

不同熟化方式下荞麦蛋白质含量 及氨基酸组成的比较分析

宋萌萌¹, 刘媛^{1*}, 王健^{1*}, 宋鹏飞¹, 李云龙^{2*}

(1. 河北北方学院农林科技学院, 河北省农产品食品质量安全分析检测重点实验室, 河北张家口 075000)

(2. 山西农业大学山西功能食品研究院, 山西太原 030031)

摘要: 为提高荞麦蛋白营养与氨基酸的综合利用价值, 采用3种熟化方式处理甜荞, 在测定熟化前后荞麦蛋白等电点及电泳分析的基础上, 采用考马斯亮蓝法对熟化前后荞麦蛋白进行分析, 采用茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪法对氨基酸组成进行营养价值评价。结果表明, 未加工荞麦蛋白质量分数为12.30%, 蒸制后荞麦蛋白质量分数为11.5%, 炒制后荞麦蛋白质量分数9.70%, 煮制后荞麦蛋白质量分数最高, 为14.80%。不同熟化方式的氨基酸总量差异不大, 3种熟化方式中均含有人体必需的7种氨基酸, 炒制后氨基酸的总量最高, 为10.30 g/100 g, 煮制后最低, 含量为9.43 g/100 g; 蒸制、炒制后除 Tyr 外, 剩余氨基酸含量均升高; 煮制后, Thr、Ser、Gly、Ala 及 Ile 含量均没有发生变化, Val、Met、Tyr、Lys、His、及 Arg 含量均降低。熟化方式对荞麦蛋白及氨基酸含量影响的研究可为荞麦应用提供理论基础。

关键词: 荞麦; 蛋白质; 熟化方式; 氨基酸分析

文章编号: 1673-9078(2022)10-117-123

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.10.1336

Comparative Analyses of Protein Content and Amino Acid Composition of the Buckwheat Cured by Different Methods

SONG Mengmeng¹, LIU Yuan^{1*}, WANG Jian^{1*}, SONG Pengfei¹, LI Yunlong^{2*}

(1. Hebei Key Laboratory of Quality & Safety Analysis-Testing for Agro-Products and Food, College of Agriculture and Forestry Science and Technology, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China)

(2. Institute of Functional Food of Shanxi, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In order to improve the comprehensive utilization value of buckwheat protein and amino acids, three curing methods were used to treat the sweet buckwheat. After the determination of the isoelectric point of buckwheat protein before and after curing and the electrophoresis analysis, the Coomassie brilliant blue method was used to analyze the buckwheat protein before and after curing. The nutritional value of amino acid composition was evaluated by ion exchange chromatography with ninhydrin post-column derivatization. The results showed that the protein content of the unprocessed buckwheat was 12.30%, the protein content of the buckwheat subjected to steaming was 11.5%, the protein content of the buckwheat subjected to frying was 9.70%, and the highest protein content of the cooked buckwheat was 14.80%. There was little difference in the total amount of amino acids among the buckwheat samples cured by different methods. All the three types of cured buckwheat samples contained 7 essential amino acids, with the total amount of amino acids in the fried buckwheat being the highest (10.30 g/100 g), and

引文格式:

宋萌萌,刘媛,王健,等.不同熟化方式下荞麦蛋白质含量及氨基酸组成的比较分析[J].现代食品科技,2022,38(10):117-123

SONG Mengmeng, LIU Yuan, WANG Jian, et al. Comparative analyses of protein content and amino acid composition of the buckwheat cured by different methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(10): 117-123

收稿日期: 2021-11-26

基金项目: 张家口市重点研发计划项目(1911016-G); 国家现代农业(燕麦荞麦)产业技术体系建设专项(CARS-07-E-2); 山西省重点研发计划项目(201903D211006)

作者简介: 宋萌萌(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工, E-mail: 1835873281@qq.com

通讯作者: 刘媛(1980-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 研究方向为农产品加工及贮藏工程; E-mail: 1041690430@qq.com; 共同通讯作者: 王健(1980-), 男,

博士, 教授, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 981773212@qq.com; 共同通讯作者: 李云龙(1979-), 男, 研究员, 研究方向: 荞麦精深加工技术, E-mail:

liyulong125@126.com

that for the cooked buckwheat being the lowest (9.43 g/100 g); After steaming and frying, the contents of all the amino acids increased except for Tyr.; after cooking, the contents of Thr, Ser, Gly, Ala and Lle did not change, whilst the contents of Val, Met, Tyr, Lys, His, and Arg all decreased. The research on the effects of curing methods on the protein and amino acid contents of buckwheat can provide a theoretical basis for the application of buckwheat.

