25]</sup>的研究也报道了酚类化合物是影响谷物抗氧化活性的重要因素。

## 3 结论

通过对蛋白质、脂肪、灰分、直链淀粉等基础营养成分的分析表明,发芽能显著提高青稞中的蛋白质和灰分的含量,降低直链淀粉和脂肪的含量。与未发芽青稞相比,发芽青稞具有更高的抗氧化活性和总酚、总黄酮含量,且青稞的抗氧化活性与总酚和总黄酮含量有着显著的相关性。由此说明,发芽能有效改善青稞的营养成分和抗氧化活性,能够从整体上提高青稞的营养价值。将发芽青稞加工成系列功能性食品,不仅能够促进青稞在食品行业的应用,更能增加青稞食品的多样性。通过本研究结果,我们希望能够帮助人们更深入了解萌发引起的变化,提高我们对青稞健康价值的认识,指导其健康消费,从而促进其的发展和利用。

### 参考文献

[1] Lin Z F, Yao Z J, Yu C Q, et al. Assessing crop water demand and deficit for the growth of spring highland barley in Tibet, China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(3): 541-551.

[2] 张伊迪. 青稞发芽过程中营养成分含量变化的研究[D]. 上海交通大学, 2015.

[3] Tong L T, Zhong K, Liu L, et al. Oat oil lowers the plasma and liver cholesterol concentrations by promoting the excretion of faecal lipids in hypercholesterolemic rats [J]. Food Chemistry, 2014, 142(3): 129-134.

[4] Yu G, Wang F, Zhang B, et al. In vitro inhibition of platelet aggregation by peptides derived from oat (*Avena sativa* L.), highland barley (*Hordeum vulgare* Linn. var. nudum Hook. f.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) proteins [J]. Food Chemistry, 2016, 194: 577-586.

[5] 高汪磊, 龚凌霄, 张英. 青稞作为我国高原特色谷物资源在功能食品领域的开发潜力[J]. 粮食与油脂, 2015(2): 1-4.

[6] Aborus N E, Čanadanović- Brunet J, Četković G, et al. Powdered barley sprouts: Composition, functionality and polyphenol digestibility [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(1): 231-238.

[7] Pasko P, Barton H, Zagrodzki P, et al. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth [J]. Food Chemistry, 2009, 115: 994-998.

[8] Lemmens E, Moroni A V, Pagand J, et al. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019, 18: 305-328.

[9] Xu L, Chen L, Ali B, et al. Impact of germination on nutritional and physicochemical properties of adlay seed (*Coixlachryma-jobi*, L.) [J]. Food Chemistry, 2017, 229: 312-318.

[10] Beatrice F, Paolo B, Isabella C, et al. Phenolic content and antioxidant activity in raw and denatured aqueous extracts from sprouts and wheatgrass of Einkorn and Emmer obtained under salinity [J]. Molecules, 2017, 22(12): 2132-.

[11] Guzmán-Ortiz, Fabiola A, San Martín-Martínez, et al. Profile analysis and correlation across phenolic compounds, isoflavones and antioxidant capacity during germination of soybeans (*Glycine max*, L.) [J]. CyTA - Journal of Food, 2017: 1-9.

[12] Vale A P, Cidade H, Pinto M, et al. Effect of sprouting and light cycle on antioxidant activity of brassica oleracea varieties [J]. Food Chemistry, 2014, 165: 379-387.

[13] GB 5009.5-2016. 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[14] GB 5009.6-2016. 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

(下转第 97 页)

300-303.

[20] Bredahl L, Grunert K G, Fertin C. Relating consumer perceptions of pork quality to physical product characteristics [J]. Food Quality & Preference, 1998, 9(4): 273-281.

[21] 魏心如, 韩敏义, 王鹏, 等. 热处理对鸡胸肉剪切力与蒸煮损失的影响 [J]. 江苏农业学报, 2014(3): 629-633.

[22] 李春保. 牛肉肌内结缔组织变化对其嫩度影响的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2006.

[23] 吴锁链, 康怀彬, 王登峰, 等. 烧鸡加工过程中营养成分变化研究 [J]. 肉类研究, 2009(5): 39-40.

