

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)03-0258-07

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.03.008

贮藏加工

富锌马铃薯锌分布特征及加工方式对锌含量的影响

邱心洋¹, 刘雨鑫¹, 袁惠君¹, 李梅², 程建新², 田世龙², 李志忠^{1*}

(1. 兰州理工大学生命科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 马铃薯主粮化战略的提出标志着马铃薯已经成为中国第四大主粮, 研究不同功能的马铃薯对于马铃薯产品加工具有重要意义。研究的目的是探究总锌和有机锌在两个富锌马铃薯品种‘陇薯7号’‘陇薯14号’和普通品种‘青薯9号’不同部位的分布和熟化方式对总锌含量的影响。在3种供试马铃薯品种中, ‘陇薯7号’内髓部和外髓部作为主要可食部分总锌含量最高, 达18.7 $\mu\text{g/g DW}$, 比‘青薯9号’高20.4%; 其内髓部有机锌含量达10.7 $\mu\text{g/g DW}$, 比‘青薯9号’和‘陇薯14号’分别高4.8%和57.8%。5种熟化方式中, 烤制对富锌马铃薯可食部位的锌含量影响最小, 蒸制、水煮、煎制、油炸均使3个马铃薯品种可食部位锌含量大幅损失, 损失量排序为水煮>蒸制>煎制>油炸。研究结果表明, ‘陇薯7号’内髓部总锌含量以及有机锌含量丰富, 可用作富锌马铃薯产品生产的原料, 在对富锌马铃薯的加工过程中为降低锌含量的损失应尽可能选择烤制处理。

关键词: 富锌马铃薯; 锌含量分布; 熟制工艺; 补锌

Distribution Characteristics of Zinc in Zinc-rich Potatoes and Influences of Processing Methods on Zinc Content

QIU Xinyang¹, LIU Yuxin¹, YUAN Huijun¹, LI Mei², CHENG Jianxin², TIAN Shilong², LI Zhizhong^{1*}

(1. School of Life Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050, China;

2. Institute of Agricultural Products Storage and Processing, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The introduction of the potato staple food strategy marks the recognition of potatoes as China's fourth major staple crop; therefore, studies on potatoes with different functions hold great significance for potato product processing. The objective of this study was to investigate the distribution of total zinc and organic zinc in different parts of two zinc-rich potato varieties, 'Longshu 7' and 'Longshu 14', as well as a regular variety 'Qingshu 9', and to explore the impact of cooking methods on total zinc content. Among the three potato varieties tested, the internal medulla and outer medulla of 'Longshu 7' had the highest total zinc content in the main edible parts, reaching 18.7 $\mu\text{g/g DW}$, which was 20.4% higher than that of 'Qingshu 9'. The organic zinc content in the internal medulla of 'Longshu 7' was 10.7 $\mu\text{g/g DW}$, which was 4.8% and 57.8% higher than that of 'Qingshu 9' and 'Longshu 14', respectively. Among the five cooking

收稿日期: 2023-06-13

基金项目: 联合国世界粮食计划署项目(WFPGSP-3)。

作者简介: 邱心洋(1999-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为特色生物资源与功能性食品开发。

*通信作者(Corresponding author): 李志忠, 教授, 主要研究方向为特色生物资源与功能性食品开发, E-mail: zzli2004@lut.edu.cn。

methods, baking had the least impact on the zinc content of the edible parts of zinc-rich potatoes. Steaming, boiling, frying, and deep-frying all led to significant losses in zinc content of the edible parts for the three potato varieties, with the order of loss being boiling > steaming > frying > deep-frying. The results showed that the internal medulla of 'Longshu 7' has abundant total zinc content as well as organic zinc content, making it suitable for use as a raw material in the production of zinc-rich potato products. In the context of processing zinc-rich potatoes, the adoption of baking is advised as much as possible to decrease the losses of zinc content.