Key words: buckwheat; protein; maturation mode; amino acid analysis

荞麦, 蓼科 (*Polygonaceae*) 为蓼科荞麦属的双子叶植物^[1], 常见的栽培品种有甜荞 (*Fagopyrum esculentum* Mouch) 和苦荞 (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaench), 即普通荞麦和鞑靼荞麦。荞麦富含蛋白质、维生素、必需氨基酸及黄酮类化合物, 是一种具有较高营养价值的作物^[2,3]。我国荞麦种质资源丰富, 年产量世界排名第二^[4]。从营养学的角度上说, 任何谷物能否作为人类食物主要取决于其蛋白质的数量和质量^[5]。荞麦蛋白是一种天然活性成分, 其赖氨酸含量较高, 在降血糖、降血脂、提高人体免疫力方面发挥着重要作用^[6-8]。蛋白质是甜荞的重要营养组分, 约占甜荞籽粒含量的 15%, 高于普通禾谷类作物, 且具有良好的氨基酸平衡模式和很高的生物学价值^[9]。Han 等^[10]对荞麦、小麦等 9 种谷物的蛋白质及必需氨基酸进行了评分, 发现荞麦评分最高, 因此认为它是谷物中最好的蛋白质来源。荞麦因其无麸质、具有多种生物活性以及预防各种慢性疾病的健康益处, 成为一种受欢迎的功能性食品^[11]。

近些年来, 我国对荞麦的研究集中在荞麦营养物质及荞麦新产品的开发, 例如荞麦馒头^[12]、荞麦发酵酒^[13]、荞麦蜜^[14]、荞麦小吃^[15]等。研究表明, 加工方式对谷物蛋白结构和功能有显著影响, 蛋白的特性很大程度影响食品的工艺、营养与感官^[16-18]。米宏伟等^[19]研究不同加工工艺对荞麦蛋白热性质的影响, 发现温度的高低会对荞麦蛋白产生影响; 隋秀芳等^[20]研究炒、蒸煮与重组造粒加工工艺对苦荞茶香气和营养成分的影响, 结果表明, 蒸煮工艺中蛋白质质量分数由 6.49% 增加至 27.51%, 炒制工艺中蛋白质质量分数由 26.80% 降低至 21.94%; 马艺超等^[21]以苦荞全粉、苦荞芯粉、苦荞麸皮粉为原料蒸制馒头, 结果表明, 苦荞馒头 (全、芯、皮) 中蛋白质质量分数分别下降了 3.51%、2.94%、6.22%。

目前, 荞麦加工基础理论相对薄弱, 荞麦蛋白的营养与氨基酸没有得到充分的开发与利用, 且关于不同熟化方式处理荞麦中蛋白质及氨基酸的变化缺乏系统性探讨。因此本研究以冀西北主产甜荞为原料, 分别采用蒸制、煮制、炒制三种形式对甜荞进行加工, 分析不同熟化方式对荞麦蛋白质及氨基酸的影响, 对熟化前后荞麦蛋白质及氨基酸组成进行对比分析, 选

择最好的熟化方式, 从而最大限度的保留荞麦蛋白, 进一步提高甜荞的经济价值, 为荞麦制品开发及工业化生产提供一定理论参考。

1 材料与方法

1.1 原料

甜荞麦籽粒, 张家口弘基农业科技开发有限公司; 盐酸、浓硫酸、氢氧化钠、氯化钠、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、磷酸、十二烷基硫酸钠 (SDS)、乙醇、石油醚均为分析纯, 鼎瑞化工有限公司; 考马斯亮蓝 R-250、丙烯酰胺、过硫酸铵均为电泳纯, 鼎瑞化工有限公司; 透析袋 MD44-7, 北京微克航科技有限公司。

