

甘肃不同生态区域高原夏菜的矿质元素与抗氧化性分析

冯毓琴, 魏丽娟, 李翠红, 慕钰文

(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: 为探究甘肃不同生态区域高原夏菜的矿质元素和抗氧化活性, 根据海拔和气候差异, 选取沿黄灌区、河西戈壁绿洲以及过渡带不同生态区域的6个产地, 进行西兰花、娃娃菜、红笋3个高原夏菜主导品种的铁、钙、钾含量以及FRAP值、DPPH清除率、POD活性、PPO活性4种抗氧化活性指标的测定。结果表明, 西兰花的铁、钙、钾含量均高于娃娃菜和红笋, 榆中2产地的3种蔬菜的铁、钙、钾含量均较高, 反映了西兰花对3种矿质元素的高富集性和榆中区域性的土壤矿质元素富集特点, 3种蔬菜的4种抗氧化性指标测定结果未表现出品种间抗氧化性强弱的规律性特点, 需进一步丰富测定指标, 进行综合评价。

关键词: 高原夏菜; 生态区域; 矿质元素; 抗氧化性; 甘肃

中图分类号: S311; S63

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)09-0834-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.09.009

Analysis of Mineral Elements and Antioxidant Activities of Plateau Summer Vegetables from Different Ecological Regions of Gansu

FENG Yuqin, WEI Lijuan, LI Cuihong, MU Yuwen

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

Abstract: In order to explore the mineral elements and antioxidant activities of plateau summer vegetables from different ecological regions of Gansu, six producing areas, based on different altitude and climate involving irrigation area of yellow river basin, Hexi oasis district and transition zone, were the location of sample collection. Contents of iron, calcium, potassium and four antioxidant activities including FRAP value, DPPH clearance rate, POD activity and PPO activity of broccoli, baby cabbage and red bamboo shoot were determined and analyzed. The results showed that contents of three minerals in broccoli were higher than that in baby cabbage and red bamboo shoot, respectively. The mineral content of the three vegetables in cultivated fields of Yuzhong County was higher than that in other fields, which reflected three mineral elements could be enriched for broccoli and Yuzhong area. Meanwhile the content for four antioxidant activities from three vegetables did not show significant difference. Accurate and comprehensive evaluation of these characteristics should add more parameters.

Key words: Plateau summer vegetable; Ecological region; Mineral element; Antioxidant activity; Gansu

矿质元素与抗氧化活性物质是蔬菜的两大类功能性成分, 矿质营养元素是维持人体正常生理代谢的必需营养元素, 无法在人体内自行产生、合成, 必须由外界供给, 矿质元素摄入不足会直接导致多种严重疾病^[1]。自由基是人体生命活动中各种生化反应的中间代谢产物, 是失去一个电子的原子, 具有高度的化学活性。自由基通过窃取周围原子电子, 破坏健康细胞, 给健康造成很

多损害^[2]。人体降低自由基的机制, 除依靠体内自身的自由基清除系统外, 补充外源性的抗氧化活性物质可有效减少自由基的产生或加速其清除。蔬菜富含矿质元素和多种抗氧化成分, 是人体获得这两大类物质的主要食物来源之一。过氧化物酶 POD(Peroxidase)是广泛存在于各种动物、植物和微生物体内的一类氧化酶, 它以 H₂O₂ 为电子受体直接氧化酚类或胺类化合物, 具有消除过氧化

