

矿质元素对作物的影响及其检测方法研究进展

王 辉¹,张唐伟²,罗 章³,次 顿^{2*}

(1.西藏农牧学院食品科学学院,西藏 林芝 860000;2.西藏自治区农牧科学院农业质量标准与检测研究所,西藏 拉萨 850002;3.西藏农牧学院动物科学学院,西藏 林芝 860000)

摘 要:作物是人类用以盈利和食用的植物,在人类社会中占据重要位置。矿质元素是作物中的重要组成成分,也是影响作物品质及生长发育的重要因素,因此对作物中的矿质元素进行研究具有重要意义。该文综述了矿质元素对作物的影响,包含品质和生长发育两个方面,其中对品质的影响包括对其营养物质、产量和外形的影响。同时,也介绍了作物中矿质元素常用的几种检测方法,包括比色法、分子荧光光谱法、紫外-可见分光光度法、原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、电感耦合等离子体原子发射光谱法以及电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)。为作物中矿质元素的研究提供了参考。

关键词:作物;矿质元素;影响;检测方法;研究进展

中图分类号:Q945.12

文献标志码:A

Research Progress on the Influence of Mineral Elements on Crops and its Detection Methods

WANG Hui¹, ZHANG Tangwei², LUO Zhang³, Cidun^{2*}

(1. College of Food Science, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Tibet Nyingchi 860000; 2. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing, Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lhasa 850002; 3. College of Animal Science, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Tibet Nyingchi 860000, China)

Abstract: Crops are plants that humans use for profit and food, and they occupy an important position in human society. Mineral elements are important components of crops, and are also important factors affecting crop quality and growth, so it is of great significance to study mineral elements in crops. In this paper, the effects of mineral elements on crops are summarized, including quality and growth development, among which the effects on quality include their nutrients, yield and appearance. At the same time, several common detection methods of mineral elements in crops are introduced, including colorimetry, molecular fluorescence spectrometry, ultraviolet-visible spectrophotometry, atomic absorption spectrometry, atomic fluorescence spectrometry, inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). It provides a reference for the research of mineral elements in crops in the future.

Key Words: crop; mineral elements; influencing; detection methods; research progress

作物,是农作物的简称,俗称“庄稼”。作物一般可以分为5种:粮食作物、经济作物、药用作物、饲料及绿肥作物、其他作物。作物中富含多种营养物质,矿质元素是其中之一。从营养层次上来讲,

矿质元素是一种营养素,它是生物体进行生命活动所必需的一种化学元素^[1],大部分作物中主要矿质元素成分包括钠、钙、钾、硅、磷、铁、硫、镁等元素。矿质元素在作物的组成成分中占有重要地位,且对作物有很大的影响并贯穿始终。

矿质元素是作物重要的营养元素之一,其检测方法有很多种,这些检测方法根据其原理不同各有特点。本文综述了7种检测作物中矿质元素的方法,为作物中矿质元素的检测提供参考依据。

收稿日期:2022-08-03

基金项目:西藏自治区重点研发项目:西藏主要情况营养品质评价与鉴定。

作者简介:王辉(1999-),男,硕士研究生,主要从事食品加工与安全研究,E-mail:3207162951@qq.com;*为通讯作者:次顿(1974-),男,研究员,主要从事农产品质量安全研究,E-mail:13989096593@163.com。