1.2 仪器设备

DL-5M 冷冻离心机, 长沙湘锐离心机有限公司; PHSJ-3F pH 计北京瑞利分析仪器厂; UV-1800B 紫外分光光度计, 北京瑞利分析仪器厂; LGJ-10C 真空冷冻干燥仪, 上海第三分析仪器厂; JJG1064-2011 氨基酸分析仪, 北京瑞利分析仪器厂; ESB-500X 均质乳化机, 上海第三分析仪器厂; K1100-全自动凯氏定氮仪, 上海第三分析仪器厂; 85-2 型磁力搅拌器, 北京瑞利分析仪器厂; SF 高速粉碎机, 北京瑞利分析仪器厂; 60 目标准筛, 北京瑞利分析仪器厂; DYCZ-24D 垂直电泳槽, 北京六一仪器厂; DYY-12C 稳流稳压电泳仪, 北京六一仪器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 荞麦的熟化及荞麦粉的制备

甜荞麦经除杂、清洗后用于不同处理。

蒸制: 准确称量 50 g 甜荞麦, 将荞麦放置压热温度为 121 °C, 压热压力为 0.4 MPa 下 60 min。结束后放置 45 °C 烘 24 h 后密封备用。

煮制: 准确称量 50 g 甜荞麦, 将甜荞放置沸水中煮制 50 min, 料液比为 1:10。结束后滤干多余水分, 45 °C 烘 48 h 后密封备用。

炒制: 准确称量 50 g 甜荞麦, 将荞麦放置锅中来回翻炒, 直至荞麦表皮出现焦黄色, 产生荞麦特殊香气后炒至结束。

荞麦粉的制备：将同等重量的未熟化荞麦和熟化（蒸制、炒制、煮制）后的荞麦分别放入高速粉碎机内粉碎过 60 目筛，密封保存。

1.3.2 碱溶酸沉法提取荞麦蛋白工艺流程

甜荞麦籽粒→磨粉→脱脂→加入蒸馏水使料液比=1:15→调节 pH 值为 10→50 °C 恒温浸提 120 min→离心→取上清液→酸沉→沉淀水洗→冷冻干燥→荞麦蛋白提取物

1.3.3 熟化前后荞麦蛋白含量变化的测定

可溶性蛋白含量测定：考马斯亮蓝法^[22]。以相应试剂为空白，于波长 595 nm 处比色，记录吸光度值，建立标准曲线，得到线性回归方程为：

$$Y=0.1594x+0.7815 \quad (R^2=0.9986)$$

将吸光度值代入标准曲线方程计算可溶性蛋白含量。

双缩脲法测定蛋白质含量：

$$P = \frac{m_0 \times m_1}{V \times c} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

P ——蛋白质含量，%；

m_0 ——原料质量，g；

m_1 ——原料中蛋白质的含量，%；

V ——提取液体积，L；

c ——提取液中蛋白质的浓度，g/L。

1.3.4 熟化前后荞麦蛋白等电点的测定

准确称取熟化前后荞麦蛋白样品各 1 g，按料液比 1:15 ($m:V$) 加入蒸馏水，调 pH 值至 10.0 左右，55 °C 恒温水浴加热 140 min，加热完成后离心，取上清液。取 6 等份上清液，每份 10 mL，加盐酸分别调 pH 值为 3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5，静置 30 min 后，6 000 r/min 离心 15 min，取 1 mL 稀释后的上清液测定吸光度。吸光度值最低处即为蛋白质沉淀量最大处，此处 pH 值即为蛋白质等电点。

1.3.5 熟化前后荞麦蛋白质 SDS-PAGE 电泳分析

为研究熟化前后荞麦蛋白分子量的变化，采用蛋白质凝胶电泳 (SDS-PAGE) 分析荞麦蛋白分子量分布。取 2 mL 待测组分蛋白样品液，然后加入与样液等体积的蛋白处理液，充分混匀后放置于沸水中加热 2 min，冷却后备用。将各组分蛋白用微量进样器进样 20 μ L，电泳过程中保持 100 V 恒定电压。电泳结束后，采用考马斯亮蓝 R-250 染色 2 h，脱色 2 h 后，拍照记录分析。