收稿日期: 2023-04-20; 修订日期: 2023-07-05

基金项目: 甘肃省科技重大专项(21ZD4NA016); 甘肃省瓜菜产业技术体系(GARS-GC-6); 甘肃省农业科学院科技支撑计划(2017GAAS42)。

作者简介: 冯毓琴(1968—), 女, 甘肃秦安人, 研究员, 博士, 主要从事蔬菜营养品质和贮藏保鲜工作。Email: 1060859084@qq.com。

氢和酚类胺类毒性的双重作用。多酚氧化酶PPO (Polyphenoloxidase)是一种金属蛋白酶, 被称为生物催化剂, 普遍存在于植物、真菌、昆虫的质体中, 甚至在土壤中腐烂的植物残渣上都可以检测到多酚氧化酶的活性。在植物组织中, PPO 是与内囊体膜结合在一起的, 天然状态无活性, 但将组织匀浆或损伤后 PPO 被活化, 从而表现出活性。植物受到机械损伤和病菌侵染后, PPO 催化酚与 O₂ 氧化形成醌, 使组织形成褐变, 以便损伤恢复, 防止或减少感染, 提高抗病能力。另一方面, PPO 的存在是水果、蔬菜褐变及营养丧失的主要原因之一, PPO 氧化内源的酚类物质生成邻醌, 邻醌再相互聚合成醌或蛋白质、氨基酸等作用生成高分子络合物而导致褐色素的生成, 色素分子量愈高, 颜色愈暗, 会影响果蔬的色泽和感官, 一般 PPO 含量高的果蔬, 易发生褐变视象。POD 和 PPO 均是植物抗氧化性的主要指标。

甘肃省是一个蔬菜大省, 尤其生产的高原夏菜享誉国内外, 年播种面积在 53.33 万 hm² 以上。高原夏菜是种植在高海拔地区的冷凉蔬菜, 由于海拔高、日照长、温差大、土壤冬闲期长等环境优势, 造就了高原夏菜优异的质量安全和营养品质优势。2015 年以来, 随着蔬菜产业机械化和集约化发展需求, 甘肃高原夏菜种植区域由沿黄灌区扩展到河西走廊。目前, 河西走廊已成为甘肃高原夏菜的产业新区和主产区。由于沿黄灌区与河西戈壁绿洲的生态条件差异较大, 为了探究不同生态区域高原夏菜在营养品质尤其是在矿质元素含量和抗氧化性方面的差异, 我们根据海拔和气候差异, 选取沿黄灌区与河西戈壁绿洲这两大种植区域及中间过渡带不同海拔的 6 个产地, 取样检测分析了高原夏菜的主导品种娃娃菜、红笋、西兰花的相关品质指标。

1 材料与方法

1.1 供试材料

指示蔬菜品种为娃娃菜(韩国春玉黄)、红笋(福建永安红笋)、西兰花(日本耐寒优秀)。

1.2 产地概况与种植模式

以海拔作为产地环境差异的主要依据, 共选取沿黄灌区、河西戈壁绿洲以及过渡带不同生态区域的 6 个蔬菜产地进行蔬菜品质分析, 各蔬菜产地概况如表 1 所示。各产地不同蔬菜均采用露

地覆膜种植, 播前均基施腐熟的农家肥 60 t/hm²、三元复合肥(N-P-K 为 15-15-15)225 kg/hm², 生长期追肥, 病虫害发生时采用 75%百菌清可湿性粉剂 500 倍液和 2.5%溴氰菊酯乳油 2 000 倍液田间喷雾防治。由于不同海拔区域的气温不同, 各产区的栽培模式和采后时间也各不相同, 其中榆中县三角城乡、永登县大同镇、张掖市甘州区大满镇为两茬种植, 头茬 5 月份播种, 7 月初采收; 二茬 7 月中下旬播种, 9 月下旬后采收。榆中县马坡乡、天祝县打柴沟镇、永昌县黑土洼农场等 3 个高海拔区为一茬种植, 6 月播种, 8 月中旬采收。

表 1 蔬菜产地概况

产地	海拔	降水量	无霜期	年平均气温
	/m	/mm	/d	/°C
榆中县三角城乡	1 720	400	159	6.8
榆中县马坡乡	2 650	550	118	3.2
天祝县打柴沟镇	2 760	450	120	-2.0
永登县大同镇	1 980	290	126	4.7
张掖市甘州区大满镇	1 580	280	130	7.8
永昌县黑土洼农场	2 430	210	120	3.4

