

富硒对大枣中多种微量元素的生物胁迫作用研究

李华为¹, 丁昱婵¹, 朱盛琦¹, 尤亚伦², 郭博涵², 铁梅^{2,*}

(1. 沈阳师范大学 化学化工学院, 辽宁 沈阳 110034; 2. 辽宁大学 环境学院, 辽宁 沈阳 110036)

摘要:采用微波消解-电感耦合等离子体质谱联用技术对富硒大枣中的多种微量元素进行定量分析。该方法测得各元素校准曲线的相关系数均大于 0.998, 检出限为 0.006 $\mu\text{g/L}$ ~0.061 $\mu\text{g/L}$, 相对标准偏差小于 2.5%。研究表明, 施硒量不同, 大枣中多种微量元素呈现各自的变化趋势。随着施硒量的逐渐增加, 硒对 Zn、Mn、Cu、Ca、Fe、V、Mo、Co 元素的含量有明显的协同作用; 而硒对重金属元素如 As、Cd、Hg、Pb 具有显著的拮抗作用。

关键词:电感耦合等离子体质谱联用技术; 微波消解; 大枣; 富硒; 营养元素; 重金属

Effects of Selenium Enrichment on Biological Stress of Various Trace Elements in Jujube

LI Hua-wei¹, DING Yu-chan¹, ZHU Sheng-qi¹, YOU Ya-lun², GUO Bo-han², TIE Mei^{2,*}

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, Liaoning, China; 2. School of Environment, Liaoning University, Shenyang 110036, Liaoning, China)

Abstract: Quantitative analysis of various trace elements in Se-enriched jujube by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry. The correlation coefficients of the calibration curves measured by the method were all greater than 0.998, the detection limit was 0.006 $\mu\text{g/L}$ ~0.061 $\mu\text{g/L}$, and the relative standard deviation was less than 2.5%. Studies had shown that, with different amounts of selenium, various trace elements in jujube presented their own trends. With the gradual increase in the amount of selenium, selenium had a significant synergistic effect on the content of Zn, Mn, Cu, Ca, Fe, V, Mo and Co; However, selenium has a significant antagonistic effect on heavy metal elements such as As, Cd, Hg, and Pb.

Key words: inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS); microwave digestion; jujube; selenium; nutrient elements; heavy metal

引文格式:

李华为, 丁昱婵, 朱盛琦, 等. 富硒对大枣中多种微量元素的生物胁迫作用研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(24):38-43
LI Huawei, DING Yuchan, ZHU Shengqi, et al. Effects of Selenium Enrichment on Biological Stress of Various Trace Elements in Jujube[J]. Food Research and Development, 2020, 41(24):38-43

硒(Se)是人和动物体内所必需的微量元素, 具有清除自由基、抗癌、保护肝脏、防衰老、增强免疫等生物学功能^[1-5]。缺硒会严重影响人类和动物的健康, 导致克山病和大骨节病等多种疾病的发生, 因此科学合理

地补硒变得尤为重要^[6]。人体硒的主要来源是食物, 其中富硒农作物是人体获取硒元素的重要途径之一^[7]。硒元素能够以硒酸盐或亚硒酸盐的形式被植物吸收, 并在叶绿体中代谢转化为有机硒代氨基酸及其衍生物, 以便被人体吸收^[8]。

枣属鼠李科, 是本草上品和传统滋补佳品, 素以营养丰富著称^[9]。枣果中环核苷酸、维生素 C、功能性糖、铁、钾、钙、锌等重要营养成分含量均居百果前茅, 开发高营养健康食品前景广阔^[10]。植物化学研究表

基金项目: 辽宁省教育厅关于支持有关高校和专业启动向应用型专业试点项目

作者简介: 李华为(1962—), 男(汉), 硕士, 研究方向: 应用化学。

* 通信作者: 铁梅(1964—), 女(汉), 博士, 研究方向: 农产品、食品中微量元素的检测方法、形态分析及生物活性。

明,枣具有抗氧化作用,主要归因于天然抗氧化剂——酚酸、类黄酮、花青素、维生素和环核苷的活性^[11-12]。富硒枣的研究多限于生产富硒枣适宜的处理量及抗氧化性的探讨,对于硒对富硒大枣中多种微量元素的生物胁迫作用研究较少。