1.3.6 熟化前后荞麦蛋白氨基酸组成分析及营养评价

1.3.6.1 熟化前后荞麦蛋白氨基酸组成分析

GB 5009.124-2016 茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪法。

仪器条件：柱 2.6 mm \times 150 cm；树脂：2169#；柱

温：53 °C；泵流速：0.226 mL/min；泵压力：8.8 MPa；汞 2 茚三酮流量：0.3 mL/min。

样品的处理：样品经粉碎后过 60 目筛，准确称取 40~60 mg，放入试管中，加 6 mol/L 的 HCl 溶液 10 mL，抽真空至无气泡后立即封管。105 °C 水解 22 h，冷却后过滤定容至 50 mL 容量瓶中，摇匀后取出 1 mL 减压浓缩直至干燥，用 0.02 mol/L 的 HCl 溶液稀释定容到 10 mL，上机分析。

1.3.6.2 熟化前后荞麦中氨基酸营养价值评价

根据 FAO/WHO 推荐的全鸡蛋氨基酸模式和必需氨基酸模式 (1973)，计算荞麦蛋白氨基酸评分 (AAS) 和化学评分 (CS)^[23]。该方法包括氨基酸比值 (Ratio of Amino Acid, RAA)，氨基酸比值系数 (Ratio Coefficient of Amino Acid, RCAA)，以此表示食物蛋白质的氨基酸组成与模式蛋白氨基酸的接近程度，计算公式如下：

$$AAS = \frac{m_2}{m_3} \quad (2)$$

$$CS = \frac{m_2}{m_4} \quad (3)$$

$$RAA_i = \frac{A_i}{A_a} \quad (4)$$

$$RCAA = \frac{RAA_i}{RAA} \quad (5)$$

式中：

m_2 ——每克样品蛋白中某种必需氨基酸的含量，mg；

m_3 ——每克 FAO/WHO 评分模式中相应必需氨基酸的含量，mg；

m_4 ——每克鸡蛋评分模式中对应必需氨基酸的含量，mg；

A_i ——测定样品中某必需氨基酸的含量，mg/g；

A_a —— A_i 与模式蛋白质中对应必需氨基酸的含量，mg/g；

RAA_i ——测定样品的氨基酸比值；

$RCAA_i$ ——测定样品的氨基酸比值系数。

1.3.7 数据分析及处理

试验数据以均值 \pm 标准差表示，组间比较采用 SPSS 22.0 软件进行处理，每组数据均重复处理 3 次。采用 Excel 2010 软件统计数据并作图。

2 结果与讨论

2.1 熟化前后荞麦蛋白含量的变化

熟化前后荞麦蛋白含量的变化如图 1 所示，通过考马斯亮蓝法测得未熟化的荞麦蛋白质量分数为 12.30%，蒸制后荞麦蛋白质量分数为 11.50%，炒制后荞麦蛋白质量分数为 9.70%，煮制后荞麦蛋白质量分

数最高为 14.80%。蒸制与炒制后，蛋白质质量分数下降，煮制后蛋白质质量分数上升。

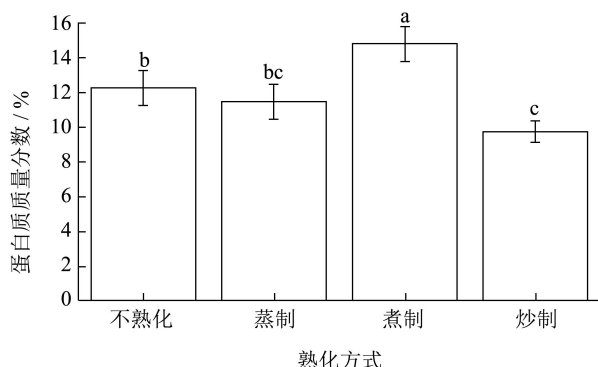


图1 熟化前后荞麦蛋白的含量

Fig.1 Protein content of buckwheat before and after maturation

注：不同字母表示具有显著性差异， $p < 0.05$ 。

2.2 熟化前后荞麦蛋白等电点的研究

蛋白质分子带有不同解离常数、不同 pH 值和不同总电荷数的带电基团，当 pH 值为某一特定值，即蛋白质所带电荷的总和为零，此时蛋白在电场中不再移动，该 pH 值即为该蛋白质等电点^[24]。熟化前后荞麦蛋白的等电点测定结果如图 2 所示，pH 值 4 时未熟化荞麦蛋白吸光度值最小，这时荞麦蛋白质分子颗粒之间净电荷数为零，溶液中的相同的电荷不会被蛋白质分子所排斥，分子之间极易发生碰撞、产生沉淀。因此 pH 值 4 是未熟化荞麦蛋白的等电点，煮制后的荞麦蛋白等电点在 pH 值 3.5 左右、蒸制后在 pH 值 4 左右、炒制后 pH 值 4.5 在左右。