Key Words: zinc-rich potato; zinc distribution; cooking; zinc supplement

锌(Zn)是人体必须的微量元素之一^[1]。缺锌会影响免疫系统功能并引发生长迟缓、皮肤粗糙、神经感觉障碍等疾病^[2]。针对于人体缺锌这一问题可以通过服用含锌药物缓解,但长期服用药物会对人体正常代谢造成影响^[3];也可通过营养素补充无机锌,但无机锌仅为离子键结构,容易与人体中的不溶成分结合而排出体外^[4]。因此,通过摄入富锌食品补充有机锌是科学补锌的有效途径之一^[5],随着健康中国战略的提出,食补微量元素更被大力提倡和推广^[6]。贝壳类、牛肉、鱼、虾、蛋黄等动物性食物含锌量较高^[7,8],但是对于贫困地区,通过摄入动物性食物补锌有一定的经济和原料难度。因此,选择价格适宜,来源便利的富锌食品对于解决人体缺锌这一问题具有重要意义。粮食、蔬菜等作物是中国居民膳食结构的重要组成部分^[9],为了提高作物可食部位中锌的含量,并开发富锌农产品,合理施用锌肥是其中的有效途径之一^[10-12]。中国马铃薯的生产分布与贫困县分布高度契合^[13],全国70%以上的马铃薯种植面积分布在贫困地区,马铃薯也是当地重要的粮食来源^[14]。富锌马铃薯是生长过程中自然富集锌或对现有马铃薯种植中施肥方式的改良、创新而获得的富含锌的马铃薯^[15]。因此,通过对富锌马铃薯中锌元素的分布、锌含量的分析以及烹饪方式对锌含量的影响,筛选出适宜补锌的富锌马铃薯品种,并为后续富锌马铃薯产品开发过程中减少锌含量的流失提供方法,提高贫困地区富锌马铃薯资源利用率并进行推广,从而实现全民补锌的目标。基于此,本研究选择甘肃省定西市盛产的富锌马铃薯品种‘陇薯7号’‘陇薯

14号’和普通品种‘青薯9号’为原料,分析了3种马铃薯不同部位总锌和有机锌含量,并研究了蒸制、水煮、煎制、油炸、烘烤5种熟化方式对锌含量的影响,为富锌马铃薯推广及其产品开发提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

参试品种为普通马铃薯品种‘青薯9号’、富锌马铃薯品种‘陇薯7号’和‘陇薯14号’,由甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所提供,各马铃薯品种均在相同生长条件下培育。

1.2 试验方法

1.2.1 取样方法

取大小均匀的干净马铃薯,用削皮器削取块茎周皮和外皮层、1.5~2 cm处的外髓部和块茎切面中心点半径1 cm的内髓部。

1.2.2 3个马铃薯品种不同部位总锌含量测定

总锌含量参考文献[16]和GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》^[17],使用马弗炉(TN1200-30,郑州鑫涵仪器设备有限公司)将样品灰化,用火焰原子吸收光谱仪(Z500,株式会社日立制作所)测定,再根据组织含水量算出每克干重样品中的总锌含量。组织水分含量测定用干重法:准确称取鲜样放入105℃的烘箱(GZ-240MB,上海高精科学有限公司)中杀青10 min后,80℃烘干至恒重,称干重(Dry weight, DW)^[18,19]。组织含水量为鲜重与干重的差值占干重的百分比。

