

藜属植物叶片生长期有益矿质元素含量动态分析

吴应齐¹, 姚理武¹, 赵红波², 王衍彬², 周侃侃², 柴振林², 王朝仁², 杨柳²

(1. 庆元县自然资源和规划局, 浙江 庆元 323800; 2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为了探明藜麦 *Chenopodium quinoa* 等藜属 *Chenopodium* 植物叶片中矿质元素的含量状况, 以浙江省主要栽培的‘陇藜 1 号’ *Ch. Quinoa* ‘Longli 1’ ‘青藜 4 号’ *Ch. Quinoa* ‘Qingli 4’ ‘冀藜 2 号’ *Ch. Quinoa* ‘Jili 1’ 和红藜 *Chenopodium formosanum* 4 个品种(种)为研究对象, 采用微波消解-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定藜麦生长期叶片中钙、铁、锌、钾、钠、镁、铜、锰 8 种人体必需的常量和有益微量矿质元素含量, 并对矿质元素含量动态进行分析。结果表明, 在藜麦叶片可食用期内, 随着藜麦的生长, 叶片中的矿质元素含量和增减状态不尽相同, 含量由高到低依次为钾>钙>镁>铁>锰>钠>锌>铜, 其中钙含量呈逐渐上升趋势, 而钾、钠、铁含量呈下降趋势, 镁含量相对稳定, 锰、锌、铜含量动态相似, 整体含量均衡且略呈先扬后抑; 藜麦叶片中的钙、钾、锰含量较高, 其中钙含量均值可达 $1.79 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 钾含量均值可达 $10.57 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 锰含量均值达 $27.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 铁、锌、铜含量均值分别为 $20.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $11.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $1.21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 钠、镁含量较低, 分别为 $0.013 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.59 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 在藜麦生命周期末端, 叶片已不宜食用, 由于水分大幅蒸发, 叶片中的矿质元素含量均成倍增长。

关键词: 藜麦; 叶片; 生长期; 矿质元素; 动态含量; ICP-MS 法

中图分类号: S519.037 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2023)06-0060-06

Dynamics of Mineral Element Content in Leaves of *Chenopodium formosanum* and Cultivars of *Ch. quinoa* during Growth Period

WU Yingqi¹, YAO Liwu¹, ZHAO Hongbo², WANG Yanbin², ZHOU Kankan², CHAI Zhenlin², WANG Chaoren², YANG Liu²

(1. Qingyuan Natural Resources and Planning Bureau of Zhejiang, Qingyuan 323800, China; 2. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to find out the content of mineral elements in the leaves of *Chenopodium* plants, taking the four main varieties of quinoa cultivated in China as the target, the content of eight essential major and beneficial trace mineral elements, such as calcium, potassium and magnesium, in the growth period of quinoa was determined by microwave digestion coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), and the dynamic content of mineral elements was analyzed. The results showed that during the edible period of quinoa leaves, the mineral element content and increase/decrease state varied with the growth of quinoa. The highest content is potassium, followed by calcium > magnesium > iron > manganese > sodium > zinc > copper. Calcium showed a gradual upward trend, while potassium, sodium, and iron showed a downward trend, and magnesium content was relatively stable. The dynamic content of manganese, zinc, and copper were similar, with an overall balance and a slight increase followed by a decrease. Quinoa leaves had high levels of calcium, potassium and manganese, with calcium content reaching $1.79 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, average potassium content reaching $10.57 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, and average manganese content reaching $27.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. The average content of iron, zinc, and copper was $20.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $11.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, and $1.21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The sodium and magnesium contents were relatively low, at $0.013 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $0.59 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. At the end of the life cycle of quinoa, its leaves was no longer suitable for consumption. Due to the significant evaporation of water, the content of mineral elements increased exponentially. This article aimed to provide technical references for the scientific consumption of quinoa vegetables by tracking and analyzing the dynamic content of mineral elements during the growth period of quinoa leaves.

