

植物金属硫蛋白的研究进展

陈 昱^{1,2}, 官 丽 莉^{1,2}, 杨 晶^{1,2}, 王 德 仲¹, 李 校 堃¹, 姜 潮¹

(1. 吉林农业大学 生物反应器与药物开发教育部工程研究中心, 吉林 长春 130118; 2. 吉林农业大学 生命科学学院, 吉林 长春 130118)

摘 要:金属硫蛋白(Metallothionein, MT)是从动物体中提纯出来的具有生物活性及性能独特的低分子量蛋白,自从 MT 被发现以来,它就成为了基础科学研究的热点之一。该文在简要介绍植物金属硫蛋白结构和分类的基础上,概述了金属硫蛋白的分离提取方法;总结了作为现代新型化妆品原料所具有的清除自由基与抗氧化、对金属离子的解毒、防辐射作用、调控基因的表达等特殊功效;并展望了金属硫蛋白的应用前景及存在的问题。

关键词:金属硫蛋白(MT);拟南芥;化妆品

中图分类号:Q 943.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)07-0185-05

金属硫蛋白(Metallothionein, MT)是一类低分子量(约 6~7 kDa)、富含半胱氨酸、可以与大量金属离子(如 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 和 Cu^{+})相结合的一类独特的蛋白质或者活性肽。它是机体内唯一一种在金属代谢中起重要调节作用的小分子蛋白^[1]。金属硫蛋白广泛存在于各种生物体中,包括各种微生物、高等动植物和人类的各种器官组织中。1957 年美国哈佛医学院 Margoshes^[2]在研究金属镉的生物学作用时,在马的肾脏上皮细胞中发现并分离出一种新的蛋白质,这引起了人们的注意;1960 年, Kagi 等^[3]提纯了这种蛋白质,发现其中含有大量半胱氨酸残基,而且能被金属元素诱导出来,并且能结合多个金属原子,因此命名为金属硫蛋白“Metallothionein”。

1 植物金属硫蛋白

1.1 发现过程

1982 年,植物金属硫蛋白在大豆的根中被发现。与动物 MT 相比,植物 MT 发现较晚,由于其活性硫含量较高,易被氧化破坏,因此分离、纯化非常困难。一般认为,植物 MT 在清除氧自由基并解除其毒性、转运必需微量金属并调节细胞内平衡及参与多种抗胁迫等方

面具有重要作用^[4],其中研究最多的是 MT 对重金属的解毒能力。Mariana 等^[5]、Dong 等^[6]将外源金属硫蛋白基因导入到植物中,明显发现转基因株系对重金属有强烈的抗性。

1.2 植物金属硫蛋白结构

植物 MT 的高硫含量使其在空气中极不稳定、分离困难,目前分离纯化得到的植物 MT 只有小麦的 Ec 蛋白^[7]和拟南芥的 MT1、MT2 和 MT3^[8]。Kille 等^[10]通过对豌豆金属硫蛋白(*PsMTA*)的研究发现,尽管 *PsMTA* 的中间区被降解,2 个富含 Cys 的结构域部分仍结合在一起,说明金属/蛋白之间的结构能将 MT 蛋白两端的结构域结合起来,并在此基础上提出了不同于动物 MT 蛋白的金属结合模型,认为植物 MT 蛋白两端富含 Cys 的区域在中间区的帮助下相互接近,与金属离子结合形成一个结构域。

近几年随着小麦 Ec-1 蛋白被广泛的研究,在 20 世纪 90 年代初,豌豆金属硫蛋白也在大肠杆菌中实现表达^[10],越来越多的植物金属硫蛋白相继被发现及应用,但对其蛋白功能的研究一直未取得重大进展,现仅处于起步阶段,特别是国内。因此,对于植物金属硫蛋白的研究仍是近些年研究的热门领域。

1.3 植物金属硫蛋白的分类

1.3.1 按基因编码分类 植物金属硫蛋白可分为 2 类:第 1 类为类金属硫蛋白基因编码的类金属硫蛋白,可由金属诱导直接生成;第 2 类为非基因编码的植物金属硫蛋白,在重金属存在的情况下可诱导其表达^[11],是以谷胱甘肽为底物酶促合成的多聚物,富含 Cys^[12],分子量为 9.0~9.5 kD^[13],可称为植物络合肽(PCs 肽)或金属结合肽。植物络合肽和类金属硫蛋白均存在于植物中,但它们的功能不同。植物络合肽主要对植物体内的

第一作者简介:陈昱(1987-),女,硕士研究生,研究方向为植物生物反应器。E-mail:chenyu0506@126.com.

责任作者:李校堃(1964-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为生物反应器与药物开发。E-mail:xiaokunli@163.com.