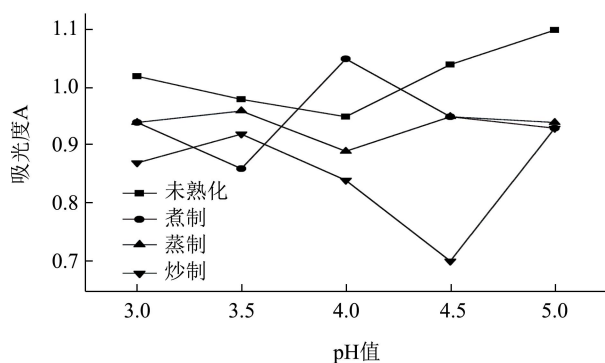


图2 熟化前后荞麦蛋白等电点

Fig.2 Isoelectric point of buckwheat protein before and after processing

2.3 熟化前后荞麦蛋白的电泳分析

SDS-PAGE 常用于反映蛋白质的分子量 (Mw) 和组成。荞麦熟化前和熟化后 (蒸、炒、煮) 粗蛋白的 SDS-PAGE 分析结果见图 3。熟化后的荞麦蛋白大都缺乏高分子量蛋白质组分，蛋白质电泳条带主要集

中在低分子量和中分子量区域^[25]，这与李志西等^[26]的研究结果相一致。未熟化荞麦蛋白条带主要分布于 15~25 ku，有清晰条带，少量条带分布于 50 ku 附近，蒸制与煮制后荞麦蛋白在 15~25 ku 之间的大部分条带消失，炒制后荞麦蛋白在 15~25 ku 之间的条带消失的较少，50 ku 附近蛋白条带消失。

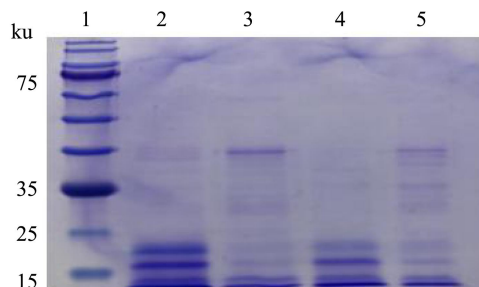


图3 熟化前后甜荞粗蛋白的 SDS-PAGE 图谱

Fig.3 SDS-PAGE map of common buckwheat component protein

注：1：标准蛋白；2：未熟化荞麦蛋白；3：蒸制荞麦蛋白；4：炒制荞麦蛋白；5：煮制荞麦蛋白。

2.4 熟化前后荞麦中氨基酸含量变化分析

表 1 熟化前后荞麦中氨基酸含量 (g/100 g)

Table 1 Amino acid content in buckwheat before and after maturation (g/100 g)

氨基酸	未熟化	蒸制	煮制	炒制
Asp	1.00	1.07	1.01	1.10
*Thr	0.39	0.42	0.39	0.44
Ser	0.48	0.51	0.48	0.56
Glu	1.72	1.82	1.75	1.91
Pro	0.42	0.45	0.43	0.46
Gly	0.58	0.62	0.58	0.62
Ala	0.47	0.50	0.47	0.50
*Val	0.56	0.59	0.55	0.57
*Met	0.09	0.09	0.08	0.09
*Lle	0.42	0.44	0.42	0.45
*Leu	0.69	0.74	0.70	0.74
Tyr	0.20	0.18	0.16	0.20
*Phe	0.50	0.54	0.51	0.55
*Lys	0.72	0.74	0.69	0.76
His	0.28	0.29	0.27	0.30
Arg	0.98	1.00	0.94	1.04

注：带*的为人体必需氨基酸。

本研究测定了熟化前后荞麦蛋白中 16 种氨基酸，其中有 7 种必需氨基酸，9 种非必需氨基酸，其组成及含量见表 1，不同熟化方式的氨基酸总量差异不大，炒制与蒸制后氨基酸总量最高，分别达到 10.30 和

10.00 g/100 g, 煮制后最低, 达到 9.43 g/100 g。从平均数可以得出, 荞麦蛋白的 16 种氨基酸中, Glu 和 Asp 含量最高, 分别为 1.80 和 1.05 g/100 g, Met 和 Tyr 含量最低, 分别为 0.09 和 0.19 g/100 g。