1.2.3 3个马铃薯品种不同部位有机锌含量测定

参考程宇等^[20]和吴永尧等^[21]的方法进行稍许修

改:准确称取马铃薯组织 100 g,切块放入 400 mL 蒸馏水。用多功能料理机(HR2101,广东雅思乐电器科技股份有限公司)打碎后置于 4℃ 下静置 12 h,用双层滤布过滤后上清液放入离心机(TDZ6-WS,湖南赫西仪器装备有限公司),在 4℃ 下 8 000 r/min 离心 20 min,取上清液 20 mL 分装于离心管中,分别加入 20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100% (g/mL) 的固体硫酸铵完全溶解后在 4℃ 下静置 1 h,然后 4℃ 下 8 000 r/min 离心 30 min,弃上清液并向沉淀中转入 200 mL 磷酸缓冲溶液(PBS, pH 7.4),再在 4℃ 下 8 000 r/min 离心 10 min,将蛋白溶液倒入透析袋,悬浮在自来水中,滴 2~3 滴甲苯防腐,置于 4℃ 冰箱内透析 24 h,2~3 h 换一次水;再用蒸馏水透析 24 h,至 10% 氯化钡溶液加入水中无白色沉淀析出。参考卢戟等^[22]的方法,用 G-250 考马斯亮蓝法测定脱盐后溶液的蛋白质含量。再按照 GB 5009.14—2017^[17]方法,用火焰原子吸收光谱法测定硫酸铵沉淀所得蛋白质中锌的含量,计算出 100 g 鲜薯组织中的有机锌含量。

1.2.4 熟化方式对 3 个马铃薯品种可食部分总锌含量的测定

将马铃薯去除周皮后切成 6 mm 的厚片,分别采用以下 5 种方式进行熟化,每种熟化方式选择不同部位的马铃薯厚片各 3 片。

(1)蒸制:向蒸锅中加入 500 mL 蒸馏水加热至沸腾,用蒸汽加热 8 min 后备用;

(2)水煮:向铝锅中加入 800 mL 蒸馏水加热至沸腾,放入薯片样品煮制 6 min 后取出备用;

(3)煎制:将 20 mL 植物油放入铝锅中,油温加热至 120℃,放入薯片样品,中火将每面煎 1.5 min 后取出备用;

(4)油炸:将 150 mL 植物油倒入铝锅中,油温加热至 90℃ 放入薯片样品,中火(约 170℃)炸制 5 min 后取出备用;

(5)烘烤:将薯片样品放入预热 180℃ 烤箱,烤制 10 min 后取出。

以去周皮的鲜薯切片作为对照,通过火焰原

子吸收光谱法测定样品鲜重总锌含量并比较不同熟化方式对锌含量的影响。

1.3 数据处理

所有试验均设置 3 组平行,用 SPSS Statistics 26.0 软件对数据进行单因素方差分析,Duncan's 新复极差法检验处理数据间差异显著性,SciDAVis 2.30 进行作图。