1 矿质元素对作物的影响

矿质元素会对作物产生一定的影响,且不同的矿质元素会产生不同的影响。例如,矿质元素会使作物的品质发生变化,也会影响作物正常的生长发育。

1.1 矿质元素对作物品质的影响

1.1.1 矿质元素对作物中营养物质的影响

营养物质是作物的一项重要品质,不同矿质元素增加或减少都会对作物的营养物质产生影响,且产生的影响各不相同。桂安辉等^[2]的研究表明,在扁形绿茶中铁元素含量增加会大幅度降低茶多酚含量;而钙元素和镁元素含量增加或减少会影响可溶性总糖含量;其咖啡碱含量会随着铁元素和锰元素含量增高而降低,其中铁元素对咖啡碱含量的影响最大。和雅妮等^[3]研究了上海市种植的17个葡萄品种发现,镁元素对葡萄可溶性固形物的影响最大,铜元素影响最小;氮元素对葡萄可滴定酸含量影响最大,钾元素影响最小;对维生素C含量影响最大的元素是铜,最小的是钙;对可溶性蛋白含量影响最大的元素是钾,最小的是锌;对总酚含量影响最大的元素是锰,最小的是锌。张建等^[4]研究贵州遵义地区种植的辣椒发现,辣椒中的磷元素和钾元素会影响辣椒碱的含量;钾元素、钙元素、磷元素、镁元素会减少辣椒中蛋白质的含量,铜元素和锌元素则会提高辣椒中蛋白质的含量;辣椒中的矿质元素会提高维生素C的含量,其中以铜元素的影响最大。王贵等^[5]研究发现,矿质元素会对莱阳梨中的可滴定酸、可溶性糖、可溶性固形物、糖酸比及固酸比产生影响。刘晶等^[6]研究不同的矿质元素对玉米籽粒的影响时发现,适量的氮元素和钾元素可以提高玉米籽粒的蛋白质含量,适量的磷元素可以提高玉米籽粒中的糖含量和淀粉蛋白质含量,三者结合可以提高玉米籽粒中维生素B1的含量,降低其烟酸含量。赵利梅等^[7]的研究表明,适量的钾元素可以提高燕麦籽粒中脂肪、蛋白质、赖氨酸以及葡聚糖的含量;孙艳军等^[8]研究显示,锌元素可以提高大蒜中维生素C的含量,且适量的锌元素也可以调高大蒜中蛋白质的含量。

1.1.2 矿质元素对作物产量及外形的影响

产量与外形是作物最重要的品质之一,矿质元素的变化可以导致产量增加、减少及作物外形的变化。

产量不仅是产出数量,且在产出数量不变的情况下,其果质量大小也会影响产量的高低。王贵等^[5]研究发现,镁元素对莱阳梨果实质量的影响最

大,锰元素影响最小;而影响莱阳梨果实硬度最大的元素是锌元素,最小的是铁元素。赵利梅等^[9]的研究表明,使用硒肥会降低燕麦籽粒的产量,增产率为-0.47%;使用锌肥会提高燕麦籽粒的产量,增产率为0.9%。而二者结合提高燕麦籽粒产量的幅度比单独使用锌肥要高,增产率为2.8%。黄东风等^[10]发现适量的镁元素可以提高小白菜的产量。侯在年^[11]研究矿质元素对小麦品质的影响发现,氮元素可以提高小麦的籽粒产量,磷元素和钾元素可以提高小麦的品质并使小麦增产。陈昌婕等^[12]研究得出矿质元素对艾叶的产量及其出绒率产生影响,包括磷元素、钾元素、钙元素和锰元素。彭玲等^[13]研究发现,冬枣园中结果枝的氮元素和磷元素会影响单果质量,氮元素和磷元素含量越高,单果质量越大。蒋开放^[14]发现适量的硒元素可以在一定程度上使小麦富硒增产,李乐等^[15]也发现适量的硒元素可使番茄增加产量。税杨等^[16]研究发现,随着硒肥用量的增加,强筋小麦的籽粒产量呈现出先增加后降低的趋势。Marrocos等^[17]研究发现,可可叶面中的矿质元素与其产量具有相关性,其中钾、钙、镁、铁、锰、锌等微量元素与产量呈正相关。

作物外形对于作物来说也很重要,在作物大小质量不变的情况下,作物外形的好坏能够影响作物所产生的经济效益。于馨森等^[18]研究了矿质元素对枇杷果实的影响,发现矿质元素可以提高枇杷果实的质量,尤其以钼元素效果最好,但矿质元素并不会影响到枇杷果实的果型。徐阳等^[19]的研究表明,氮、钙、镁3种元素会影响“次郎”甜柿果实的单果质量,其中钙元素增加还会导致果实硬度增加和果形指数下降。李灿等^[20]发现,镁元素可以提高冬瓜质量及冬瓜果肉硬度,同时也可以提高冬瓜的果形指数。朴哲虎等^[21]研究了矿质元素对苹果梨果实的影响发现,氮、镁、锰、钙、铁、锌这6种元素会提高果实的硬度,而铜、钾、磷这3种元素会降低果实的硬度,但钾元素也会提高果实的单果质量及果实色泽。Shilpi等^[22]研究了100个基因型籽粒品质性状碱消值(ASV)、直链淀粉含量(AC)、胶稠度(GC)、粒长(KL)、粒宽(KB)、长宽比(LB)、蒸煮后粒长(KLAC)和伸长率(ER)这些籽粒品质性状与矿质元素铁(Fe)和锌(Zn)之间的关系,发现铁元素和锌元素与胶稠度、粒长、长宽比之间呈负相关关系;蒸煮后粒长与铁元素呈正相关关系,与锌元素呈负相关关系。