目前,硒的测定有原子荧光光谱法、紫外-可见分光光度法、原子吸收光谱法、电感耦合等离子体质谱法等多种方法^[13-15]。电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)以等离子体作为离子源,通过质谱进行分析的方法,该技术的优点是操作较为简单、灵敏度更高、选择性更好并且可以多元素同时测定^[16-17]。微波消解具有所用试剂少,样品分解得更快更彻底,同时密闭消解能避免元素的损失使测定更加准确的优点^[18-19]。因此,本文采用微波消解-电感耦合等离子体质谱联用技术探究硒对富硒大枣中多种微量元素的生物胁迫作用,为富硒枣的生产及开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要试剂

硝酸(优级纯)、盐酸(优级纯):科瑞峰公司;环境混合元素标准储存溶液为 1 000 mg/L Fe、Ca 和 10 mg/L Zn、Mn、Cu、V、Mo、Co、Pb、As、Cd、Hg、Se 的混合标准溶液、1 μ g/L 内标液由 10 μ g/L 的 Rh、Sc、Lu、In: Agilent 公司。

1.2 主要仪器与设备

电感耦合等离子体质谱仪(7900 型 ICP-MS):美国安捷伦公司;微波消解仪(MD8H):奥普乐仪器有限公司;分析天平(FA2204B):上海仪田精密科学仪器有限公司;超低温冰箱(MDF-U4086S):日本三洋公司;冷冻干燥机(SCIENTZ-30F):宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 富硒大枣的培养

将种植的大枣分别在坐果期和果实着色期对其注射外源硒(亚硒酸钠),施硒量分别为 0、50、100、150、200、250、300 mg/kg。每个施硒量枣树为 10 棵,行距 8 m~12 m,株距 4 m~6 m,5 224 棵/hm²~5 970 棵/hm²。通过植物吸收转化到大枣中来达到富集硒的目的,其中施硒量为 0 mg/kg 的作为空白组。待果实成熟后,采摘大枣并用大量清水冲洗干净,再用去离子水冲洗多次。将洗净后的相同量梯度的大枣混匀,置于-84 $^{\circ}$ C 的超低温冰箱中冰冻,再经过冷冻干燥处理,使其去除水分。最后将干燥后的大枣打磨成粉末,放置于干燥器中待用。

1.4 富硒大枣的处理

准确称取 0.1 g 富硒大枣粉于聚四氟乙烯消解罐中并加入 5 mL 优级纯 HNO₃,拧紧消解罐盖并将其放入微波消解仪中进行消解,按表 1 中的方法消解,结束后赶酸,当赶酸至溶液体积在 1 mL~2 mL 且澄清透明时静置,待溶液冷却后定容至 25 mL,4 $^{\circ}$ C 保存待上机检测。每份富硒大枣样品做两份平行样。样品微波消解程序见表 1。

表 1 样品微波消解程序

Table 1 Sample microwave digestion procedure

方法	工步	温度/ $^{\circ}$ C	升温时间/min	恒温时间/min	功率/W
大枣 (HNO ₃)	1	120	5	5	6
	2	150	5	10	6

1.5 ICP-MS 工作条件

ICP-MS 工作条件见表 2。

表 2 ICP-MS 工作条件

Table 2 ICP-MS working conditions

参数	值	参数	值
氩气纯度	99.999%	氩气压力	700 MPa
辅助气流量	1.0 L/min	冷却气流量	15 L/min
泵速	1.5 mL/min	循环水流量	2.0 L/min
采样深度	8 mm	载气	1.0 L/min
RF 功率	1 355 W	补偿/稀释气体	1.0 L/min
等离子体气体	15 L/min	雾化室温度	2 $^{\circ}$ C
雾化气流量	344.75 kPa	蠕动泵	0.3 r/s

2 结果与讨论

2.1 标准曲线与方法的检出限

试验方法的标准曲线与方法的检出限(detection limit, DL)与相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)如表 3 所示。

表 3 线性范围、相关系数及检出限

Table 3 Correlation coefficient of linear range and detection limit

元素	线性范围/ μ g/L	相关系数	检出限/ μ g/L	RSD/%
Se	0~100	0.999 7	0.032	1.7
Zn	0~400	0.999 1	0.054	2.3
Mn	0~100	0.999 9	0.027	2.1
Cu	0~100	0.999 9	0.003	1.9
Ca	0~400	0.998 3	0.061	2.0
Fe	0~100	0.999 7	0.012	2.3
V	0~200	0.999 3	0.006	2.4
Mo	0~200	0.999 9	0.022	1.1
Co	0~200	0.998 6	0.024	1.5
Cd	0~100	0.999 8	0.024	1.9
As	0~100	0.999 9	0.035	1.8
Hg	0~10	0.999 8	0.012	1.0
Pb	0~100	0.999 6	0.020	1.5