1.3 样品采集与测定方法

根据各产地成熟期, 选择个体均匀的蔬菜样品, 采收后加冰装入泡沫箱密封包装, 24 h 内运送至甘肃省农业科学院农业测试中心实验室进行分析。其中铁含量依据 GB 5009.90—2016 标准^[3]、钙含量依据 GB 5009.92—2016 标准^[4], 均采用火焰原子吸收光谱法测定; 钾含量依据 GB 5009.91—2016 标准^[5], 采用酸溶-火焰光度法测定; 亚铁离子还原能力采用 FRAP 法测定^[6], DPPH 自由基清除能力的测定参考蔡萌等^[7]的方法。过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法^[8]; 多酚氧化酶(PPO)活性采用邻苯二酚法测定^[9]。各项待测指标测定时均 3 次重复。

1.4 数据统计分析

用 Excel 2010 软件对试验数据进行整理并绘图, 用 SPSS 20.0 软件对数据进行方差分析, 并进行 Duncans' 差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同产地不同高原夏菜矿质元素对比

2.1.1 铁含量 由图 1 可知, 6 个不同产地娃娃菜的铁含量以榆中马坡生产的娃娃菜含量最高, 为 8.6 mg/kg, 与其余地区生产的娃娃菜均差异显著; 榆中三角城生产的娃娃菜次之, 为 6.1 mg/kg, 除与天祝打柴沟生产的娃娃菜差异不显著外, 与其

余地区生产的娃娃菜差异均显著；其余地区生产的娃娃菜铁含量间均差异不显著。由此可见，榆中2个产地娃娃菜的铁含量均明显高于其余地区。不同产地的红笋比较分析发现，榆中马坡生产的红笋铁含量最高，为6.4 mg/kg，与榆中三角城生产的红笋差异不显著，但与其他地区生产的红笋均差异显著；榆中三角城生产的红笋次之，为5.4 mg/kg，与甘州大满生产的红笋差异不显著，但与其他地区生产的红笋均差异显著。由此可见，榆中2个产地红笋铁含量明显高于其他地区，永登大同、永昌黑土洼和天祝打柴沟生产红笋中铁含量较低，且差异不显著。不同产地西兰花的铁含量比较，榆中三角城生产的西兰花铁含量最高，为20.8 mg/kg，较其余地区生产的西兰花均差异显著；榆中三角城生产的西兰花次之，为23.7 mg/kg，也较其余地区生产的西兰花均差异显著；以永登大同生产的西兰花最低，为6.3 mg/kg，较其余地区生产的西兰花均差异显著。由此可见，榆中2个产地西兰花铁含量均显著高于其他地区。经过综合对比分析，榆中县2个产地的3种蔬菜的铁含量均较高，呈现榆中县高原夏菜区域性富铁的特点；就3个蔬菜品种而言，西兰花的铁含量明显高于娃娃菜和红笋。