2 结果与分析

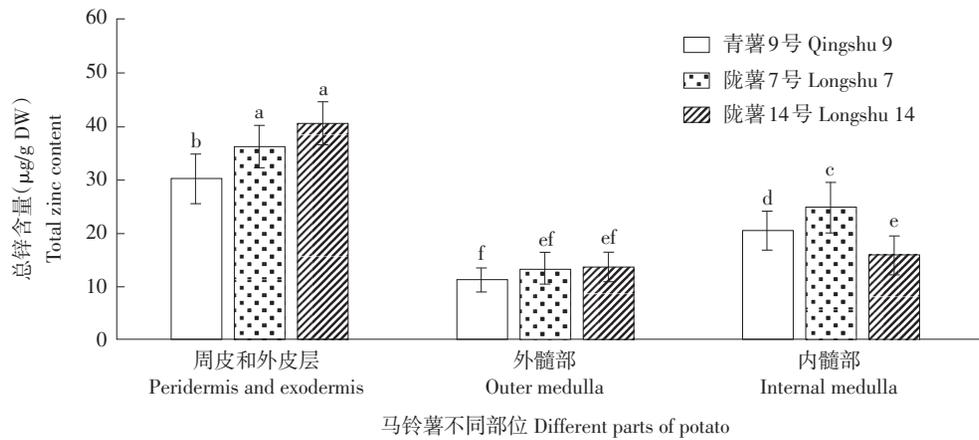
2.1 3 个马铃薯品种不同部位总锌含量分析

普通马铃薯和富锌马铃薯块茎均为周皮和外皮层总锌含量最高,其次内髓部,外髓部总锌含量最低(图 1)。富锌马铃薯品种‘陇薯 7 号’内髓部总锌含量达到 24.4 $\mu\text{g/g}$ DW,比普通品种马铃薯‘青薯 9 号’高 21.4%,其内髓部和外髓部作为主要可食部分平均总锌含量达到 18.7 $\mu\text{g/g}$ DW,比‘青薯 9 号’高 20.4%。‘陇薯 14 号’周皮和外皮层总锌含量最高,分别比‘陇薯 7 号’和‘青薯 9 号’高 11.6% 和 34.2%。3 个品种总锌含量在周皮和外皮层、内髓部具有显著性差异,在外髓部差异不显著($P>0.05$)。

2.2 3 个马铃薯品种不同部位有机锌含量分析

3 个马铃薯品种不同部位蛋白质含量比较结果如图 2 所示。3 个马铃薯品种的蛋白质含量在周皮和外皮层、内髓部与外髓部之间具有显著差异性($P<0.05$)。‘陇薯 7 号’主要可食部分内髓部蛋白质含量为 36.5 $\mu\text{g/g}$ DW,比‘陇薯 14 号’高 0.1%,但差异不显著($P>0.05$),但是比‘青薯 9 号’高 16.7%;外髓部蛋白质含量为 22.9 $\mu\text{g/g}$ DW,也与‘陇薯 14 号’差异不显著($P>0.05$),但是比‘青薯 9 号’低 29.0%。

3 个马铃薯品种块茎均为内髓部有机锌含量最高(图 3)。作为主要可食部位,‘陇薯 7 号’内髓部有机锌含量达 10.7 $\mu\text{g/g}$ DW,比‘青薯 9 号’和‘陇薯 14 号’分别高 4.8% 和 57.8%,3 个品种间均具有显著差异性($P<0.05$);‘陇薯 7 号’外髓部比‘青薯 9 号’低 27.6%,但比‘陇薯 14 号’高 34.1%,‘青薯 9 号’与‘陇薯 7 号’和‘陇薯 14 号’均具有显著性差异($P<0.05$)。



注: 误差线表示标准差。处理平均值上标有不同小写字母表示差异在0.05水平显著, 采用Duncan's新复极差测验法。下同。

Note: Error bar indicate standard deviation. Treatment means marked with different lowercase letters indicates significant differences at the 0.05 level as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

图1 各马铃薯品种不同部位总锌含量比较

Figure 1 Comparison of the total zinc content of different parts of potato varieties

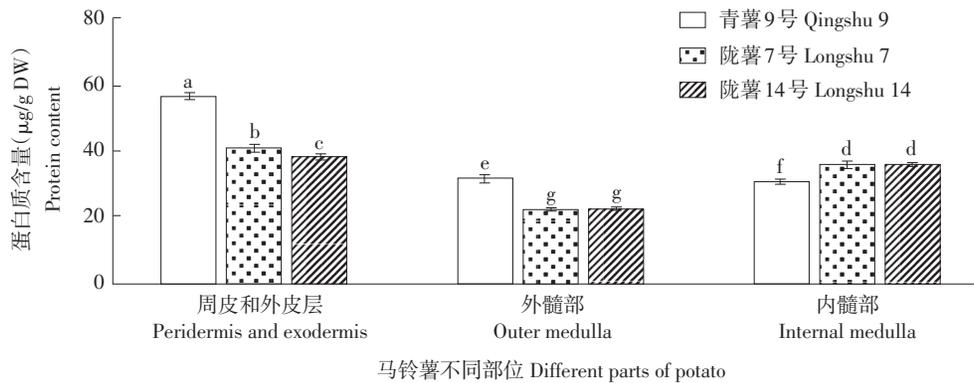


图2 各马铃薯品种不同部位蛋白质含量比较

Figure 2 Comparison of the protein content of different parts of potato varieties