2.2 施硒量对大枣中硒含量的影响

施硒量对大枣中硒含量的影响见图 1。

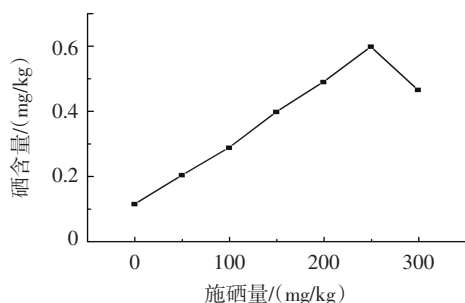


图 1 施硒量对大枣中硒含量的影响

Fig.1 Effect of selenium application on selenium content in jujube

由图 1 可知,施硒量为 0 mg/kg 时,硒含量为 0.113 4 mg/kg。随着施硒量的增加,富硒大枣中的硒含量也逐渐升高,并在施硒量处于 250 mg/kg 时达到最大值 0.557 7 mg/kg,较空白组提高了 3.92 倍。但当施硒量达到 250 mg/kg 以上,随着施硒量的增加,大枣中的硒含量反而下降。说明施硒量过高会抑制大枣对硒元素的吸收。因此,在大枣富硒时,要选择合适的施硒量。施硒量过低达不到良好的效果,施硒量过高会抑制富硒效果。

2.3 施硒量对大枣中营养元素锰、锌、铜含量的影响

施硒量对大枣中锰、锌、铜含量的影响见图 2。

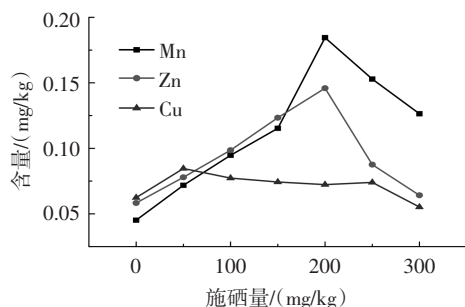


图 2 施硒量对大枣中锰、锌、铜含量的影响

Fig.2 Effect of selenium application on manganese, zinc and copper content in jujube

锰、锌和铜元素都是人体所必需的微量元素。锰是人体内多种酶的成分,在细胞代谢中起重要作用,与人体健康关系十分密切,缺锰会导致婴儿骨骼畸形;锌对促进机体生长发育、维持人体正常食欲、调节机体免疫具有重要作用,摄入不足会导致发育迟缓甚至影响智力发育;铜是人体内含量位居第二的必需微量元素,缺铜会引起贫血、毛发异常、骨和动脉异常以至脑障碍。从图 2 可以看出,施硒量为 0 mg/kg 时,富硒大枣中锰、锌和铜元素的含量分别为 0.045 2、0.058 3、0.062 4 mg/kg,随着施硒量的增加 3 种元素的含量整

体呈现先上升后下降的趋势。当施硒量处于 200 mg/kg 时,锰和锌的含量达到最大,分别为 0.184 5 mg/kg 和 0.145 9 mg/kg,较空白组增加了 3.08、1.50 倍;而铜含量在施硒量为 50 mg/kg 时达到最大为 0.084 6 mg/kg,较空白组增加了 36%。当施硒量继续增加,二者的含量反而降低。说明施硒量过高会对大枣产生毒害作用,并通过拮抗作用抑制大枣对锰、锌和铜 3 种元素的吸收,从而造成这些元素的流失。所以,低含量硒对锰、锌和铜 3 种元素均具有协同作用,而高含量硒对它们有拮抗作用。

2.4 施硒量对大枣中营养元素钙、铁含量的影响

施硒量对大枣中钙、铁含量的影响见图 3。

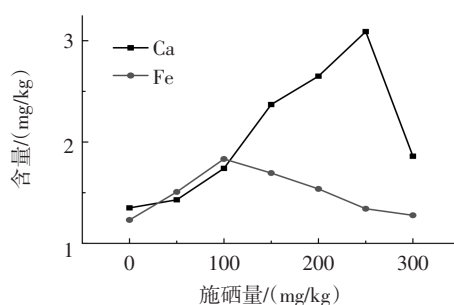


图 3 施硒量对大枣中钙、铁含量的影响

Fig.3 Effect of selenium application on the content of calcium and iron in jujube