收稿日期: 2023-04-18; 修回日期: 2023-07-07

基金项目: 浙江省林业专项资金项目(庆自然资规发〔2021〕101号); 浙江省科技厅省属科研院所专项(2021F1065-9)

作者简介: 吴应齐, 高级工程师, 从事藜麦种植研究与推广; E-mail: zjlsywyq@126.com。通信作者: 杨柳, 高级工程师, 从事食品安全研究; E-mail: yangliuxs@163.com。

Key words: *Chenopodium quinoa*; Leaves; Growth period; Mineral elements; Dynamic content; ICP-MS method

藜麦 *Chenopodium quinoa* 是苋科 Amaranthaceae 藜属 *Chenopodium* 的一种粮食作物,原产于南美安第斯山地区,距今已有约 7 000 年的种植历史^[1-2]。因藜麦的营养和食用价值超过很多谷物,且富含人体必需的多种氨基酸、矿物质、多不饱和脂肪酸^[3],被国际营养学家们称为“营养黄金”^[4-5],备受联合国粮农组织推崇。20 世纪 90 年代初,中国就已引种栽培^[6],目前已在甘肃、青海、河北、吉林、内蒙古等省、自治区大面积种植,主要品种有如陇藜 *Ch. Quinoa* ‘Longli’、青藜 *Ch. Quinoa* ‘Qingli’、冀藜 *Ch. Quinoa* ‘Jili’和东北红藜 *Ch. formosanum* ‘Dongbei’等,产量均可达 2 200 kg·hm⁻²,高于全球平均产量^[7],已成为区域性特色经济作物^[8]。除作为类谷物食用籽粒外,藜麦茎秆也可通过青贮等手段制成牲畜饲料^[9-10],叶片更是富含多种矿物质、维生素 C、多酚和黄酮等有益物质^[11-12],在播种后生长至 20~30 cm 的藜麦幼嫩茎叶即可食用^[13-14],且在人体微量元素摄取补充方面的优势要优于藜麦米^[15]。藜麦中的钙、镁、钾等元素含量显著高于普通小麦 *Triticum aestivum*、玉蜀黍 *Zea mays* 等谷物^[3,16]。

藜麦叶片生长过程对环境条件的要求较收获籽粒的生长过程更为宽泛,浙江、湖南、天津等省、直辖市已有藜麦栽培报道^[17-19]。随着人们对食品健康的不断追求和对藜麦叶菜的认可,藜麦或将作为良品蔬菜走进千家万户。本研究通过对藜麦叶片生长期矿质元素含量动态进行跟踪分析,旨在为藜麦菜的标准化生产和食用提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择‘陇藜 1 号’*Ch. Quinoa* ‘Longli 1’、‘青藜 4 号’*Ch. Quinoa* ‘Qingli 4’、‘冀藜 2 号’*Ch. Quinoa* ‘Jili 1’和红藜 *Ch. formosanum* 等浙江省主栽的 4 种藜属植物为实验材料。种子由中国农业科学院提供。

1.2 试验地概况

试验于 2020 年 9—12 月在浙江省杭州市西湖区浙江省林业科学研究院试验田(30°13′1.2″E,120°1′32.52″N)进行,试验田土壤 pH 值为 6.1,有机质、全氮、有效磷、速效钾含量分别为 55.9 g·kg⁻¹、2.7 g·kg⁻¹、30.9 mg·kg⁻¹、85.1 mg·kg⁻¹。气候属亚热带季风气候,四季分明,雨量充沛,全年平均气温为 17.8 ℃,年平均相对湿度为 70.3%,年降水量为 1 454 mm,年日照时数为 1 765 h。

1.3 实验设计

采用随机区组设计,每个品种 6 次重复,共 24 个小区。每个小区的面积为 0.5 m×0.5 m,相邻 2 个小区间隔 1 m。藜麦种植采用覆膜穴播方式,播种深 1.5 cm,2020 年 9 月 15 日播种。出苗后视苗情对缺苗处进行补苗。在藜麦苗生长至 4~6 叶时,进行间苗,生长至 7~10 叶时,进行定苗,田间管理期间仅浇水和除杂草,未施肥和喷药。待藜麦生长至 4~6 叶时开始采摘叶片,选择正常苗株每次摘取 1~2 片叶片,之后每 6~7 d 取样。取样时间分别为 9 月 30、10 月 6 日、10 月 12 日、10 月 18 日、10 月 24 日、10 月 30 日,连续取样 6 次后,植株上的叶片开始有失水现象,之后叶片已不宜食用,遂间隔 60 d 后于 12 月 30 日取第 7 次样品(干样)。每次取样后即编号、制样、冰冻(−18 ℃)存放,完成全部取样后统一采用等离子发射光谱质谱仪检测分析。