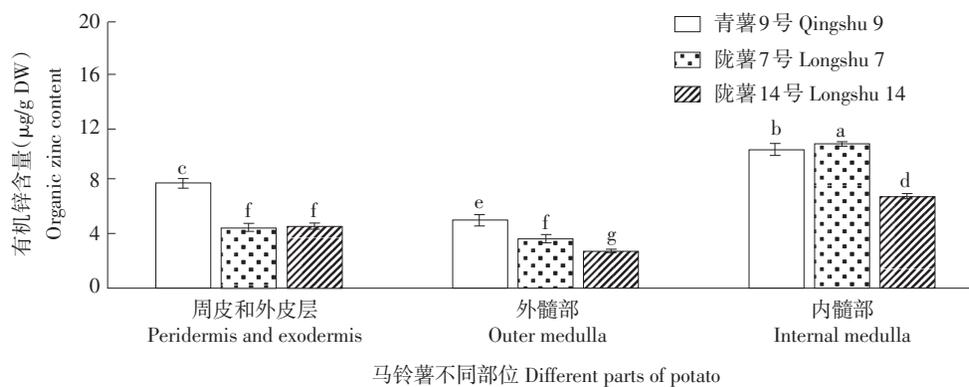


图3 各马铃薯品种不同部位有机锌含量比较

Figure 3 Comparison of the organic zinc content in different parts of potato varieties

2.3 熟化方式对3个马铃薯品种可食部分总锌含量的影响

不同马铃薯品种通过不同熟化方式处理后锌含量分析结果如图4所示。与未熟化的对照处理相比, 烤制的方法不影响‘陇薯7号’和‘青薯9号’锌含量; 蒸、煮、煎、炸均能造成马铃薯锌流失, 使锌含量降低, 其中水煮后锌流失最多, ‘陇薯7号’‘陇薯14号’和‘青薯9号’锌含量分别降低88.7%、91.7%和90.3%, 其次是蒸制, 锌含量分别降低35.0%、88.2%和63.6%; 再次

是油煎, 锌含量分别降低46.4%、57.0%和43.9%; 油炸条件下, 锌流失较少, 锌含量分别降低26.3%、41.6%和37.3%; 以上处理方式除煮制处理和炸制处理之外, 其他方式处理后3个品种的马铃薯锌含量均具有显著差异性($P<0.05$)。本研究结果表明, 适宜的熟化方式能保证富锌马铃薯可食部分所保留的锌进入人体, 而不恰当的加工工艺使可食部分的锌损失较多。可见, 富锌马铃薯补锌加工工艺是保证补锌效果的另一个关键因素。

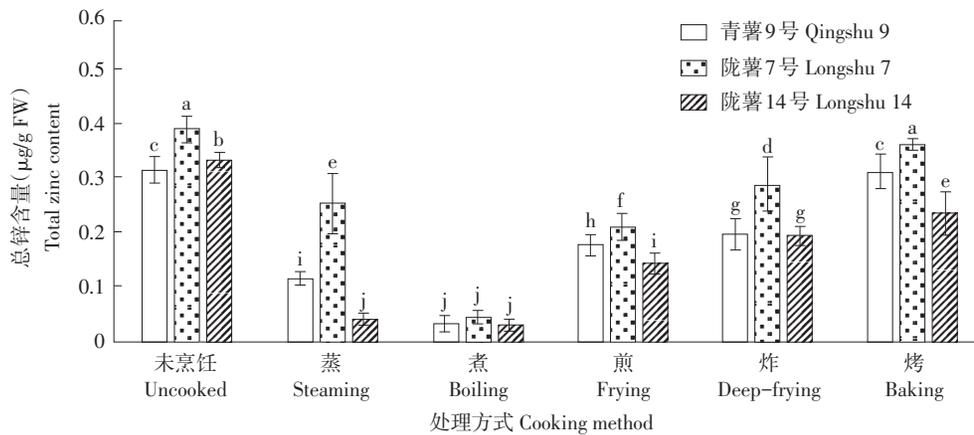


图4 各马铃薯品种通过不同熟化方式处理后总锌含量比较

Figure 4 Comparison of the total zinc content of various potato varieties after treatment of different cooking methods