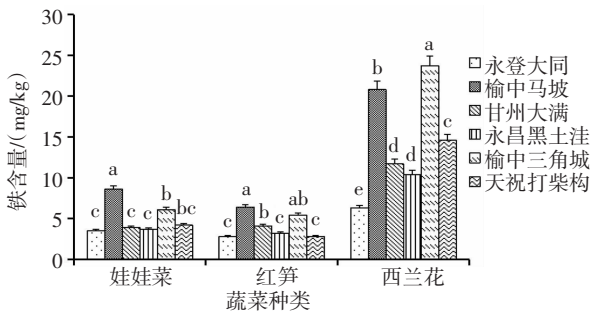


图1 不同产地不同高原夏菜的铁含量

2.1.2 钙含量 由图2可知，不同产地的娃娃菜钙含量以榆中三角城生产的娃娃菜最高，为380.0 mg/kg，与其他地区生产的娃娃菜均差异显著；其次是榆中马坡生产的娃娃菜，为324.0 mg/kg，也与其他地区生产的娃娃菜均差异显著；甘州大满生产的娃娃菜钙含量仅为73.4 mg/kg，显著低于其他地区。不同产地的红笋钙含量比较分析发现，永昌黑土洼生产的红笋钙含量最高，为107.0 mg/kg，与榆中马坡、天祝打柴沟生产的红笋差异不显著，与其他地区生产的红笋均差异显著；其次为永登大同生产的红笋，钙含量为104.0 mg/kg，与天祝打柴沟生产的红笋差异不显著，与其他地区生产的红笋均差异显著；永登大同生产的红笋钙含量仅为22.4 mg/kg，与甘州大满生产的红笋差异不显著，均显著低于其他地区。不同产地的西兰花钙含量以榆中三角城、榆中马坡生产的西兰花较高，分别为476.0、474.0 mg/kg，均显著高于其他地区生产的西兰花，永登大同生产的西兰花钙含量最低，为114.0 mg/kg。综合分析表明，榆中2产地的3种蔬菜的钙含量均较高，呈现榆中县高原夏菜区域性富钙的特点；就3个蔬菜品种钙含量而言，由高到低依次为西兰花、娃娃菜、红笋。

次为榆中马坡生产的红笋，钙含量为104.0 mg/kg，与天祝打柴沟生产的红笋差异不显著，与其他地区生产的红笋均差异显著；永登大同生产的红笋钙含量仅为22.4 mg/kg，与甘州大满生产的红笋差异不显著，均显著低于其他地区。不同产地的西兰花钙含量以榆中三角城、榆中马坡生产的西兰花较高，分别为476.0、474.0 mg/kg，均显著高于其他地区生产的西兰花，永登大同生产的西兰花钙含量最低，为114.0 mg/kg。综合分析表明，榆中2产地的3种蔬菜的钙含量均较高，呈现榆中县高原夏菜区域性富钙的特点；就3个蔬菜品种钙含量而言，由高到低依次为西兰花、娃娃菜、红笋。

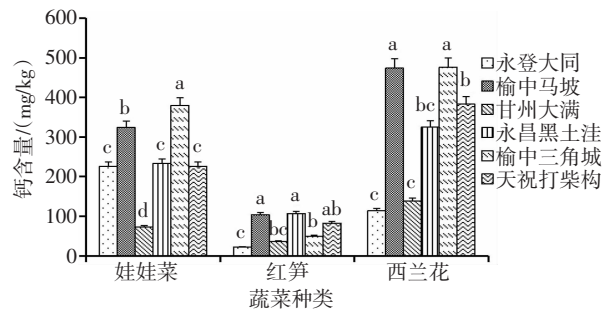


图2 不同产地高原夏菜钙含量

2.1.3 钾含量 由图3可知，不同产地的娃娃菜钾含量以榆中三角城生产的娃娃菜最高，为2420.0 mg/kg，但与其他地区(天祝打柴沟除外)的差异均不显著；天祝打柴沟生产的娃娃菜钾含量最低，为1620.0 mg/kg，均显著低于其他地区。不同产地的红笋钾含量对比分析发现，各产地红笋钾含量比较接近，其中以甘州大满生产的红笋钾含量最高，为3490.0 mg/kg，除与永昌黑土洼生产的红笋差异不显著外，与其他地区生产的红笋均差异显著；其次为永昌黑土洼生产的红笋，钾含量为3280.0 mg/kg，除与榆中三角城生产的红笋差异显著外，与其他地区生产的红笋均差异不显著；榆中三角城生产的红笋钾含量最低，为2690.0 mg/kg，显著低于其他地区生产的红笋。不同产地西兰花的钾含量以榆中三角城生产的西兰花最高，为4130.0 mg/kg，除与甘州大满生产的西兰花差异不显著外，与其他地区生产的西兰花均差异显著；永登大同生产的西兰花钾含量最低，为1900.0 mg/kg，均显著低于其他地区生产的西兰花。综合分析表明，榆中三角城生产的娃娃菜、西兰花的钾含量均为最高，但红笋钾含量以甘州大满、永昌黑土洼