1.4 矿质元素分析

1.4.1 样品前处理 去除藜麦叶样品中的杂质,用去离子水冲洗干净,用纱布拭去叶片表面水分,晾干(干样不用清洗),用匀浆机磨匀,−18 ℃冷冻保存备检。

1.4.2 样品消解 准确称取磨匀后的样品 1.0 g(干样称取 0.5

g,精确至小数点后四位)于微波消解管中,加 5 mL 浓硝酸和 0.5 mL 双氧水,加盖旋紧,放入微波消解仪消解,消解程序如表 1 所示。消解完毕后,冷却,缓慢开盖,于 100 ℃下加热 20 min。冷却,定容备用。同时做空白试验。

表 1 微波消解程序

Tab. 1 Microwave digestion process				
阶段	功率/W	升温时间/min	温度/℃	持续时间/min
1	1 440	5	130	10
2	1 440	5	160	10
3	1 440	5	180	20

1.4.3 标准溶液配制 分别配制钙、铁、锌、钾、钠、镁标准溶液 1 000 mg·L⁻¹，铜、锰 标准溶液 1 000 μg·L⁻¹，采用经过国家认证并授予标准物质证书的多元素标准溶液。用硝酸溶液（5+95）逐级稀释配制成混合标准溶液系列，各元素质量数、内标及质量浓度如表 2 所示。

表 2 标准溶液系列
Tab. 2 Standard solution

元素	内标	单位	标准系列质量浓度					
			系列1	系列2	系列3	系列4	系列5	系列6
钙	Sc	mg·L ⁻¹	0	0.50	1.00	2.00	4.00	10.0
铁	Sc	mg·L ⁻¹	0	0.20	0.40	1.00	2.00	5.00
锌	Ge	mg·L ⁻¹	0	0.20	0.40	1.00	2.00	5.00
钾	Sc	mg·L ⁻¹	0	0.50	1.00	2.00	4.00	10.0
钠	Sc	mg·L ⁻¹	0	0.50	1.00	2.00	4.00	10.0
镁	Sc	mg·L ⁻¹	0	0.50	1.00	2.00	4.00	10.0
铜	Ge	μg·L ⁻¹	0	10.0	40.0	100	200	600
锰	Ge	μg·L ⁻¹	0	10.0	40.0	100	200	600

1.4.4 电感耦合等离子体（ICP/MS）检测技术参数 按照表 3 所给条件，将仪器调整至最佳工作状态，待仪器稳定后，将标准系列工作溶液注入电感耦合等离子体质谱仪，测定元素信号响应值，以质量浓度为横坐标，响应值为纵坐标，绘制标准曲线并对样品进行检测。

表 3 ICP/MS 检测技术参数
Tab. 3 Technical parameters for ICP/MS detection

参数	条件	参数	条件	参数	条件	参数	条件
射频功率	1 450 W	氦气流量	4.2 L·min ⁻¹	采样深度	10 mm	采集检测	自动跳峰
等离子体气体流量	15 L·min ⁻¹	雾化室温度	2 ℃	蠕动泵转速	0.3 r·s ⁻¹	重复次数	3 次
载气流量	0.8 L·min ⁻¹	雾化器	高盐	测定点数	1 点	分析模式	碰撞
辅助气流量	0.5 L·min ⁻¹						