基金项目:国家高技术研究“863”计划资助项目(2011AA100606);国家自然科学基金资助项目(31201237;31101172);吉林省科技厅中青年领军人才及优秀创新团队资助项目(20111815);教育部博士点基金-青年教师基金资助项目(20122223120002);吉林农业大学 2012 年校内青年启动基金资助项目(201230)。

收稿日期:2013-12-17

Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 等有毒的重金属发挥作用;而类金属硫蛋白是基因表达的产物,与 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 的代谢有关^[14],主要结合 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 等对植物体过量时有毒但又必需的重金属,进而调节植物体自身代谢。

1.3.2 按氨基酸结构分类 但是根据半胱氨酸在金属硫蛋白中的排列方式不同,Cobbett C 等将植物金属硫蛋白分为 MT-1、MT-2、MT-3、MT-4 共 4 种类型。MT-1:由 6 个 Cys-xaa-Cys(xaa 表示另外一种氨基酸)基团平均分布于 2 个结构域中,2 个结构域中间被 40 个氨基酸间隔,其中包括芳香族氨基酸;来自于各种十字花科植物的 MT-1 具有很多特点,比如两结构域间距离较短,并有额外的半胱氨酸残基等^[15-16]。MT-2:由 2 个富含半胱氨酸的结构域组成,中间由 40 个氨基酸残基分开,整体上看,MT-2 N 末端具有高度保守的 MSCCG-GNCGCS 序列,C 末端含有 3 个 Cys-xaa-Cys 基团;比较来讲,在不同植物种类之间,中间区域的变化较大。MT-3:有长度不同的肽链构成的多聚物,为非基因编码产物,是以谷胱甘肽为底物催化合成的金属硫醇盐多肽,被称为植物螯合肽,简称“PC”^[17]。MT-4:具有 3 个半胱氨酸富集区,大多数半胱氨酸以 Cys-xaa-Cys 基团出现,尽管还有大量的 MT-4 未被证实,但与单子叶植物相比,来自双子叶植物的 MT-4 在 N 末端第 1 个半胱氨酸之前多出 8~10 个氨基酸。MT-4 与植物螯和素结构相似。具有这 4 种类型 MT 的植物目前发现的只有拟南芥、番茄和甘蔗^[18]。

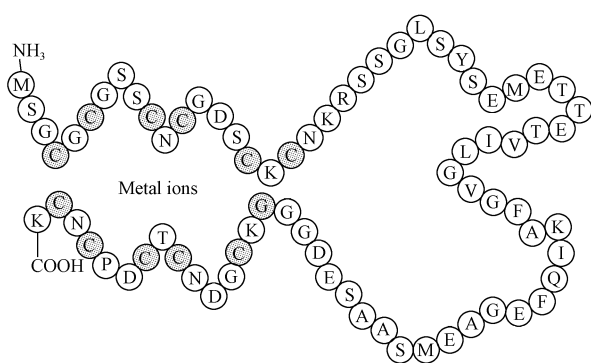


图 1 植物金属硫蛋白结构

注:带阴影部分为保守的 Cys 残基。

2 金属硫蛋白的分离提取

2.1 生物体内直接提取

一般可从哺乳动物中提取,好处是哺乳动物中的金属硫蛋白与人的金属硫蛋白无论结构、活性、功能均基本一致,在人体上应用其效果和安全性更有保证。在实际生产中,目前主要靠用金属镉或锌等金属诱导动物肝脏合成,然后经提取分离纯化来制备 MT。李华等^[19]利用金属离子对金属硫蛋白的可诱导性,将鲤鱼暴露于

Cd^{2+} 溶液中诱导镉-金属硫蛋白的合成,分析发现 MT 的性质与哺乳动物的 MT 的性质相似;徐振彪等^[20]在综合动物金属硫蛋白提取的方法上,摸索了一种用于玉米金属硫蛋白的提取方法。以玉米幼苗叶片为材料,成功提取了玉米金属硫蛋白的粗提液,经检测表明,该粗提液的特征吸收峰在 290 nm 处,且经脱金属处理后其 290 nm 处特征吸收峰明显降低,经 SDS-PAGE 检测,在分子量 14 kDa 附近有一单条带,表明所得到的粗提液中含有金属硫蛋白。这为植物金属硫蛋白的研究奠定了坚实的基础。

2.2 基因工程手段

全先庆等^[21]利用转基因技术从花生 cDNA 文库中筛选并克隆金属硫蛋白基因 *AhMT3a*,进而克隆到其基因组序列,并对编码蛋白的信号肽、跨膜区、亚细胞定位和疏水性等进行了预测。研究结果表明 *AhMT3a* 基因可在花生胁迫耐受、ROS 清除中发挥一定的作用。王巍等^[22]以经过基因工程改良的九州虫草真菌为菌种,采用液态深层发酵增殖菌丝体并用 ZnSO_4 刺激诱导其合成金属硫蛋白,后经细胞破碎,粗提取和层析等步骤,得到锌金属硫蛋白,较传统动物肝脏中提取法,九州虫草菌株发酵法可快速高效的制得金属硫蛋白。通过微生物发酵,分离获得金属硫蛋白制品,这将降低金属硫蛋白的生产成本,但目前还在研究中,转化成产业化生产还有很多工作需要进行的。