两产地较高;就 3 种蔬菜富集特点分析,钾含量由高到低依次为西兰花、红笋、娃娃菜。

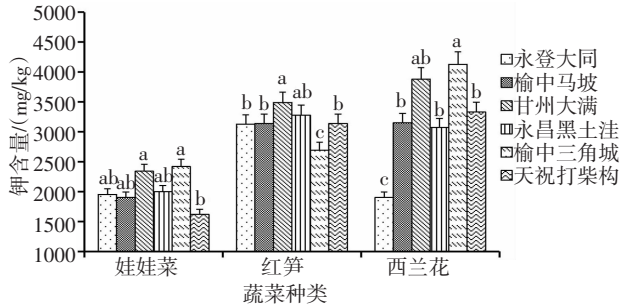


图 3 不同产地高原夏菜钾含量

2.2 不同产地高原夏菜抗氧化特性分析

2.2.1 亚铁离子还原力(FRAP)分析 如图 4 所示,3 种蔬菜的亚铁离子还原力在 6 个产地之间均有显著差异。6 个产地的娃娃菜中还还原力最高的为天祝打柴沟,为 6.4 mmol/kg;榆中马坡最低,为 4.7 mmol/kg。6 个产地的红笋中还还原力最高的是榆中马坡,为 4.3 mmol/kg;最低的是榆中三角城,为 2.1 mmol/kg。6 个产地的西兰花中还还原力最高的是甘州大满,为 4.7 mmol/kg;最低的是榆中三角城,为 3.0 mmol/kg。综合分析表明,3 种蔬菜在 6 个产地的亚铁还原能力未呈现出某产地一致性高或者低的特点,但从品种分析,娃娃菜亚铁离子还原力高于西兰花和红笋。

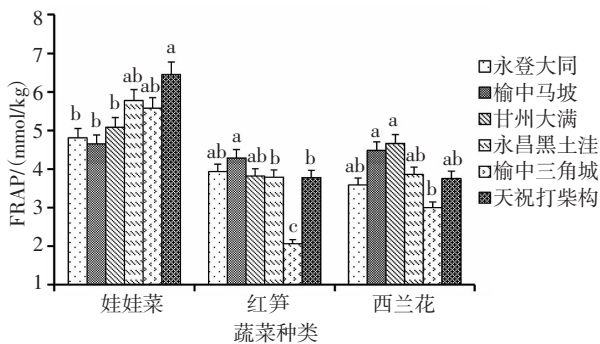


图 4 不同产地高原夏菜 FRAP

2.2.2 DPPH 自由基清除能力 如图 5 所示,娃娃菜和红笋的 DPPH 清除率较低,且 6 个产地之间无显著差异;6 个产地西兰花的 DPPH 清除率有一定差异,均呈现出较高的 DPPH 清除率,且均超过了 40%。同时可看出 6 个产地西兰花的 DPPH 清除率除甘州大满与榆中马坡差异显著不显著外,其余地区间均差异显著。其中以甘州大满生产的西兰花 DPPH 清除率最高,为 63.5%;榆中三角城生产的西兰花 DPPH 清除率最低,为 40.1%。6 个

产地的娃娃菜中 DPPH 清除率最高的为天祝打柴沟,为 31.5%;榆中马坡最低,为 22.9%。6 个产地的红笋中 DPPH 清除率最高的是榆中马坡,为 20.49%;最低的是榆中三角城,为 11.89%。综合分析表明,3 种蔬菜在 6 个产地的 DPPH 清除率未呈现某产地一致性高或者低的特点,但从品种分析,西兰花的 DPPH 清除率最高,其次是娃娃菜,红笋的 DPPH 清除率最低。