2 结果与分析

2.1 必需常量矿质元素含量分析

2.1.1 藜麦生长期叶片钙含量动态 藜麦生长期叶片中的钙含量动态如图 1。由图 1 可见，在藜麦苗生长过程中，叶片中的钙含量整体呈上升的趋势，且最后一次取样叶片中的钙含量较前一次均成倍增加。第一次取样时（9 月 30 日），整株叶片较小（叶长 5~6 cm、叶宽 3~4 cm），随着生长时间的增加，藜麦苗逐渐拔高，叶面随之增长变宽，至 10 月 18 日时，叶面增幅达极限（叶长 9.2~9.5 cm、叶宽 9.3~9.6 cm），此后叶面积无明显变化。前 6 次采样时，藜麦叶片鲜活、含水量充足、无明显衰败现象，此间所产藜麦叶均可供食用。第 7 次采样时，藜麦米均已经成熟，叶片严重失水、明显枯萎，已不宜食用。在叶片可食用阶段，红藜叶片中的钙含量均处于最高水平，并由第一次采样时的 1.51 g·kg⁻¹增至第 6 次采样时的 1.79 g·kg⁻¹，其平均含量是另 3 种藜麦叶的 1.3~1.4 倍，‘陇藜 1 号’‘冀藜 2 号’‘青藜 4 号’在可食用期间叶片中的钙平均含量分别为 1.35 g·kg⁻¹、1.31 g·kg⁻¹和 1.40 g·kg⁻¹。其间钙含量的变异系数如表 4 所示，红藜叶片中的钙含量相对稳定，其次是‘青藜 4 号’‘冀藜 2 号’和‘陇藜 1 号’。叶片枯萎后，由于大量水分丧失而矿质元素不易挥发，叶片中钙含量大幅上升，含量最高的是‘陇藜 1 号’，达 8.91 g·kg⁻¹，其次是‘青藜 4 号’（7.89 g·kg⁻¹）、红藜（4.43 g·kg⁻¹）和

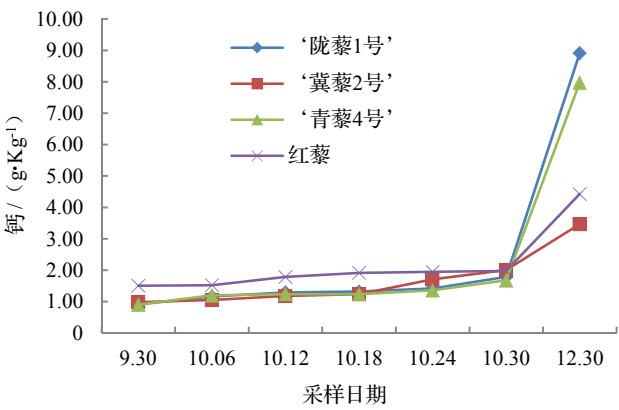


图 1 藜麦生长期叶片钙含量动态
Fig. 1 Calcium content in leaves of tested species and cultivars during growth period

‘冀藜2号’ ($3.47\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。

表4 藜麦叶可食用期间矿质元素含量变异系数
Tab. 4 Coefficient of variation of mineral element content in leaves during edible period of tested species and cultivars

品种(种)	钙/%	钾/%	镁/%	钠/%	铁/%	锰/%	锌/%	铜/%
‘陇藜1号’	22.0	10.9	10.4	17.8	70.8	14.1	14.4	13.5
‘冀藜2号’	29.9	13.0	5.6	16.6	73.6	11.1	6.9	16.1
‘青藜4号’	19.8	12.6	12.7	22.8	47.7	21.5	20.6	25.5
红藜	11.9	12.2	6.5	12.2	39.2	24.1	18.2	17.0

2.1.2 藜麦生长期叶片钾含量动态 藜麦生长期叶片中的钾含量动态如图2。由图2可知,在藜麦叶片可食用阶段,叶片中的钾含量整体呈下降趋势,降幅为1.6%~25.0%。4种藜麦叶片中的钾含量均值为 $9.61\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中红藜叶片中的钾含量均值仍最高,达 $10.57\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是‘陇藜1号’‘青藜4号’和‘冀藜2号’,其叶片中钾含量均值均为 $9.13\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。红藜也是食用期内钾含量降幅最大的品种,其次是‘冀藜2号’(21.8%)、‘青藜4号’(8.54%)。‘陇藜1号’叶片中的钾含量最稳定,其变异系数为10.9%,其次是红藜、‘青藜4号’和‘冀藜2号’,如表4。叶片枯萎后,钾含量大幅上升,其中含量最高的仍是‘陇藜1号’,达 $36.94\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是‘青藜4号’,为 $29.99\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,红藜和‘冀藜2号’相近,分别为 $12.55\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $12.69\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