3 讨论

本研究表明‘陇薯7号’内髓部总锌含量达到24.4 µg/g DW, 比普通品种马铃薯‘青薯9号’高21.4%。魏孝荣等^[23]在长期定位施锌土壤中栽培小麦, 其可食的籽粒锌含量为25.59 µg/g DW, 比不施用锌的土壤栽培的小麦籽粒锌含量高17.0%。研究表明中国不同地区小麦、玉米、大豆中的锌含量为24.0~42.63 mg/kg^[24-26]。本研究富锌马铃薯品种‘陇薯7号’可食的内髓部Zn含量与富锌小麦籽粒的Zn含量接近, 一定程度上可以通过食用该品种马铃薯补充人体中锌的含量。

不同植物可食部分富集锌的能力存在差异^[27], 且由于栽培条件、土壤、气候环境的不

同, 富锌马铃薯中锌分布与锌含量可能会发生相应的变化^[28], 有机锌的生物利用率显著高于无机锌^[29]。吴春勇^[30]运用稳定性同位素示踪技术, 系统研究了富锌水稻对锌的吸收运输和再利用特征以及影响其籽粒锌积累的因素, 发现根系吸收的锌向地上部快速转运能力和木质部的装载能力可能是籽粒锌富集的重要影响因素, 而根系吸收能力并无明显影响。马铃薯施用锌肥后50 d左右, 随着生长中心的转移, 叶片和茎的锌素逐渐向块茎转移^[31]。本研究中‘陇薯7号’内髓部锌含量更加丰富, 这可能与锌通过横向运输向可食部位快速转运能力和木质部的装载能力有关, 有可能通过进一步改良施用锌肥的方法提高其可食部分锌富集水平。

锌参与动植物体内300余种酶和功能蛋白的组成,除此之外,锌还是许多功能蛋白如核蛋白及其受体的主要组成部分,也是马铃薯蛋白的活性中心,因此可以通过对马铃薯块茎中蛋白含量的测定从而测定出块茎中有机锌的含量^[32]。本研究中富锌马铃薯品种‘陇薯7号’内髓部蛋白质含量比‘青薯9号’高16.7%,同样的,其内髓部有机锌含量比其他品种高,表明该品种能更有效地将无机锌转化为有机锌,这与杜平等^[27]根据育种强化技术培育出富锌马铃薯,其无机锌能够更有效转化为有机锌的结果一致,这也说明‘陇薯7号’可作为富锌马铃薯重点培育品种进行培养,后续可用作富锌马铃薯产品生产的原料。

同时,在富锌马铃薯食品生产过程中,加工方式会显著影响锌的保留量,从而影响食物的补锌效果^[33]。Taleon等^[34]通过不同温度浸泡碾米,得出在20℃下浸泡碾米时,所制得的熟米饭中的锌含量为50.6%~66.8%,该方法更能有效地减少富锌大米中锌含量的损失。Gallego-Castillo等^[35]将拉美地区的富锌玉米加工为当地特色食品时对其加工过程中锌保留进行了评估,结果表明Arepas和Mazamorra两种加工方法对于锌的保留率分别达到了36.8%和41.3%,说明适宜的加工方式能最大程度地保持原料中的锌含量。本研究中相较于其他处理方式,烤制处理对各马铃薯品种锌含量影响最小,这可能是由于烤制过程导致水分的减少,而马铃薯对大分子金属元素具有较强的约束性^[36],从而相对较好的保留了马铃薯中的锌元素;水煮使得各马铃薯品种中锌含量有大幅度的损失,这可能与水煮过程中水的沸腾作用使马铃薯中锌含量损失较大^[37]。与Finglas和Faulks^[38]研究结果相同的是油炸对各马铃薯品种的锌含量影响相对较小,但仍然大于烤制处理的影响。因此,应注意采用锌含量损失较小的工艺,在尽可能保留富锌马铃薯中锌含量的同时,达到补锌的目的。基于本研究得出的结果,对于富锌马铃薯产品的研发尚需深入探索,应根据富锌马铃薯的特性优化已有的生产条件,改进生产工艺,大力开发符合市场需求的富锌马铃薯产品。