钙对人体神经系统和细胞膜结构完整及多种酶的结合有十分重要的作用,缺钙会患软骨病^[20]。从图 3 可以看出,富硒大枣中钙含量随着施硒量的增加呈现先增加后减少的趋势。当施硒量为 0 mg/kg 时,钙的含量达到 1.352 mg/kg,而当施硒量处于 250 mg/kg 时,钙的含量达到峰值 3.092 mg/kg,较空白组增加了 1.29 倍。说明此含量硒对钙的促进作用最大,而当施硒量继续增加,钙含量反而降低。因为在植物体内,钙能维持植物细胞膜的完整性,而高含量硒会降低植物细胞膜的选择透过性,损伤植物细胞膜的完整性。所以低含量硒对钙元素有协同作用,而高含量硒对钙元素有拮抗作用。

铁是人体不可缺少的微量元素,参与体内氧的运转、交换和组织呼吸过程,维持机体正常造血功能,缺铁会贫血^[21]。由图 3 可知,当施硒量处于 0 mg/kg 时,铁的含量为 1.231 mg/kg,随着施硒量的增加,硒对大枣中铁元素的整体增长幅度虽没有钙元素明显,但在施硒量为 100 mg/kg 时铁含量出现峰值,达到 1.833 mg/kg,较空白组增加了 49%。铁元素是辅酶的组成部分,可通过电子传递,催化植物体一系列的氧化还原反应,而硒是这些酶的活性中心。所以,低含量硒对铁元素

的吸收具有协同作用。

2.5 施硒量对大枣中营养元素钼、钒、钴含量的影响

施硒量对大枣中钼、钒、钴含量的影响见图4。

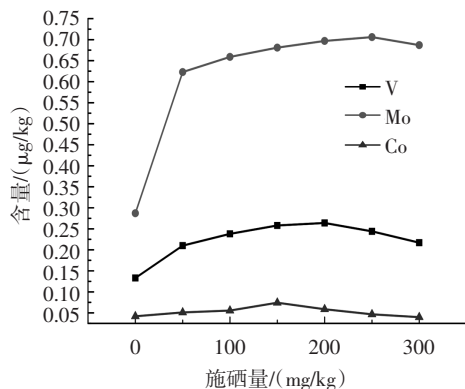


图4 施硒量对大枣中钼、钒、钴含量的影响

Fig.4 Effect of selenium application on vanadium, molybdenum and cobalt content in jujube

钼是多种酶的重要构成要素,参与人体内铁的利用,可以预防贫血,促进发育,维持心肌能量代谢和人体免疫功能,防止龋齿、肾结石和癌症等,钼不足可表现为生长发育迟缓甚至死亡。由图4可知,随着施硒量的增加,富硒大枣中钼急剧增加。当施硒量为0 mg/kg时,钼的含量为0.2874 μg/kg,而当施硒量增加到50 mg/kg时,硒对钼元素的协同作用最大,达到0.6237 μg/kg,较空白组增加了1.17倍,之后随着施硒量的增加,钼的含量变化不明显。因为钼与植物体内的氧化酶活性有关,而硒是这些酶的活性位点,所以钼和硒两种微量元素具有一定的协同关系。

钒是人的重要微量元素,对机体的生长发育、心血管、肾脏、代谢均具有重要的影响。由图4可知,当施硒量处于0 mg/kg时,钒的含量达到0.1332 μg/kg,随着施硒量的增加,富硒大枣中的钒元素呈现先增大后减少的趋势,当施硒量达到200 mg/kg时达到峰值0.2644 μg/kg,较空白组提高了约98%。因为钒能促进植物细胞中葡萄糖的转运、氧化及糖原的合成,低量硒对糖的抗氧化作用没有高量硒明显,所以低量硒对钒具有明显的协同作用。

钴是维生素B₁₂的重要组成部分,对蛋白质的新陈代谢、部分酶的合成、铁在人体内的储存以及肠道对铁和锌的吸收均具有促进作用。钴的缺乏会直接影响到维生素B₁₂生理功能的发挥,易导致人体出现贫血症、老年痴呆症、性功能障碍以及心血管等疾病。由图4可知,当施硒量处于0 mg/kg时,钴的含量为0.0423 μg/kg,随着施硒量的增加,富硒大枣中的钴元素呈现先增大后减少的趋势,当施硒量达到150 mg/kg时达到峰值