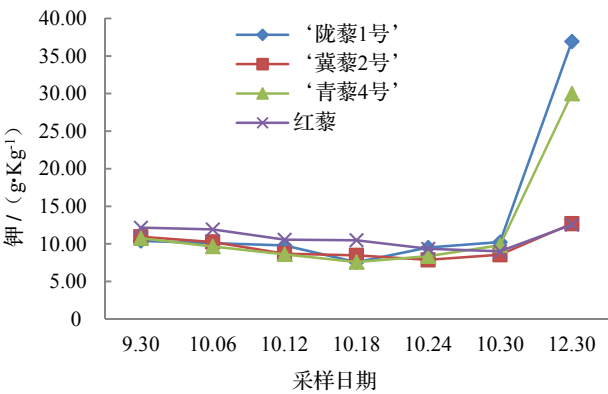


图2 藜麦生长期叶片钾含量动态

Fig. 2 Potassium content in leaves of tested species and cultivars during growth period

2.1.3 藜麦生长期叶片镁含量动态 藜麦生长期叶片镁含量动态如图3。

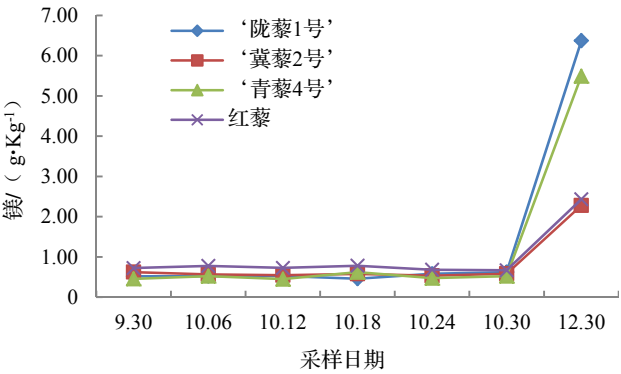


图3 藜麦生长期叶片镁含量动态

Fig. 3 Magnesium content in leaves of tested species and cultivars during growth period

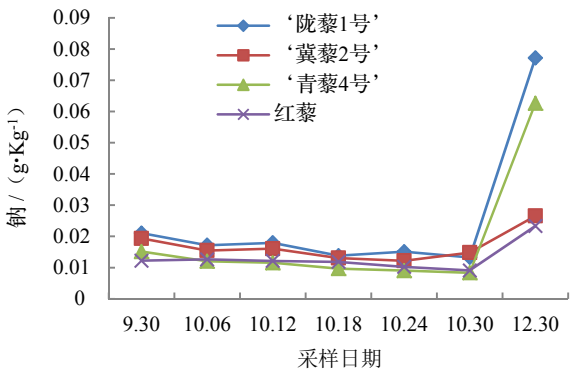


图4 藜麦生长期叶片钠含量动态

Fig. 4 Sodium content in leaves of tested species and cultivars during growth period

由图3可知,在藜麦叶片可食用阶段,叶片中的镁含量相对稳定,整体含量均值为 $0.59\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。其中,红藜叶片中镁含量均值最高,达 $0.73\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是‘冀藜2号’,为 $0.57\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、‘陇藜1号’和‘青藜1号’含量相近,分别为 $0.54\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.51\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。钾含量最稳定的是‘冀藜2号’,变异系数仅为5.6%,其次是红藜、‘陇藜1号’和‘青藜4号’,如表4。叶片枯萎后,镁含量大幅上升,其中含量最高的仍是‘陇藜1号’,达 $6.37\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是‘青藜4号’,为 $5.49\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,红藜和‘冀藜2号’相近,分别为 $2.43\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $2.28\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.1.4 藜麦生长期叶片钠含量动态 藜麦生长期叶片中的钠含量动态如图4。由图4可知,在藜麦叶片可食用

阶段,叶片中的钠含量整体呈下降趋势,降幅为22.3%~44.9%。4种藜麦叶片中的钠含量均值为 $0.013\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中,‘陇藜1号’叶片中的钠含量均值最高,达 $0.016\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是‘冀藜2号’,为 $0.015\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,‘青藜4号’和红藜均为 $0.011\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。在可食用期内,叶片中钠含量降幅最大的藜麦为‘青藜4号’,为44.9%,其次是‘陇藜1号’,为36.9%,红藜为25.7%。红藜叶片中的钠含量相对稳定,变异系数为12.2%,其次是‘冀藜2号’‘陇藜1号’和‘青藜4号’,见表4。叶片枯萎后,钠含量大幅上升,其中含量最高的仍是‘陇藜1号’,达 $0.077\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是‘青藜4号’,为 $0.063\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,‘冀藜2号’和红藜相近,分别为 $0.023\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.027\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.2 有益微量矿质元素含量分析