本研究分析了富锌马铃薯品种‘陇薯7号’‘陇薯14号’和普通品种‘青薯9号’可食部分总锌、有机锌分布特征,并比较了蒸制、水煮、煎制、油炸、烘烤5种熟化方式对各品种马铃薯锌含量的影响。结果表明,两个富锌品种马铃薯‘陇薯7号’和‘陇薯14号’均能通过横向运输使锌元素进入内髓部,表现为在块茎内髓部锌含量显著增加,说明内髓部可以作为食用马铃薯的主要加工部位及锌含量的富集场所,能够为人体补充的锌元素含量相对多。另外,通过各种方式加工后,‘陇薯7号’的锌含量均高于‘陇薯14号’(图4),因此,‘陇薯7号’可推荐作为能富集锌的栽培品种。5种熟化方式中,只有烤制不影响‘青薯9号’‘陇薯7号’可食部位的锌含量。蒸制、水煮、煎制、油炸均使3个品种马铃薯可食部位锌含量大幅损失,损失量排序为水煮>蒸制>煎制>油炸。

[参 考 文 献]

- [1] 赵贵宾,朱永永,熊春蓉,等. 甘肃省马铃薯铁锌生物强化研究进展[J]. 中国马铃薯, 2019, 33(4): 243-248.
- [2] Prasad A S. Essential and toxic trace elements and vitamins in human health [M]. London: Academic Press, 2020.
- [3] 朱盼盼,马彦平,周忠雄,等. 微量元素锌与植物营养和人体健康[J]. 肥料与健康, 2021, 48(5): 16-18, 23.
- [4] 许玉灿. 有机锌的富集载体及检测方法综述[J]. 生物技术世界, 2016(3): 15-16.
- [5] 高林,翟成杰,吴继红,等. 改善人类锌营养途径的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(5): 1550-1555.
- [6] 马彦平,石磊,何源. 微量元素铁、锰、硼、锌、铜、钼营养与人体健康[J]. 肥料与健康, 2020, 47(5): 12-17.
- [7] 李雪玲,林听听,刘鑫,等. 微量元素硒、锌的营养、推荐摄入量及其在鱼类中的含量分布[J]. 渔业信息与战略, 2020, 35(4): 262-272.
- [8] 张敏,郭团结,李俊,等. 鱼粉和4种水生动物副产品中微量元素含量分析[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(5): 218-220.
- [9] 覃尔岱,王靖,覃瑞,等. 我国不同区域膳食结构分析及膳食营养建议[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(8): 82-86, 59.
- [10] 李亚莉,哈丽哈什·依巴提,庾金理,等. 化肥配施有机肥提高