1.2 矿质元素对作物生长发育的影响

作物的生长发育离不开矿质元素,其对作物生长发育产生影响,且主要影响作物株高,根、茎的生长及叶子面积的扩大或缩小。张晓伟等^[23]研究梨树在生长发育时矿质元素所起到的作用发现,氮元素会防止梨树衰老并促进梨树正常的生长发育,钾元素会促进梨树生长发育并提高梨树的光合作用强度,磷元素会促进梨树生长发育,钙元素会平衡梨树的生理活动。王俊慧^[24]的研究表明,钙元素会促进苋菜幼苗的生长发育。黄丽萍等^[25]研究发现,磷元素会促进果树根部生长,提高其吸收能力;钾元素会调节果树生理活动并促进新梢生长。王渭玲等^[26]研究发现氮元素和磷元素可以促进黄芪地上部分生长,而钾元素可以促进黄芪茎和叶的生长。邱鹏程等^[27]研究了氮、磷、钾、铜、锌5种矿质元素对猪苓菌丝生长发育的影响,发现其中氮、钾、铜、锌4种元素可以促进其的生长发育。李俊飞^[28]研究了矿质元素缺少对西洋参的影响,发现西洋参叶子由绿变黄的原因是缺少氮元素、钾元素和铁元素,而西洋参叶子变小和高度下降的原因是缺少钙元素、氮元素、钾元素、硼元素和镁元素。翟红梅^[29]发现,硒元素可以促进芸豆生长发育。张晓园^[30]研究发现,锌、锰、硼这3种矿质元素可以降低夏玉米高度及其穗高,能够有效防治夏玉米倒伏,同时可以促进夏玉米根部的生长发育。韩丹等^[31]的研究表明,适量的硒元素可以提高烤烟高度,扩大叶子面积,从而促进烤烟生长。杨嫫若等^[32]发现,钙元素会影响刺梨苗的生长发育,适量的钙元素会促进刺梨苗的生长发育,而过多或过少的钙元素会抑制刺梨苗的生长发育。Shang等^[33]研究发现,锌元素会提高山核桃对养分的吸收,从而提高山核桃种子的萌发率,促进其幼苗的早期生长。

2 作物中矿质元素的测定方法

张世玺^[34]认为,测定矿质元素含量的方法有比色法、分子光谱法和原子光谱法等,在这几种方法中使用得最多的是原子光谱法。分子光谱法可以分为分子荧光光谱法和紫外-可见分光光度法。原子光谱法又因为原子对辐射的3种不同性质分成了3种方法,分别为吸收光谱法、荧光光谱法和发射光谱法。此外还有一种应用广泛的方法,即ICP-MS。

2.1 比色法

比色法是通过比较或测量有色物质溶液颜色深度来确定待测组分含量的方法。比色法目前还

没有并与检测矿质元素相应的标准。刘媛媛等^[35]建立了一种使用比色法快速检测食品中硒含量的方法,并使用这种方法检测了大米和粽叶中硒的含量,检测出的结果与使用原子荧光光谱法检测出的结果一致。这种方法易于上手,而且检测速度较快,便于日常中应用。孙丹等^[36]使用比色法测定了补铁剂中铁元素的含量。刘娜等^[37]使用比色法测定了水肥溶液中磷元素的含量。李春丽等^[38]研究表明,比色法可以用来检测中草药中铅、镉、汞、砷、铜等重金属元素。