2.2.1 藜麦生长期叶片铁含量动态 藜麦生长期叶片中的铁含量动态如图5。由图5可知,在藜麦叶片可食用阶段,叶片中的铁含量整体呈下降趋势,降幅为48.2%~78.5%。4种藜麦铁含量均值为 $20.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中‘陇藜1号’叶片的铁含量均值最高,达 $28.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是‘冀藜2号’,为 $20.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,‘青藜4号’和红藜分别为 $16.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $15.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。在可食用期内,叶片中铁含量降幅最大的是‘陇藜1号’(78.5%),其次是‘冀藜2号’(75.6%)、‘青藜4号’(68.6%)。在前四次采样样品中,叶片中的铁流失明显。10月18—30日,叶片中的铁含量变化较小,变异系数为6.0%~12.0%,明显低于整体变异系数,见表4。叶片枯萎后,铁含量大幅上升,其中含量最高的仍是‘陇藜1号’,达 $223\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是‘青藜4号’,为 $175\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,‘冀藜2号’和红藜相近,分别为 $65.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $62.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

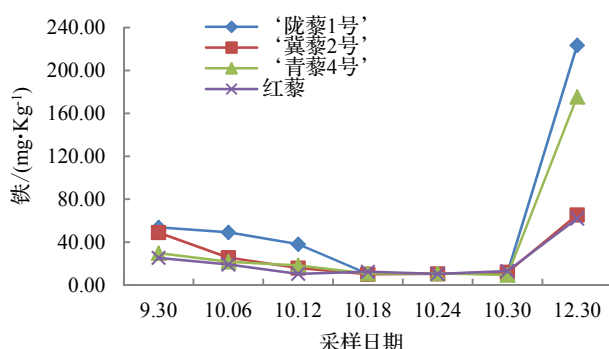


图5 藜麦生长期叶片铁含量动态

Fig. 5 Iron content in leaves of tested species and cultivars during growth period

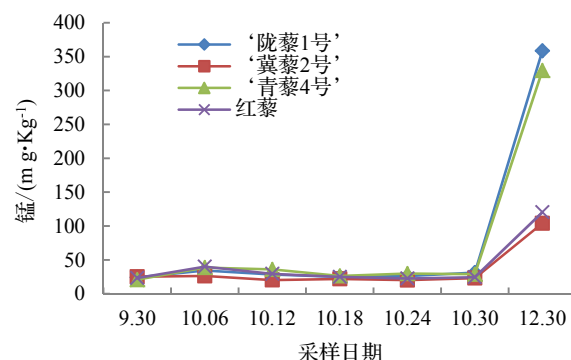


图6 藜麦生长期叶片锰含量动态

Fig. 6 Manganese content in leaves of tested species and cultivars during growth period

2.2.2 藜麦生长期叶片锰、锌、铜含量动态 藜麦生长期叶片中的锰、锌、铜含量动态见图6、图7和图8。

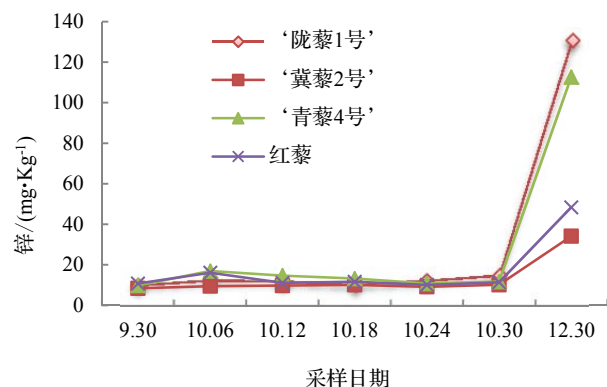


图7 藜麦生长期叶片锌含量动态

Fig. 7 Zinc content in leaves of tested species and cultivars during growth period