本研究中, 3 种熟化方式中均含有 Thr、Val、Met、

Lle、Leu、Phe 与 Lys 等 7 种必需氨基酸, 蒸制、炒制后除 Tyr 外, 剩余氨基酸含量均升高; 煮制后, Thr、Ser、Gly、Ala 及 Lle 含量均没有发生变化, Val、Met、Tyr、Lys、His、及 Arg 含量均降低, 可能是由于煮制过程中对这些氨基酸均存在不同程度的破坏。

表 2 未熟化荞麦蛋白的氨基酸评分(g/100 g)

Table 2 Amino acid score of unprocessed buckwheat protein (g/100 g)

氨基酸	荞麦蛋白	鸡蛋蛋白	AAS	CS	WHO/FAO 模式	RAA	RCAA
Met	0.72	3.40	0.20	0.21	3.50	0.21	0.05
Lys	5.85	4.10	1.06	1.43	5.50	1.06	0.26
Lle	3.41	3.20	0.85	1.06	4.00	0.85	0.21
Leu	5.61	5.10	0.80	1.10	7.00	0.80	0.19
Phe+Tyr	5.69	5.50	0.95	1.03	6.00	0.95	0.23
Val	4.55	3.90	0.91	1.17	5.00	0.91	0.22
Thr	3.17	2.80	0.79	1.13	4.00	0.79	0.19

表 3 煮制荞麦蛋白的氨基酸评分(g/100 g)

Table 3 Amino acid score of buckwheat protein after boiling (g/100 g)

氨基酸	荞麦蛋白	鸡蛋蛋白	AAS	CS	WHO/FAO 模式	RAA	RCAA
Met	0.57	3.40	0.16	0.17	3.50	0.16	0.29
Lys	4.66	4.10	0.85	1.14	5.50	0.85	1.49
Lle	2.84	3.20	0.71	0.89	4.00	0.71	1.25
Leu	4.73	5.10	0.68	0.93	7.00	0.68	1.19
Phe+Tyr	4.53	5.50	0.76	0.82	6.00	0.76	1.32
Val	3.72	3.90	0.74	0.95	5.00	0.74	1.31
Thr	2.64	2.80	0.66	0.94	4.00	0.66	1.16

表 4 蒸制荞麦蛋白的氨基酸评分(g/100 g)

Table 4 Amino acid score of steaming buckwheat protein (g/100 g)

氨基酸	荞麦蛋白	鸡蛋蛋白	AAS	CS	WHO/FAO 模式	RAA	RCAA
Met	0.82	3.40	0.23	0.24	3.50	0.23	0.29
Lys	6.43	4.10	1.17	1.57	5.50	1.17	1.43
Lle	3.83	3.20	0.96	1.17	4.00	0.96	1.17
Leu	6.43	5.10	0.92	1.26	7.00	0.92	1.12
Phe+Tyr	6.26	5.50	1.04	1.14	6.00	1.04	1.27
Val	5.13	3.90	1.02	1.32	5.00	1.03	1.25
Thr	3.65	2.80	0.91	1.30	4.00	0.91	1.11

表 5 炒制荞麦蛋白的氨基酸评分(g/100 g)

Table 5 Amino acid score of fried buckwheat protein (g/100 g)

氨基酸	荞麦蛋白	鸡蛋蛋白	AAS	CS	WHO/FAO 模式	RAA	RCAA
Met	0.95	3.40	0.27	0.28	3.50	0.27	0.05
Lys	7.84	4.10	1.43	1.91	5.50	1.43	0.25
Lle	4.64	3.20	1.16	1.45	4.00	1.16	0.21
Leu	7.63	5.10	1.09	1.50	7.00	1.09	0.19
Phe+Tyr	7.73	5.50	1.29	1.41	6.00	1.29	0.23
Val	5.88	3.90	1.18	1.51	5.00	1.18	0.21
Thr	4.54	2.80	1.14	1.62	4.00	1.14	0.20