2.2 分子荧光光谱法

分子荧光光谱法是利用某些物质分子受光照射时发生荧光的特性,进行物质定性分析或定量分析的方法。分子荧光光谱法目前还没有与检测矿质元素相应的标准。弓巧娟等^[39]使用分子荧光光谱法测定了运城盐湖中的汞元素含量,证明这种方法可以检测重金属。边永军等^[40]通过更换荧光探针改进分子荧光光谱法对于铁元素的测定,改进后的方法更易于上手,且检测速度更快、更准确。罗建民等^[41]使用分子荧光光谱法对3种不同地区大米样品中的硒元素进行了测定,测定结果良好,表明该方法准确可靠。3种不同地区大米样品分别来自湖北地区、湖南地区、黑龙江五常地区。

2.3 紫外-可见分光光度法

紫外-可见分光光度法是利用物质的分子或离子对某一波长范围的光的吸收作用,对物质进行定性、定量及结构分析。紫外-可见分光光度法目前还没有与检测矿质元素相应的标准。谢微等^[42]建立了一种用紫外-可见分光光度法来测定食用菌中锌元素的方法。步骤为:将待测样品加入浓硝酸中,经过静置消解后,将样品加入到包含醋酸-醋酸钠缓冲溶液、铬黑T溶液及锌标准工作溶液中,经反应后通过紫外-可见分光光度法测定锌离子的含量。赵文雅^[43]概述了紫外-可见分光光度法可以检测食品中的重金属元素。白静等^[44]建立了一种可以对保健食品中铁元素进行分析的方法,即通过硫酸溶液来使用紫外-可见分光光度法进行测定。Ignacio等^[45]研究8个不同品种全麻籽和商品皮麻籽的矿质元素时,使用紫外-可见分光光度计分析了其中的磷元素。

2.4 原子吸收光谱法

原子吸收光谱法是利用自由原子对气态光辐射(光)的吸收,定量测定化学元素的光谱分析方法。原子吸收光谱法目前检测矿质元素相应的标准有GB/T 13885-2017、GB/T 20380.1-2006等。周

红等^[46]使用原子吸收分光光度法测定了12种青海黑青稞,得出这12种青海黑青稞的矿物质平均含量从高到低依次排序为钾、镁、钙、钠、铁、锌、铜。乔洁等^[47]为了对金针菇和杏鲍菇的菌糠进行品质分析,对其矿质元素含量进行了测定,采用的方法是微波消解-原子吸收光谱法。杨序成等^[48]使用火焰原子吸收光谱法测定了离蕊金花茶中的锰、铜、镁、铁、钙、钾共6种矿质元素。Trindade等^[49]提出了一种利用料浆进样和火焰原子吸收光谱(FAAS)测定咖啡粉中钙、铁和锌的方法,这种方法检测出的结果与其他方法检测结果之间没有显著差异。Amit等^[50]研究调查了印度西北部不同地点的2个野生酸枣(ZM)和酸枣(ZN)(8个居群)果实中的矿质元素,使用原子吸收分光光度计(AAS)和火焰光度计进行测定,测定的元素有钾、钠、铜、锌、钙、镁、铁、锰。Ignacio等^[45]研究8个不同品种全麻籽和商品皮麻籽的矿质元素时,通过火焰原子吸收光谱(AAS)对其中钠、钾、镁、钙、锰、铁、铜和锌等元素进行了分析。Haro等^[51]使用火焰原子吸收光谱法测定了西班牙东南部一个自然公园18种野生蘑菇的矿物组成,测定的元素有钙、镁、钾、钠、铁、铜、锌等。

2.5 原子荧光光谱法

原子荧光光谱法是以原子在辐射能激发下发射的荧光强度进行定量分析的发射光谱分析法。原子荧光光谱法目前检测矿质元素相应的标准有NY/T 1945-2010、NY/T 1099-2006等。李惠峰等^[52]优化了原子荧光光谱法,使之能够快速、准确地检测出甘薯中硒元素的含量,这种检测方法回收率较高且检测限较低。张丽敏等^[53]将微波消解法与原子荧光光谱法相结合,建立了一种用来检测煤中汞、砷两种重金属元素的方法,这种方法易于上手、检测效率高、检测结果准确。张艳等^[54-55]使用微波消解法进行前处理并使用原子荧光光谱法对三七花茶样品和食用玫瑰样品中的3种重金属元素进行了分析,两种样品都来自云南,3种重金属元素分别是砷元素、铅元素和汞元素,检测结果准确。黄思勇^[56]使用原子荧光光谱法测定了土豆样品中的硒元素,这些样品来自于恩施8个不同地区的富硒土豆。