- 玉米产量、氮素吸收量和籽粒锌含量[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(5): 1077-1083.
- [11] Stanton C, Sanders D, Kramer U, *et al.* Zinc in plants: integrating homeostasis and biofortification [J]. *Molecular Plant*, 2022, 15(1): 65-85.
- [12] Hu J, Tao R, Cao C, *et al.* Effect of leaf surface regulation of zinc fertilizer on absorption of cadmium, plumbum and zinc in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Sustainability*, 2023, 15(3): 1877.
- [13] 高明杰, 罗其友, 薄沁箐, 等. 中国贫困地区马铃薯产业发展概况 [C]//金黎平, 吕文河. 马铃薯产业与绿色发展. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2021.
- [14] 罗其友, 伦闰琪, 高明杰, 等. “十四五”我国马铃薯产业高质量发展战略路径 [J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(3): 37-45.
- [15] 赵贵宾, 朱永永, 赵婧, 等. 甘肃富锌马铃薯价值链的构建探索 [J]. 作物研究, 2021, 35(5): 487-489, 499.
- [16] 吴永尧, 周毅峰, 周大寨. 莼菜中锌分布研究 [J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2001(4): 1-3.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.14—2017 食品安全国家标准 食品中锌的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] 杨海霞, 徐萌, 刘宁, 等. 丛枝菌根真菌对两种草坪草耐盐性的影响 [J]. 草业科学, 2014, 31(7): 1261-1268.
- [19] Wang S M, Zhang J L, Flowers T J. Low-affinity Na⁺ uptake in the halophyte *Suaeda maritima* [J]. *Plant Physiology*, 2007, 145(2): 559-571.
- [20] 程宇, 程珂, 陈力宏, 等. 不同方法制备马铃薯蛋白的结构及功能性质研究 [J]. 食品科技, 2015, 40(2): 228-232.
- [21] 吴永尧, 罗泽民, 陈建英, 等. 水稻硒蛋白及其硒结合形态研究 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2000(2): 223-225.
- [22] 卢戟, 卢坚, 王蓓, 等. 马铃薯可溶性蛋白质分析 [J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(3): 82-85.
- [23] 魏孝荣, 郝明德, 田梅霞. 长期定位施锌土壤-作物系统锌分布特征研究 [J]. 中国生态农业学报, 2005(2): 96-98.
- [24] 陶焱金, 井凌琨, 王琪, 等. 锌肥施用对我国小麦籽粒锌含量的影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(3): 660-666.
- [25] 郭团结, 吕孝国, 苏勇豪, 等. 不同地区玉米及其副产品中微量元素含量分析 [J]. 中国饲料, 2022(16): 33-36.
- [26] 王宜萍, 韦带莲. 不同地区大豆及其副产品微量元素的分析 [J]. 中国饲料, 2023(4): 136-139.
- [27] 杜平, 张海清, 李磊, 等. 基施锌肥对马铃薯锌含量及块茎品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2020, 34(5): 275-280.
- [28] 杨森, 李向阳, 王莉, 等. 不同杀菌剂防治对马铃薯主要营养成分的影响 [J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(6): 1880-1888.
- [29] 赵小红, 何慧, 贾蕾, 等. 植物生物强化硒与锌: 膳食补充剂的新探索 [J]. 食品科技, 2022, 47(5): 95-101.
- [30] 吴春勇. 富锌水稻锌营养生理特性的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [31] 郝智勇. 中微量元素在马铃薯生产上的应用 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31(5): 307-311.
- [32] 陈莉, 温天莲, 彭惠. 锌元素的生物学作用及其临床应用 [J]. 中国组织工程研究, 2004, 8(6): 1056.
- [33] Hall A, King J. Zinc fortification: current trends and strategies [J]. *Nutrients*, 2022, 14(19): 3895.
- [34] Taleon V, Hasan M, Jongstra R, *et al.* Effect of parboiling conditions on zinc and iron retention in biofortified and non-biofortified milled rice [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(2): 514-522.
- [35] Gallego-Castillo S, Taleon V, Talsma E, *et al.* Effect of maize processing methods on the retention of minerals, phytic acid and amino acids when using high kernel-zinc maize [J]. *Current Research in Food Science*, 2021, 4: 279-286.
- [36] 赖灯妮, 彭佩, 李涛, 等. 烹饪方式对马铃薯营养成分和生物活性物质影响的研究进展 [J]. 食品科学, 2017, 38(21): 294-301.
- [37] 杨子欣, 熊双丽, 朱妮. 加工与烹饪技术对马铃薯营养成分的影响 [J]. 现代食品, 2018(8): 61-64.
- [38] Finglas P M, Faulks R M. Nutritional composition of UK retail potatoes, both raw and cooked [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1984, 35(12): 1347-1356.