2.5 熟化前后荞麦中氨基酸营养价值评价

RAA 表示食品中某必需氨基酸含量与标准模式蛋白的比值。RCAA 表示样品中必需氨基酸组成含量比例与标准模式蛋白的一致程度, RCAA>1 则表示该必需氨基酸含量相对过剩, RCAA<1 则表示该必需氨基酸含量相对不足, RCAA 最小的必需氨基酸为该食品的第一限制性氨基酸^[27]。由表 2~5 可知, 熟化前后荞麦中第一限制性氨基酸是 Met, 且除 Met 外, 其余荞麦蛋白氨基酸含量均高于鸡蛋蛋白; 未熟化、蒸制及炒制后荞麦蛋白中 Lys 的含量均超过 WHO/FAO 模式, 炒制后 Ile、Leu、Phe+Tyr、Val、Thr 含量也均超过 WHO/FAO 模式; 蒸制后 Val 含量接近 WHO/FAO 模式。

3 讨论

与未熟化荞麦蛋白相比, 煮制后蛋白质量分数增加 2.50%, 可能是由于煮制过程中荞麦蛋白在温热或酶的作用下降解成多肽、寡肽或氨基酸等可溶性成分, 导致水溶性蛋白质量分数增加^[28]。蒸制与炒制后荞麦蛋白的含量减少, 炒制后荞麦蛋白质量分数减少 2.6%, 可能是由于炒制过程中温度较高, 破坏荞麦蛋白的结构, 蛋白发生变性, 含量降低; 也可能是由于高温导致氨基酸与还原糖发生反应, 生成挥发性物质^[29]。王丽娟^[30]测定了 9 个荞麦品种的氨基酸含量, 结果表明谷氨酸含量最高, 这与本研究的结果一致。从电泳图谱上可以看出炒制后的荞麦蛋白在 50 ku 附近蛋白条带消失, 这可能与荞麦蛋白拥有两个变性温度有关, 分别在 80 °C 和 105 °C 附近, 对应着 8S 和 13S 球蛋白的变性, 蛋白质破坏、分解产生的其它亚结构; 蒸制和煮制时存在水分, 导致蛋白的流失而炒制时温度较高, 远高于 105 °C, 荞麦蛋白变性程度较高, 热处理可能会导致蛋白质的聚集或裂解, 由于受热, 长链蛋白断裂成短链和小肽, 电泳过程中小肽长度超出了凝胶的检测范围, 因而图中蛋白质条带减少^[31]; 也可能是因为荞麦蛋白中的部分亚基含有二硫键, 炒制条件下, 温度较高导致二硫键断裂^[32]。

4 结论

不同熟化方式下荞麦中蛋白质含量均发生了变化, 煮制条件下, 蛋白质得以很好的保留。根据蛋白质的需求情况可以选择最适的熟化方式。SDS-PAGE 电泳分析结果表明熟化后荞麦中小分子蛋白亚基条带颜色均随热处理时间的增加而逐渐变深, 即小分子蛋白含量均增加, 且与蒸制、煮制不同, 炒制后荞麦蛋

白在 15~25 ku 之间的条带消失的较少, 50 ku 附近蛋白条带消失。不同熟化方式后氨基酸总量差异不大, 3 种熟化方式中均含有人体必需 7 种氨基酸, 炒制氨基酸总量最高, 煮制后最低; 除 Met 外, 其余荞麦蛋白氨基酸含量均高于鸡蛋蛋白; 炒制后, 7 种必需氨基酸含量相对不足, Met 为荞麦的第一限制性氨基酸。这一结果为探究不同熟化过程中蛋白质结构变化与消化性之间的关系提供一定的理论依据, 荞麦是一种极其重要的营养保健食品具有十分广泛的开发利用前景。