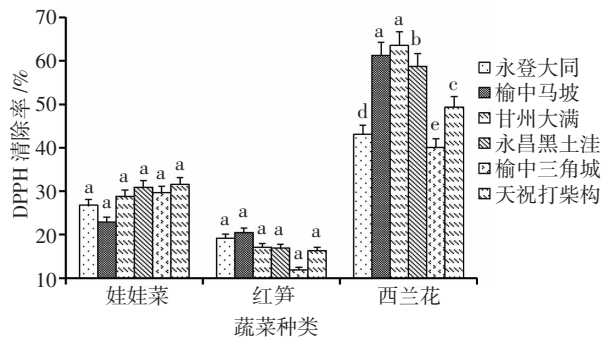


图 5 不同产地高原夏菜 DPPH 自由基清除能力

2.2.3 过氧化物酶(POD)活性 由图 6 可知,娃娃菜的 POD 活性在 6 个产地间无显著差异,而红笋和西兰花有一定差异。6 个产地的娃娃菜中 POD 活性最高的是天祝打柴沟,为 1335.3 U/(min·g)FW;最低的是榆中马坡,为 791.7 U/(min·g)FW。6 个产地的红笋中 POD 活性最高的是榆中马坡,为 247.7 U/(min·g)FW;最低的是榆中三角城,为 103.7 U/(min·g)FW。6 个产地的西兰花中 POD 活性最高的为甘州大满,为 4782.9 U/(min·g)FW;最低的是榆中三角城,为 1395.6 U/(min·g)FW。综合分析,3 种蔬菜在 6 个产地的 POD 活性未呈现某产地一致性高或者低的特点,但从品种分析,西兰花的 POD 活性最高,其次是娃娃菜,红笋的 POD 活性最低。

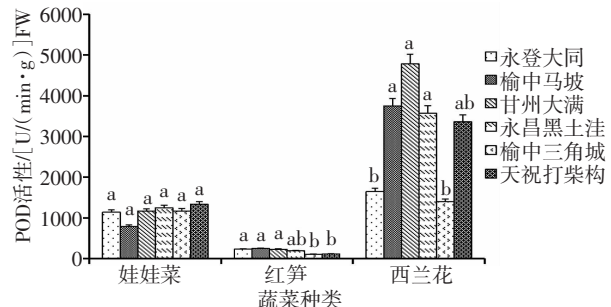


图 6 不同产地高原夏菜 POD 活性

2.2.4 多酚氧化酶(PPO)活性 由图 7 可知,娃娃菜的 PPO 活性在 6 个产地间无显著差异,而红笋和西兰花有一定的差异。6 个产地的娃娃菜中 PPO

活性最高的是天祝打柴沟, 为 $15.0 \text{ U}/(\text{min}\cdot\text{g})\text{FW}$; 最低的是榆中马坡, 为 $7.4 \text{ U}/(\text{min}\cdot\text{g})\text{FW}$ 。6 个产地的红笋中 PPO 活性最高的是榆中马坡, 为 $32.9 \text{ U}/(\text{min}\cdot\text{g})\text{FW}$; 最低的是榆中三角城, 为 $14.3 \text{ U}/(\text{min}\cdot\text{g})\text{FW}$ 。6 个产地的西兰花中 PPO 活性最高的为甘州大满, 为 $19.3 \text{ U}/(\text{min}\cdot\text{g})\text{FW}$; 最低的是榆中三角城, 为 $9.8 \text{ U}/(\text{min}\cdot\text{g})\text{FW}$ 。综合分析, 3 种蔬菜在 6 个产地的 PPO 活性未呈现某产地一致性高或者低的特点, 但从品种分析, 红笋的 PPO 活性略高于西兰花和娃娃菜。

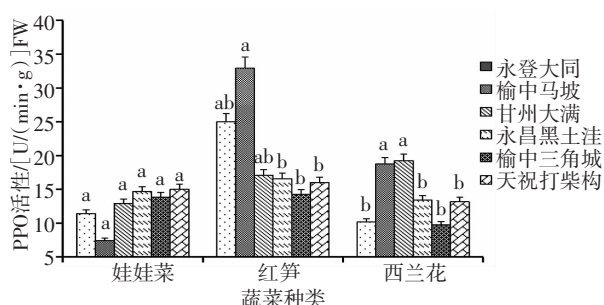


图 7 不同产地高原夏菜 PPO 活性

综上所述, 3 种蔬菜在 6 个产地的抗氧化性未呈现出某产地一致性高或者低的特点, 3 种蔬菜亚铁离子还原力从高到低依次为娃娃菜、西兰花、红笋, DPPH 清除率从高到低依次为西兰花、娃娃菜、红笋, POD 活性从高到低依次为西兰花、娃娃菜、红笋, PPO 活性从高到低依次为红笋、西兰花、娃娃菜。