0.0743 μg/kg,较对照组增加了0.43倍。由于钴能影响植物的光合作用,而适量硒能增加叶绿体的数量,所以施加一定含量的硒能增加富硒大枣中钴的含量,具有明显的协同作用。

2.6 施硒量对大枣中重金属元素砷、镉含量的影响

施硒量对大枣中砷、镉含量的影响见图5。

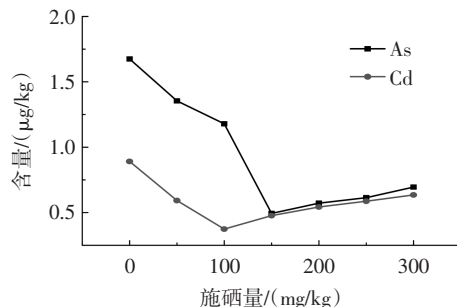


图5 施硒量对大枣中砷、镉含量的影响

Fig.5 Effect of selenium application on arsenic and cadmium content in jujube

镉不是人体的必需元素,长期吸入镉可产生慢性中毒,引起肾脏损害;砷为原生质毒,过量能使人体细胞坏死,甚至引起死亡。从图5可得,富硒大枣中镉和砷的含量随着施硒量的增加而显著变化。当施硒量处于0 mg/kg时,砷和镉的含量分别为1.675 μg/kg和0.8915 μg/kg,随着施硒量的增加,富硒大枣中镉和砷的含量,呈先下降后增加的趋势。当施硒量处于150 mg/kg时,砷的含量为0.4940 μg/kg,较空白组降低了70.51%。硒对镉的拮抗峰值发生在100 mg/kg,镉的含量为0.3742 μg/kg,较空白组降低了58.02%。因为硒能清除由于重金属(砷和镉)产生的过多自由基,降低其对细胞膜系统造成的细胞膜脂过氧化现象,从而减少对重金属离子的吸收和积累,所以硒对砷和镉两种元素均有拮抗作用,其中硒对砷的拮抗作用更加明显。

2.7 施硒量对大枣中重金属元素汞、铅含量的影响

施硒量对大枣中汞、铅含量的影响见图6。

汞是一种有毒元素,会使人体神经系统失调、对肾脏、造血系统、肝脏构成威胁,甚至造成不孕不育。由图6可知,当施硒量处于0 mg/kg时,汞的含量为11.45 μg/kg,随着施硒量的增加,富硒大枣中汞元素含量急剧下降直至趋于平缓,汞含量降至0.15 μg/kg,较空白组降低了98.69%。

铅是对人体危害极大的一种重金属元素,它对神经系统、骨骼造血功能、消化系统、男性生殖系统等均有危害。从图6可以看出,当施硒量处于0 mg/kg时,铅的含量为10.97 μg/kg,随着施硒量的增加,富硒

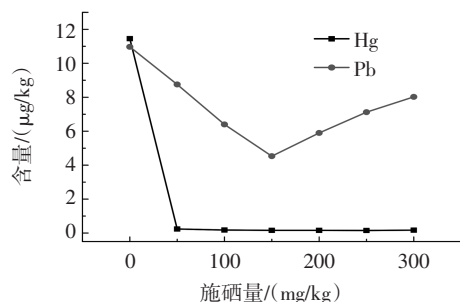


图6 施硒量对大枣中汞、铅含量的影响

Fig.6 Effect of selenium application on mercury and lead content in jujube

大枣中铅的分布趋势先降低后升高。当施硒量处于150 mg/kg 时出现最低值为4.529 $\mu\text{g/kg}$, 较空白组降低了58.71%。而后随着施硒量继续增加, 铅元素的含量也相应增加, 但其含量一直在10 $\mu\text{g/kg}$ 以内, 符合食品安全规定。一方面外源硒可以调节植物细胞中的谷胱甘肽过氧化物酶, 促进植物对重金属元素的螯合作用, 从而减少植物对重金属离子的吸收与积累; 另一方面, 适量硒能增加叶绿素的含量, 促进光合作用, 减少重金属诱导产生的生长抑制因子, 提高植物抵抗重金属元素的能力, 所以硒的存在可以预防重金属元素(如汞、铅等)引起的毒害, 对其产生拮抗作用。