参考文献

- [1] 杜双奎,李志西,于修焯.荞麦蛋白研究进展[J].食品科学, 2004,10:409-414
- [2] Joshi D C, Chaudhari G V, Sood S, et al. Revisiting the versatile buckwheat: reinvigorating genetic gains through integrated breeding and genomics approach [J]. *Planta*, 2019, 250(3): c783-801
- [3] Zhu F. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat [J]. *Food Chemistry*, 2016, 203(Jul.15): 231-245
- [4] Bhinder S, Kaur A, Singh B, et al. Proximate composition, amino acid profile, pasting and process characteristics of flour from different Tartary buckwheat varieties [J]. *Food Research International*, 2019, 130: 108946
- [5] Mir N A, Riar C S, Singh S. Nutritional constituents of pseudo cereals and their potential use in food systems: a review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 75: 170-180
- [6] 阮景军,陈惠.荞麦蛋白的研究进展与展望[J].中国粮油学报,2008,3:209-213
- [7] 周小理,黄琳.荞麦蛋白的组成与功能成分研究进展[J].上海应用技术学院学报(自然科学版),2010,10(3):196-199, 233
- [8] 刘璋,刘龙龙,马名川,等.基于肥效试验晋北干旱区苦荞麦施肥指标体系构建[J].山西农业科学,2020,48(12):1958-1963
- [9] GUO Xiaona, ZHU Kexue, ZHANG Hui, et al. Anti-tumor activity of a novel protein obtained from Tartary buckwheat [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2010, 11(12): 5201-5211
- [10] HAN Fei, HAN Fenli, WANG Yong, et al. Digestible indispensable amino acid scores of nine cooked cereal grains [J]. *The British Journal of Nutrition*, 2019, 121: 30-41
- [11] 刘靖,宋雨,赵钢,等.荞麦蛋白结构、生理活性及其应用的研究进展[J].食品工业科技,2021,42(20):400-407
- [12] 原克波,王琢,孙丽萍,等.荞麦-小麦粉馒头复配添加剂的研

- 究[J].粮食与油脂,2021,34(6):37-40
- [13] 尚英.荞麦百香果复合发酵果酒工艺研究[J].食品研究与开发,2020,41(2):113-117
- [14] 王桃红,张少博,张会敏,等.荞麦蜜中挥发性成分测定及其与成熟度的相关性分析[J].食品科学,2020,41(22):222-230
- [15] Iqbal Sarwar, Thanushree M P, Sudha M L, et al. Quality characteristics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) based nutritious ready-to-eat extruded baked snack [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(5): 2034-2040
- [16] 王龙飞,王新伟,赵仁勇.藜麦蛋白的特点、性质及提取的研究进展[J].食品工业,2017,38(7):255-257
- [17] Peng W, Kong X, Chen Y, et al. Effects of heat treatment on the emulsifying properties of tea proteins [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 301-310
- [18] Nickel J, Spanier L P, Botelho F T, et al. Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grains [J]. Food Chemistry, 2016, 209: 139-143
- [19] 米宏伟,郑宗坤,唐传核,等.加工工艺对荞麦蛋白热性质和体外模拟消化过程的影响[J].食品科学,2007,12:32-36
- [20] 隋秀芳,李祥,秦礼康,等.蒸煮和焙炒整米苦荞茶香气成分分析及生产过程中主要化学成分的去向[J].食品科学,2012,33(22):269-273
- [21] 马艺超.不同热加工对苦荞制品功能成分、质构及体外消化的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2019
- [22] 郭晓娜.苦荞粉蛋白质的分级制备及理化性质[J].食品与生物技术学报,2006,25(3):88-92
- [23] WHO/FAO. Energy and protein requirements [R]. Geneva: World Health Organization, 1985, 11: 481-486
- [24] 廖灿杰,杨宏,王玉栋,等.响应面法优化番木瓜籽蛋白质提取工艺[J].食品研究与开发,2020,41(1):147-154
- [25] 陶健.荞麦蛋白的制备及功能特性研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2004
- [26] 李志西,魏益民,张国权.荞麦籽粒谷蛋白亚基结构研究初探[J].中国粮油学报,1993,4:11-14
- [27] 鲜双,姜林君,李艳兰,等.不同方式发酵的哈密瓜幼果泡菜理化特性和氨基酸含量分析[J].食品与发酵工业,2021,47(5):224-230
- [28] Erickson R H, Kim Y S. Digestion and absorption of dietary protein [J]. Annual Review of Medicine, 1990, 41(1): 133-139
- [29] 宋盼盼.苦荞粉不同熟化工艺比较及系列营养糊产品开发[D].成都:成都大学,2021
- [30] 王丽娟.荞麦中氨基酸含量的分析[J].氨基酸和生物资源,1995,17(3):48-50
- [31] 于小番,袁亚明,叶宇,等.不同热处理方式下虾肉品质和蛋白质结构变化的差异[J].现代食品科技,2021,37(5):160-168
- [32] 张雪冰,王晓闻,卢亚东,等.不同 pH 和离子强度对荞麦蛋白功能特性的影响[J].山西农业科学,2021,49(3):372-375,391