3 讨论与结论

在沿黄灌区、河西戈壁绿洲以及过渡带不同生态区域的 6 个高原夏菜产地, 进行西兰花、娃娃菜、红笋 3 个高原夏菜主导品种的铁、钙、钾含量以及 FRAP 值、DPPH 清除率、POD 活性、PPO 活性 4 种抗氧化活性指标的测定, 结果表明, 娃娃菜、西兰花、红笋这 3 种高原夏菜中, 6 个产地西兰花的铁、钙、钾的含量均高于娃娃菜和红笋, 说明西兰花有富集铁、钙、钾这 3 种矿质元素的营养特点, 而产地方面, 榆中三角城、榆中马坡产地 3 种蔬菜的铁、钙、钾含量均较高。蔬菜矿物质含量一方面与蔬菜品种对矿质元素的富集特性有关, 另一方面与土壤中矿物质的含量有关, 可能与榆中区域内土壤中铁、钙、钾这 3 种矿质元素含量高有关。榆中县是高原夏菜的起源地, 种植时间超过 20 a, 是高原夏菜的老产区,

由于种植时间长, 施肥充足, 土壤中矿质元素的含量较高, 而永登、天祝等过渡地带, 尤其是河西绿洲, 长期种植禾本科农作物, 土壤中的矿物质相对含量较少, 因此在生产中, 应根据种植蔬菜的需肥特点, 进行测土配方施肥。

本试验对 3 种蔬菜的 FRAP 值、DPPH 清除率、POD 活性、PPO 活性这 4 种指标测定所得的抗氧化活性结果表现不完全一致, 未表现出品种间抗氧化性强弱的规律性特点, 这与杨冬梅^[10]的研究结果一致。蔬菜抗氧化活性的测定指标较多, 除本研究中采用的 FRAP 值、DPPH 清除率、POD 活性、PPO 活性之外, 还有 SOD(过氧化物歧化酶)活性、CAT(过氧化氢酶)活性、MDA(丙二醛)含量等指标, 由于蔬菜成分的复杂性, 需采用多种方法对蔬菜的抗氧化能力进行综合评价, 才能得到比较科学、合理的数据。鉴于此, 在今后的相关研究中, 需进一步丰富各种蔬菜抗氧化性研究的指标。

参考文献:

- [1] 朱文, 韩宝, 徐凯, 等. 房山区设施叶类蔬菜矿质营养元素分析[J]. 现代食品, 2020(11): 172-175.
- [2] 马倩影. 三种蔬菜抗氧化活性的比较分析及稳定性研究[J]. 农产品加工, 2020(2): 62-64.
- [3] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国食品药品监督管理总局. 食品中铁的测定: GB 5009.90—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [4] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国食品药品监督管理总局. 食品中钙的测定: GB 5009.92—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [5] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国食品药品监督管理总局. 食品中钾的测定: GB 5009.91—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [6] KORUS J, GUMUL D, CZECHOWSKA K. Effect of extrusion on the phenolic composition and antioxidant activity of drybeans of *Phaseolus vulgaris* L[J]. Food Technology and Biotechnology, 2007, 45(2): 139-146.
- [7] 蔡萌, 杜双奎, 柴岩, 等. 黄土高原小粒大豆抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(8): 108-115.
- [8] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [9] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [10] 杨冬梅, 金月亭, 柯乐芹, 等. 12 种常见蔬菜抗氧化活性蛋白比较研究[J]. 中国食品学报, 2007(5): 24-29.