3 结论

通过ICP-MS对富硒大枣中的微量元素进行定量分析。结果表明, 不同元素在外源硒的作用下表现出不同的趋势: 随着施硒量的逐渐增加, 硒对锌、锰、铜、钙、铁、钒、钼、钴元素具有明显协同作用, 其中铜元素于施硒量为50 mg/kg 时达到峰值0.0846 mg/kg, 较空白组增加了36%; 铁元素于施硒量为100 mg/kg 时达到峰值1.833 mg/kg, 较空白组增加了49%; 钴元素于施硒量为150 mg/kg 时达到峰值0.0743 $\mu\text{g/kg}$, 较空白组增加了43%; 锰、锌、钒元素于施硒量为200 mg/kg 时达到峰值分别为0.1845、0.1459 mg/kg 和0.2644 $\mu\text{g/kg}$, 较空白组分别提高了3.08、1.50、0.98倍; 钙和钼于施硒量为250 mg/kg 时达到峰值分别为3.092 mg/kg 和0.7065 $\mu\text{g/kg}$ 。硒对重金属元素砷、镉、汞、铅具有显著的拮抗作用, 其中砷和铅于施硒量为150 mg/kg 时拮抗作用最好, 较空白组分别降低了70.51%和58.71%。当施硒量为50 mg/kg 时, 硒对汞的拮抗作用达到最大, 达到98.69%。因此, 外源硒除能有效补充硒元素外, 还能协同植物体对各种营养元素的吸收, 并且能够拮抗通过食物链积累对人体有害的重金属元素。试验结果表明, 富硒农作物的种植对食品的安全性和人

体的硒补充具有重要指导意义。

参考文献:

- [1] SIMRANJEET K, HARSH N. Selenium fertilization to salt-stressed mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) plants reduces sodium uptake, improves reproductive function, pod set and seed yield[J]. Scientia Horticulture, 2015, 197: 304-317
- [2] HOFFMANN FU-KUN W, HASHIMOTO Ann C, SHAFER Leigh Anne, et al. Dietary Selenium Modulates Activation and Differentiation of CD4⁺ T Cells in Mice through a Mechanism Involving Cellular Free Thiols¹⁻³[J]. The Journal of Nutrition, 2010, 140(6): 1155-1161
- [3] 刘玲, 卓滋泽, 马文军. 硒与肿瘤的关系研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2013, 30(9): 844-848
- [4] YANG H, JIA X. Safety evaluation of Se-methyl selenocysteine as nutritional selenium supplement: Acute toxicity, genotoxicity and sub chronic toxicity[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2014, 70(3): 720-727
- [5] FANG Y, XU Z, SHI Y, et al. Protection mechanism of Se-containing protein hydrolysates from Se-enriched rice on Pb²⁺-induced apoptosis in PC12 and RAW264.7 cells[J]. Food Chemistry, 2017, 219: 391-398
- [6] 王权, 李秀霞, 李伦, 等. 硒与大骨节病相关性的 Meta 分析[J]. 中国循证医学杂志, 2013, 13(12): 1421-1430
- [7] KAPOLNA E, SHAH M, CATUSO JA, et al. Selenium speciation studies in Se-enriched chives (*Allium schoenoprasum*) by HPLC-ICP-MS[J]. Food Chemistry, 2007, 101: 1398-1406
- [8] ISERTE L O, NAVARRO A F R, HERNANDEZ F. Simultaneous determination of arsenic and selenium species in phosphoric acid extracts of sediment samples by HPLC-ICP-MS[J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 527(1): 97-104
- [9] LI J W, FAN L P, DING S D, et al. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube[J]. Food Chemistry, 2006, 103: 454-460
- [10] 刘润平. 红枣的营养价值及其保健作用[J]. 中国食物与营养, 2009 (12): 50-52
- [11] SUN Y F, LIANG Z S, SHAN C J, et al. Comprehensive evaluation of natural antioxidants and antioxidant potentials in *Ziziphus jujube* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chou fruits based on geographical origin by TOPSIS method[J]. Food Chemistry, 2010, 124: 1612-1619
- [12] YUAN Y, WU S C, ZHANG H F, et al. Characterization and hepatoprotective effect of polysaccharides from *Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chou *sarcocarp*[J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 74: 76-84
- [13] 张越, 李鑫, 章舒祺, 等. 微波溶样-电感耦合等离子体质谱法测定婴幼儿配方奶粉中钼和硒[J]. 中国乳品工业, 2013, 41(2): 56-58
- [14] 冯永明, 邢应香, 刘洪青, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定生物样品中微量硒的方法研究[J]. 岩矿测试, 2014, 33 (1): 34-39