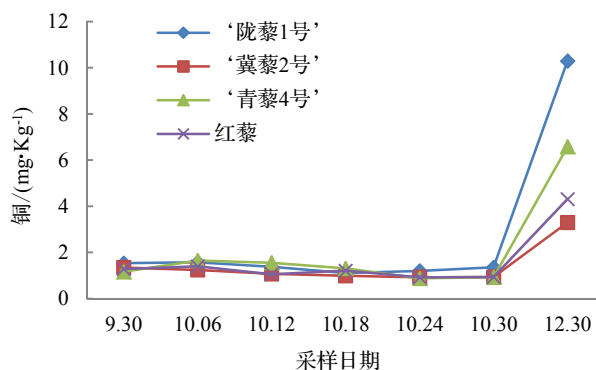


图8 藜麦生长期叶片铜含量动态

Fig. 8 Copper content in leaves of tested species and cultivars during growth period

由图可知,在藜麦叶片可食用阶段,叶片中的锰、锌、铜含量动态相似,整体含量均衡且略呈先扬后抑,

拐点为10月6日。锰含量均值为 $27.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 锌含量均值为 $11.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 铜含量均值为 $1.21\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。10月12日前, 三者的含量波动变化较大, 后续四次采样结果的变化不明显。锰、锌、铜含量变异系数分别为 $11.1\%\sim 24.1\%$ 、 $6.9\%\sim 20.6\%$ 、 $13.5\%\sim 25.5\%$, 如表4所示。第7次采样时, 叶片中3种矿物质含量也均大幅上升, 其中增幅最高的是‘陇藜1号’, 叶片中的锰、锌、铜含量分别是10月30日时的11.5倍、8.7倍、7.6; 其次是‘青藜4号’, 叶片中的锰、锌、铜含量分别是10月30日时的11.4倍、9.6倍、7.1倍; 红藜叶片中的锰、锌、铜含量分别是10月30日时的4.9倍、4.3倍、4.6倍; ‘冀藜2号’叶片中的锰、锌、铜含量分别是10月30日时的4.5倍、3.4倍、3.4倍。

3 结论与讨论

通过对目前浙江省主要栽培的藜麦品种(种)‘陇藜1号’‘青藜4号’‘冀藜2号’和红藜叶片生长期矿质元素含量动态进行跟踪分析, 初步探明了藜麦叶可食用阶段人体必需常量和有益微量的8种矿质元素的含量状况。在藜麦叶可食用期内, 随着藜麦的生长, 叶片中矿质元素含量的增减状态不尽相同。含量最高的是钾, 为 $10.57\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 按矿质元素含量由高到低依次为钾>钙>镁>铁>锰>钠>锌>铜。钙含量呈逐渐上升趋势, 而钾、钠、铁含量呈下降趋势, 镁含量相对稳定, 锰、锌、铜含量动态相似, 整体含量均衡且略呈先扬后抑。藜麦生命周期末端, 叶片已不宜食用, 由于水分大幅蒸发, 矿质元素含量均成倍增长。

藜麦叶是一种高钙、钾、锰, 低钠、镁的蔬菜, 是进行补钙、钾、锰人士的天然食材。在可食用阶段, 藜麦叶片中的钙、钾含量均高于同科的菠菜 *Spinacia oleracea*^[20]。其中, 红藜叶片中的钙含量均值可达 $1.79\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 钾含量均值可达 $10.57\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 是菠菜的3倍、其他常见蔬菜的10~20倍^[21]; 锰含量均值达 $27.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 是藜麦米的3倍、菠菜的4倍^[22-23]; 铁含量均值为 $20.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 为菠菜的10%、藜麦米的70%, 与芦蒿 *Artemisia seleirgens*、山药 *Dioscorea polystachya* 相近^[21,24-25]。4种藜麦叶片中的钠含量均值为 $0.013\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 仅为是菠菜的15%, 也低于白菜 *Brassica pekinensis*、胡萝卜 *Daucus carota* var. *sativa* 等常见蔬菜^[26]; 镁含量均值为 $0.59\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 低于菠菜、白菜、苋菜 *Amaranthus retroflexus* 等常见蔬菜中的含量^[22]; 铁、锌、铜含量与常见蔬菜相近^[22,26]。

参考文献:

- [1] 任贵兴, 杨修仕, 么杨. 中国藜麦产业现状[J]. 作物杂志, 2015(5): 1-5.
- [2] 王凤, 孙冰华, 钱晓洁, 等. 藜麦皂苷及降皂技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(1): 162-168.
- [3] 邓文聪, 王妮, 付治国, 等. 微波消解-ICP-OES法测定藜麦中的微量元素[J]. 广州化工, 2016, 44(18): 146-148.
- [4] R. REPO-CARRASCO, C. ESPINOZA, S. E. JACOBSEN. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*)[J]. Food Rev Int, 2003, 19: 179-189.
- [5] 孙梦涵, 邢宝, 崔宏亮, 等. 藜麦种质资源遗传多样性 SSR 标记分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(3): 625-637.
- [6] 杨爱峥, 李志磊, 付强, 等. CO₂浓度倍增和土壤盐胁迫对藜麦生理特征及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(4): 181-187.
- [7] S. E. JACOBSEN. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Food Rev Int, 2003, 19(1/2): 167-177.
- [8] 杜春婷, 党斌, 杨希娟, 等. 不同加工方式对藜麦淀粉结构与功能特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(4): 54-61.
- [9] 刘瑞香, 郭占斌, 马迎梅, 等. 科尔沁沙地不同品种藜麦的营养价值及青贮研究[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(12): 50-56.
- [10] 张燕红, 郭占斌, 刘瑞香. 不同藜麦品种(系)农艺性状与产量的关系[J]. 草业科学, 2022, 39(10): 2191-2200.
- [11] 魏志敏, 吕玮, 裴美燕, 等. 基于 Design-Expert 回归分析的藜麦叶黄酮提取工艺优化[J]. 河北农业科学, 2019, 23(4): 101-108.
- [12] 陆敏佳, 蒋玉蓉, 陈国林, 等. 藜麦叶片黄酮类物质的提取及基因型差异[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(4): 534-540.
- [13] WEBER E J. The Inca's ancient answer to food shortage[J]. Nature, 1978, 272(5653): 486.
- [14] AHAMED N T, SINGHAL R S, KULKARNI P R, et al. Lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: review of the chemical composition of its edible parts[J]. Food Nutr Bull, 1998, 19(1): 61-70.
- [15] 梅丽, 韩立红, 祝宁, 等. 藜麦菜的设施栽培技术[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(10): 2286-2290.
- [16] 申瑞玲, 张文杰, 董吉林, 等. 藜麦的主要营养成分、矿物元素及植物化学物质含量测定[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2015, 30(5/6): 17-21.
- [17] 吴应齐, 姚理武, 吴丽芳, 等. 不同品系藜麦苗菜农艺性状及营养品质评价[J]. 浙江林业科技, 2021, 41(4): 56-61.
- [18] 周孟琪. 益阳地区鲜食藜麦苗菜栽培技术[J]. 长江蔬菜, 2021(17): 36-37.
- [19] 郭萍, 尹跃明, 杨德胜, 等. 洞庭湖区藜麦苗菜种植试验初探[J]. 湖南农业科学, 2020(2): 22-26.
- [20] 张英鹏, 于仁起, 孙明, 等. 氮钙配施对菠菜产量、钙含量以及土壤钙含量的影响[J]. 山东农业科学, 2008(9): 51-54.
- [21] 黄海霞, 李林. 菠菜中微量元素钾钙铜铁锌含量的测定[J]. 微量元素与健康研究, 2018, 35(3): 49-50.
- [22] 徐芳. 有机肥投入对菠菜中钙、镁、铜、锂含量和分布的影响[J]. 北方园艺, 2012(04): 144-144.
- [23] 薛超群, 郭敏, 张旭, 等. 微波消解-电感耦合等离子体原子发射光谱法测定白色藜麦中11种营养元素的含量[J]. 理化检验: 化学分册, 2018, 54(4): 472-474.
- [24] 张国香, 胡秋霞, 李刚. ICP-MS 测定不同产地藜麦中27种无机元素[J]. 食品工业, 2022, 43(5): 318-322.
- [25] 张爱萍. 几种蔬菜水果中铁含量的测定[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 340-341, 344.
- [26] 唐川惠. 菠菜的不同烹饪方法对其营养品质的影响[J]. 现代食品, 2018(21): 53-55, 64.