2.6 电感耦合等离子体原子发射光谱法

电感耦合等离子体原子发射光谱法,是指利用被激发原子发出辐射线形成的光谱与标准光谱进

行比较,识别物质中含有何种物质的分析方法。电感耦合等离子体原子发射光谱法目前检测矿质元素相应的标准有GB/T 30376-2013、QB/T 4851-2015等。刘素华等^[57]建立了一种用电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定食品中铅、镉、铬、镍的方法,他们用这种方法测定了四川省大米、茶叶中的铅、镉、铬、镍4种元素,发现这种方法易于上手、检测效率高、检测准确、应用广泛。Chung等^[58]使用电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)测定糙米中的铜、银、锌、铬、钙、钡、镉、铋、钾、铅和铟等25种元素,用来辨别大米的原产地。Kalogiouri等^[59]使用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定了希腊市场上现有的杏仁、核桃、榛子、开心果等32种坚果的微量元素含量,检测的元素有镁元素、铜元素等。Natalia等^[60]建立了一种采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定零食小吃中微量元素的方法,可以测定的元素有铜、锰、锌、钙、铁、镁等元素。Paktsevanidou等^[61]采用电感耦合等离子体-原子发射光谱法(ICP-AES)对食用醋样品中的有毒元素和营养元素进行了测定,测定的元素有铅、镍、铬、铜、镁、锌、铁、铝、钡、钙、钴和镉共12种元素。

2.7 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)

电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)是以独特的接口技术将电感耦合等离子体的高温电离特性与质谱计灵敏快速扫描的优点相结合形成的一种高灵敏度分析技术。电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)目前检测矿质元素相应的标准有GB 5009.268-2016、GB/T 24875-2010等。Rizwan等^[62]使用微波辅助消解-电感耦合等离子体质谱法,测定了从沙特阿拉伯东部省当地市场购买的44种药用植物的矿质元素,测定的元素有14种,分别为锰、铬、钴、镍、铜、钼、铝、铅、钡、锌、银、汞、铋、镉。郝春惠等^[63]建立了ICP-MS法同时测定食用菌中的铅、总砷、总汞和镉的方法,这种方法检测出的测定结果满足国家关于食品中污染物限量的食品标准。张欣昕等^[64]使用石墨消解-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定了国内和国外苜蓿中的17种矿质元素,分析了两者的矿质元素含量的差异。Ilyas等^[65]使用ICP-MS对来自印度东北部3个品种共20个样品的辣椒中的矿质元素进行了检测,检测的元素有镁、磷、钾、钙、硼、锰、铁、铜、锌等9种矿质元素。Olalere等^[66]使用ICP-MS对黑胡椒和

白胡椒油树脂提取物中的矿质元素进行了测定,检测出了钠、镁、钾、钙4种必需矿质元素。Almeida等^[67]建立了一种简单快捷测定烟草中铜、锰等元素的方法,这种方法采用酸性介质超声辅助萃取,使用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)进行测定。

3 结论

矿质元素会对作物产生影响,作物内的某种矿质元素含量过多或过少会对作物生长发育造成影响,进而作物的品质也受到影响。对生长发育的影响主要包括根部发育、作物高度及叶子面积;对品质影响主要包括产量、单果质量、外形和营养物质,而营养物质则主要有维生素C、可溶性糖、可滴定酸等。

检测作物中矿质元素的方法有许多种,包括比色法、分子光谱法、原子光谱法和ICP-MS等。其中,应用最广泛的为ICP-MS。刘仙金等^[68]认为,ICP-MS具有灵敏度高、检出限低、可多种元素同时测定、精密度和准确度高、重复性好、检验周期短等优点,适合测定食品中的矿质元素,在以后研究作物中矿质元素时可以用作一种良好的测定方法。

参考文献:

- [1] Chemistry-Inorganic Biochemistry; Studies from University of Sassari Have Provided New Data on Inorganic Biochemistry (The Essential Metals for Humans: a Brief Overview) [J]. Chemicals & Chemistry, 2019, 33(2):283-290.
- [2] 桂安辉,叶飞,王胜鹏,等.扁形绿茶矿质元素含量与品质成分相关性分析[J/OL].食品工业技术,2022,43(16):315-321.
- [3] 和雅妮,奚晓军,查倩,等.葡萄果实矿质元素与品质的相关性分析[J].江苏农业科学,2022,50(2):154-160.
- [4] 张建,杨瑞东,陈蓉,等.贵州遵义辣椒矿质元素含量与其品质相关性分析[J].食品科学,2018,39(10):215-221.
- [5] 王贵,白娜,邹宗峰,等.莱阳梨果实矿质元素含量与果实品质的关系[J].江苏农业科学,2021,49(24):178-183.
- [6] 刘晶,赵海岩,叶雨盛.土壤矿质元素对玉米籽粒品质的影响[J].园艺与种苗,2015(6):73-75.
- [7] 赵利梅,齐冰洁,张胜.钾肥对裸燕麦籽粒产量、矿质元素及品质的影响[J].北方农业学报,2017,45(1):37-41.
- [8] 孙艳军,史琬燕,徐刚,等.锌肥施用量对大蒜产量、品质及矿质元素含量的影响[J].江苏农业学报,2016,32(4):891-897.
- [9] 赵利梅,白艳姝,高炳德.锌、硒种肥配施对裸燕麦产量及矿质元素含量的影响[J].麦类作物学报,2017,37(9):1240-1245.
- [10] 黄东风,王利民,李卫华,等.镁肥对小白菜产量、矿质元素吸收及土壤肥力的影响[J].土壤通报,2017,48(2):427-432.
- [11] 侯再年,魏学明,张建鲁.矿质营养对优质小麦品质的生理影响效应[J].中国种业,2008(S1):128-129.
- [12] 陈昌婕,苗玉焕,方艳,等.不同艾种质资源矿质元素含量及其与品质的关系[J].中国中药杂志,2022,47(4):880-888.
- [13] 彭玲,宋爱云,董林水,等.冬枣园主要矿质元素含量变化及其与果实品质的关系[J/OL].云南农业大学学报(自然科学):1-8 [2022-05-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20220514.1809.002.html>
- [14] 蒋开放.矿质元素硒、硅、硼对小麦病虫害的控制作用与小麦富硒增产研究[D].合肥:安徽农业大学,2020.
- [15] 李乐,田敏娇,高艳明,等.硒肥对基质培番茄生长和矿质元素积累的影响[J].浙江农业学报,2020,32(2):253-261.
- [16] 税杨,杨文平,夏清,等.施硒肥方式对强筋小麦产量、硒累积分配及籽粒营养品质的影响[J].应用与环境生物学报,2021,27(1):112-120.
- [17] MARROCOS P C L, LOUREIRO G A H., ARAUJO Q R., et al. Mineral nutrition of cacao (Theobroma cacao L.): relationships between foliar concentrations of mineral nutrients and crop productivity[J]. Journal of Plant Nutrition, 2020, 43(10):1498-1509.
- [18] 于馨淼,李斌奇,陈发兴.矿质营养元素对枇杷果实品质的影响[J].东南园艺,2018,6(2):16-19.
- [19] 徐阳,龚榜初,刘同祥,等.‘次郎’甜柿果实矿质元素与果实品质关系研究[J].林业科学研究,2020,33(4):108-116.
- [20] 李灿,陈晓东,郑卓越,等.镁和微量矿质元素对黑皮冬瓜外观和品质的影响[J].中国农学通报,2021,37(4):49-55.
- [21] 朴哲虎,石岩,程金良,等.苹果梨果实矿质元素含量与品质的相关性分析[J].安徽农业科学,2018,46(20):159-161.
- [22] SHILPI DIXIT, AMITAVA PAUL. Phenotypic correlation of grain quality with mineral element traits in rice (Orzya sativa .L) [J]. Biotech Today: An International Journal of Biological Sciences, 2018, 8(1):40.
- [23] 张张伟,白牡丹,高鹏,等.浅谈矿质营养元素在梨树生长发育中的作用[J].南方农业,2020,14(30):26-27.
- [24] 王俊慧.矿质元素对苋菜幼苗生长发育的影响及其Zn转运体的功能验证[D].呼和浩特:内蒙古大学,2020.
- [25] 黄丽萍,张倩茹,尹蓉,等.矿质营养元素与果树生长发育的关系[J].湖北农业科学,2017,56(4):601-602,607.
- [26] 王渭玲,梁宗锁,仇理云,等.矿质营养元素对黄芪生长发育及抗病性的影响[J].中国生态农业学报,2007(2):41-43.
- [27] 邱鹏程,梁宗锁,陈德育.矿质元素对猪苓菌丝生长发育的影响[J].陕西农业科学,2007(4):67-71.
- [28] 李俊飞.矿质元素对西洋参生长及质量的作用研究[D].北京:北京协和医学院,2020.
- [29] 翟红梅.硒对芸豆种子萌发、生长、硒含量及矿质元素含量的影响[D].太原:山西农业大学,2020.
- [30] 张晓园.微量元素对夏玉米生长发育及矿质养分吸收的影响研究[D].保定:河北农业大学,2019.
- [31] 韩丹,熊双莲,许自成,等.硒对烤烟生长、化学指标及矿质营养元素含量的影响[J].核农学报,2017,31(10):2072-2079.
- [32] 杨娅若,樊卫国.不同供钙水平对刺梨苗生长、矿质元素吸收及相关生理生化特性的影响[J/OL].果树学报,2022,39(10):1891-1902.
- [33] SHANG YANGJUAN, TAN PENG PENG, ZHOU XIAOFENG, et al. Potential of Zinc Application in Improving the Growth, Mineral