红心火龙果酒贮藏过程中抗氧化活性变化的研究

段秋霞^{1,2}, 李定金², 段振华^{1,2,3,*}, 陈嫣^{1,2}, 唐美玲^{1,2}, 吴莲梅³

(1. 大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034; 2. 贺州学院 食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 542899; 3. 贺州学院 食品与生物工程学院, 广西 贺州 542899)

摘要:为探讨红心火龙果酒贮藏过程中甜菜红素与抗氧化活性的变化关系和护色技术,该文通过研究自酿3种红心火龙果酒和市售红心火龙果酒的甜菜红素含量差异及其经自由基清除能力、还原能力与ABTS⁺自由基清除能力的变化,并对贮藏过程中果酒的甜菜红素含量与其抗氧化能力进行相关性分析。结果表明:随着贮藏时间的延长,添加茶多酚与乙二胺四乙酸二钠两种护色剂的红心火龙果酒的甜菜红素保存率最高,基本保持在81.22%之间。4种果酒的抗氧化能力强弱为:复配护色剂的红心火龙果酒>单一护色剂的红心火龙果酒>红心火龙果原酒>市售红心火龙果酒。随着贮藏时间的延长,红心火龙果酒的抗氧化活性呈下降趋势,且色素的降解与其抗氧化性大小呈极显著正相关($R^2=0.9\sim 0.998$),在红心火龙果酒中添加复配护色剂可以有效护色和保持红心火龙果酒的抗氧化能力。

关键词:红心火龙果;果酒;贮藏;抗氧化;甜菜红素

Study on Changes of Antioxidant Activity of Red Heart Pitaya Wines during Storage

DUAN Qiu-xia^{1,2}, LI Ding-jin², DUAN Zhen-hua^{1,2,3,*}, CHEN Yan^{1,2}, TANG Mei-ling^{1,2}, WU Lian-mei³

(1. School of Food Science, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning, China; 2. Institute of Food Science and Engineering, Hezhou University, Hezhou 542899, Guangxi, China; 3. School of Food and Biological Engineering, Hezhou University, Hezhou 542899, Guangxi, China)

Abstract: In order to explore the relationship between betaine and antioxidant activity of red heart pitaya wines during storage and effective color control technology. The changes in betaine content and hydroxyl radical scavenging activities, reducing ability, and ABTS⁺ radical scavenging activities of three red heart pitaya wines and commercially available red heart pitaya wines were studied. And correlation analysis between betaine

基金项目:广西特色果蔬深加工与保鲜技术研究(YS201601);贺州学院“果蔬深加工与保鲜团队建设”项目(YS201602);广西特聘专家专项经费(厅发[2016]21号);广西科技基地和人才专项(桂科AD17195088);贺州市创新驱动发展专项(贺科创PT1907006);广西自然科学基金(2019JJA130016);2019年广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY0711)

作者简介:段秋霞(1995—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品加工与安全。

*通信作者:段振华(1965—),男,教授,博士,研究方向:现代食品加工新技术。

[15] 王欣,苑娜,陈泽勇,等. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法检测富硒食品中6种硒形态[J]. 分析化学, 2013, 41(11): 1669-1674

[16] LOPEZ H I, PALOMO M, MADRID Y. Selenoproteins: the key factor in selenium essentiality. State of the art analytical techniques for selenoprotein studies[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2011, 400(6): 1717-1727

[17] 母元波,高宝丽. 微波消解-ICP-MS法测定底泥中的12种金属元素[J]. 世界有色金属, 2019(22): 173-174

[18] 杨旭,董文宾. 富硒食品的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 2091-2097

[19] 孙德忠,安子怡,许春雪,等. 四种前处理方法对电感耦合等离子体质谱测定植物样品中27种微量元素的影响[J]. 岩矿测试, 2012, 31(6): 961-966

[20] 刘勤. 磷肥和硒施用对稻米硒、钙、锌等营养累积的影响[J]. 广东矿质元素科学, 2003, 10(6): 20-24

[21] 李荣华. 微量元素补剂对人体运动能力及健康的影响—以铁、锌为例[J]. 开封教育学院学报, 2015, 35(11): 282-283

收稿日期:2020-02-03