[24] 张朦, 刘峰, 邹明强, 等. 水活度用于食品质量与安全控制的研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2014, 35(3): 122-126.

[25] 李欣, 苏珊珊, 马偏珍, 等. 利用 LF-NMR 研究牛肉粒微波干燥过程中水分迁移和分布变化 [J]. 食品科技, 2013, 38(1): 145-149.

[26] Shao J, Deng Y, Song L, et al. Investigation the effects of protein hydration states on the mobility water and fat in meat batters by LF-NMR technique [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66(3): 1-6.

[27] 赵宇鹏, 卜坚珍, 于立梅, 等. 鸡肉的营养成分和质构特性研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(10): 4096-4100.

[28] 桂萍, 罗永康, 冯力更. 加热温度对混合肉肌原纤维蛋白质结构的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(5): 99-107.

[29] Christensen L, Bertram H, Aaslyng M, et al. Protein denaturation and water-protein interactions as affected by low temperature long time treatment of porcine longissimus dorsi [J].

Meat Science, 2011, 88(4): 718-722.

[30] Tornberg E. Effects of heat on meat proteins-implications on structure and quality of meat products [J]. Meat Science, 2005, 70(3): 493-508.

[31] 阚健全. 食品化学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.

[32] 刘丽美, 刘骞, 孔保华, 等. 基于低场 NMR 研究油炸温度对牛肉干水分分布与品质的影响 [J]. 中国食品学报, 2016, (5): 238-244.

[33] Barbut S. Importance of fat emulsification and protein matrix characteristics in meat batter stability [J]. Journal of Muscle Foods, 1995, 6(2): 161-167.

[34] 张建友, 赵瑜亮, 丁玉庭, 等. 脂质和蛋白质氧化与肉制品风味特征相关性研究进展 [J]. 核农学报, 2018, 32(7): 175-182.

[35] 唐春红, 陈旭华, 张春晖, 等. 不同卤制方法对鸡腿肉中挥发性风味化合物的影响 [J]. 食品科学, 2014, 35(14): 123-129.

[36] Ma Q L, Hamid N, Bekhit A E, et al. Evaluation of pre-rigor injection of beef with proteases on cooked meat volatile profile after 1 day and 21 days post-mortem storage [J]. Meat Science, 2012, 92(4): 430-439.

[37] 刘欣, 赵改名, 田玮, 等. 肉桂添加量对卤鸡腿肉挥发性风味成分的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(6): 34-40.

[38] 毕姗姗, 赵改名, 柳艳霞, 等. 煮制条件对卤鸡肉品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(8): 240-244.

(上接第 89 页)

[15] GB 5009.4-2016. 食品中灰分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[16] 刘襄河, 郑丽璇, 郑丽勉, 等. 双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉含量 [J]. 广东农业科学, 2013, 40(18): 97-100.

[17] Singleton V L, Orthofer R, Rosam L, et al. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent [J]. Methods in Enzymology, 1999, 299(1): 152-178.

[18] 袁旭, 伍小宇, 李伟丽, 等. 郫县豆瓣的营养、多酚含量与抗氧化活性评价 [J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 270-274.

[19] Brand-williams W M, Cuvelier E, Berset W T. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity [J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1): 25-30.

[20] Shen Y, Zhang H, Cheng L, et al. *in vitro* and *In Vivo* antioxidant activity of polyphenols extracted from black highland barley [J]. Food Chemistry, 2015: S0308814615012911.

[21] Chinma C E, Anuonye J C, Simon O C, et al. Effect of

germination on the physicochemical and antioxidant characteristics of rice flour from three rice varieties from Nigeria [J]. Food Chemistry, 2015, 185: 454-458.

[22] Wu F, Yang N, Touré A, et al. Germinated brown rice and its role in human health [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2013, 53(5): 451-463.

[23] Alvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt E K, et al. Polyphenol composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking [J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 770-778.

[24] Allothman M, Bhat R, Karim A. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents [J]. Food Chemistry, 2009, 115(3): 785-788.

[25] Zielinski H, Kozłowska H, Lewczuk B. Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2001, 2(3): 159-169.

中国科技核心期刊, 轻工行业优秀期刊  
 订阅热线: 010-87244116 QQ: 1787000719