- Elements and Antioxidative Response of Pecan (*Carya illinoensis*) Seedlings[J]. International Journal of Agriculture And Biology, 2020, 24(6):348-357.
- [34] 张世玺. 稻米重要矿质元素快速测定技术的创建与应用[D]. 杭州:浙江大学, 2016.
- [35] 刘媛媛, 周焕英, 周志江, 等. 比色法快速检测食品中硒含量[J]. 营养学报, 2012, 34(01):79-81, 86.
- [36] 孙 丹, 熊晓丹, 吴雪亭, 等. 数码成像比色法测定补铁剂中铁元素含量的实验研究[J]. 化学教育, 2017, 38(5):76-78.
- [37] 刘 娜, 魏正英, 李 胜, 等. 光电比色法速测水肥溶液中磷元素的方法及试验[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(5):74-76.
- [38] 李春丽, 张陆军, 李 令, 等. 植物中重金属元素的检测方法[J]. 山东化工, 2020, 49(23):88-89.
- [39] 弓巧娟, 杨海英, 张晓东. 运城盐湖中几种重金属含量的测定[J]. 运城学院学报, 2013, 31(5):50-53.
- [40] 边永军, 渠星宇, 何 婧, 等. 一种分子荧光光谱法测定铁离子的实验改进[J]. 广州化工, 2021, 49(20):101-103.
- [41] 罗建民, 彭翠红, 杨智威. 分子荧光光谱法测定富硒大米中的痕量硒[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(2):81-85.
- [42] 谢 微, 朱东建, 陈秋娟, 等. 紫外-可见分光光度法测定食用菌中锌离子含量的方法[P]. 广西壮族自治区:CN109283150A, 2019-01-29.
- [43] 赵文雅. 紫外-可见分光光度法在食品检测及食品安全分析中的应用[J]. 建材与装饰, 2018(10):175-176.
- [44] 白 静, 王 会. 紫外可见分光光度法测保健食品中铁的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(17):4633-4638.
- [45] IGNACIO A E J, ESPERANZA T I, SÁNCHEZ DE CORTES S M M. Mineral elements and related antinutrients, in whole and hulled hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 109:104516.
- [46] 周 红, 张 杰, 张文刚, 等. 青海黑青稞营养及活性成分分析与评价[J]. 核农学报, 2021, 35(7):1609-1618.
- [47] 乔 洁, 陈 玉, 侯晓强, 等. 食用菌菌糠中矿质元素含量的测定及品质分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(2):171-174.
- [48] 杨序成, 杨成华, 王 港. 离蕊金花茶矿质元素测定分析[J]. 贵州林业科技, 2016, 44(4):27-31.
- [49] TRINDADE A C, ARAÚJO S A, AMORIM F A C, et al. Development of a Method Based on Slurry Sampling for Determining Ca, Fe, and Zn in Coffee Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry[J]. Food Analytical Methods, 2020, 13(1):203-211.
- [50] AMIT S, CHAND G R, GULSHAN B, et al. Comparison of Key Mineral Elements in Wild Edible Fruits of; and; Using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) and Flame Photometer[J]. International Journal of Fruit Science, 2020, 20(S2):S987-S944.
- [51] HARO A, TRESCASTRO A, LARA L, et al. Mineral elements content of wild growing edible mushrooms from the southeast of Spain[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2020, 91 (Prepublish):185-193
- [52] 李慧峰, 陈天渊, 黄咏梅, 等. 一种测定甘薯中硒含量的响应面法优化原子荧光光谱法[P]. 广西壮族自治区:CN110779902A, 2020-02-11.
- [53] 张丽敏, 裴 龙, 雷晓斌. 一种微波消解原子荧光光谱法煤中汞和砷的测定方法[P]. 湖南省:CN112268883A, 2021-01-26.
- [54] 张 艳, 农维维, 武慧欣, 等. 微波消解-原子荧光光谱法测定云南三七花茶中重金属元素[J]. 现代食品, 2021(21):224-228.
- [55] 张 艳, 王 琦, 陈也然, 等. 微波消解-原子荧光光谱法测定云南食用玫瑰中重金属元素[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(23):185-190.
- [56] 黄思勇. 原子荧光光谱法测定恩施硒土豆中硒元素[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(5):847-849.
- [57] 刘素华, 曹小丽, 焦海涛, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定食品中铅、镉、铬、镍的方法研究[J]. 预防医学论坛, 2015, 21(12):894-896, 899.
- [58] CHUNG I M, KIM J K, LEE J K, et al. Discrimination of geographical origin of rice (*Oryza sativa* L.) by multielement analysis using inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy and multivariate analysis[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 65: 252-259.
- [59] KALOGIOURI N, MANOUI N, ZACHARIADIS G A. Determination of the Toxic and Nutrient Element Content of Almonds, Walnuts, Hazelnuts and Pistachios by ICP-AES [J]. Separations, 2021, 8(3):28.
- [60] NATALIA M, ZACHARIADIS G A. Development and Application of an ICP-AES Method for the Determination of Nutrient and Toxic Elements in Savory Snack Products after Autoclave Dissolution[J]. Separations, 2020, 7(4):66.
- [61] PAKTSEVANIDOU I P, MANOUI N, ZACHARIADIS G A. Development and Validation of an Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) Method for Trace Element Determination in Vinegar[J]. Analytical Letters, 2021, 54 (13):1-12.
- [62] RIZWAN A, HEBA S, ISSA Y, et al. ICP-MS determination of elemental abundance in traditional medicinal plants commonly used in the Kingdom of Saudi Arabia. [J]. Food additives & contaminants. Part B, Surveillance, 2022, 15(2):129-141.
- [63] 郝春惠, 李 琰, 宁文吉. ICP-MS测定使用菌中铅、总砷、总汞和镉的含量[J]. 检验检疫学刊, 2018, 28(5):11-13.
- [64] 张欣昕, 张福金, 刘广华, 等. 基于ICP-MS分析的首蓿矿质元素含量特征与评价[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(1):139-145.
- [65] ILUAS A, ABDUL R, MEENAKSHI D, et al. ICP-MS based analysis of mineral elements composition during fruit development in Capsicum germplasm [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2021, 101:103977.
- [66] OLALERE O A, ABDURAHMAN N H, YUNUS R B M, et al. Mineral element determination and phenolic compounds profiling of oleoresin extracts using an accurate mass LC-MS-QTOF and ICP-MS [J]. Journal of King Saud University - Science, 2019, 31 (4): 859-863.
- [67] ALMEIDA, D A. Development of a simple and fast ultrasound-assisted extraction method for trace element determination in tobacco samples using ICP-MS [J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2014, 94(8):756-764.
- [68] 刘仙金, 张职视, 俞言建, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定紫菜中多种元素探讨[J]. 现代商贸工业, 2019, 40(34):188-190.