3 金属硫蛋白(MTs)的检测

随着科学技术的不断进步,MT 的检测方法也逐渐被改善,从传统的金属结合法到现在的分子生物学的检测手段。从检测的技术手段不断完善,也说明金属硫蛋白越来越受到人们的重视,也极大的推动了金属硫蛋白的功能及其机制有待研究。

4 金属硫蛋白的功能

4.1 清除自由基与抗氧化功能

金属硫蛋白(MT)具有极强的清除自由基的能力,其清除羟自由基的能力是 SOD 的 10 000 倍,清除氧自由基的能力是谷胱甘肽的 25 倍,具有很强的抗氧化能力^[28]。生物细胞在代谢过程中,会连续不断地产生自由基 O_2^- 和 $\cdot\text{OH}$,自由基是一种具有高度活性的物质,可以发挥强氧化剂的作用,损坏生物体的大分子和多种细胞,对生物体内的不饱和脂肪酸过氧化,形成过氧化脂质,MT 对 O_2^- 和 $\cdot\text{OH}$ 的清除,阻断了链锁反应,阻止了不饱和脂肪的氧化,降低了过氧化脂质的水平,使吞噬细胞的功能加强,加之 MT 在清除 O_2^- 和 $\cdot\text{OH}$ 时,释放出微量元素锌,促进免疫功能和细胞代谢,从而提高其抗炎和自我保护、自我修复、自我改善的能力^[29]。

表 1 MTs 各种检测方法优缺点

检测方法	优点	缺点
金属饱和法 ^[23]	不需要特殊的仪器设备,操作简单,具有很高的重复性和准确性	金属除 MT 结合外,还与其它小分子量化合物结合,有利于重金属含量简介推算 MT 含量,特异性较差
电化学法 ^[24]	测定快速,灵敏度高,能进行微量检测	要求样品具有较高纯度的 MT,并且没有干扰分析的活性杂质
分光光度法 ^[25]	简单、重复性好,成本低	对低含量 MT 灵敏度较差;新物种有必要事先做电泳-荧光分析,以证明所提取的 MT 中没有明显含巯基的干扰蛋白
免疫法 ^[26]	尤其适用于微量检测,具有灵敏、特异的优点	需要精密的仪器和专业人员,当抗体专一性不高时会发生交叉反应;RIA 存在着放射性污染问题,需昂贵专用仪器,成本较高
色谱法 ^[27]	适于 MT 同分异构体的研究	洗脱费时,仪器昂贵,推广具有一定难度

Mir 等^[30]通过原位杂交试验验证明栓皮栎(*Quercus suber*)在受到内源的氧化胁迫或者外源的 H₂O₂ 化学物质刺激时,一种 QsMT 的 RNA 在木栓组织和活跃的分生组织中大量增加。Xue 等^[31]在筛选棉花(*Gossypium hirsutum*)的 cDNA 文库时,发现 MT 基因 *GhMT3a* 能在氧化胁迫的逆境上调表达。更有趣的是,当有外源的抗氧化物质存在时,*GhMT3a* 在逆境条件下的上调表达会受到抑制,这暗示 *GhMT3a* 可能具有抗氧化的功能。综上所述,植物 MTs 所具有的抗氧化活性已经越来越受到大家的关注,MTs 可能代表着植物中的另一种新型高效的抗氧化系统,在植物中发挥着重要的作用。

4.2 对金属离子的解毒功能

金属硫蛋白富含半胱氨酸,半胱氨酸巯基能结合多种重金属离子,如锌、铜、铅、镉、银、汞、铋等,与金属离子结合是可逆的,能快速进行交换。当身体内某种金属离子含量过高时,金属硫蛋白可以结合非必需金属、微量必需金属,从而解除重金属的毒性,转运必需微量元素金属,作为必需微量金属储存库,调节必需微量金属细胞内水平,起着一种生理调节作用,使皮肤恢复健康和自然。An 等^[32]一直从事植物金属硫蛋白抗重金属功能机制的研究,以 *Bj-MT* 作为外源基因转入模式植物拟南芥中表达,对获得的阳性植株的种子供以重金属胁迫处理,发现 *Bj-MT* 基因株系表现较高的金属耐受性。

4.3 防辐射功能

辐射诱发的氧化损伤作为氧化应激作用可以诱导产生金属硫蛋白(MT)。同样在辐射诱发氧化损伤中,金属硫蛋白具有保护作用。金属硫蛋白的巯基可以保护哺乳动物细胞免受辐射诱发的细胞致死和 DNA 损伤,辐射造成的 DNA 损伤是由于直接能量吸收和随后的 C-H 键断裂,C 基与氧反应形成过氧结构所造成的。而 MT 中的亲电巯基基团,通过氢供体是受到损伤的 DNA 进行修复^[33]。李汉臣等^[34]以 ICR 小鼠为试验动物,将转金属硫蛋白基因平菇干粉掺入其饲料喂养,至 D23 以 5.0 Gy⁶⁰Co-γ 射线对小鼠全身照射一次做辐射损伤模型,继续喂养 7 d 检测其抗辐射能力。转金属硫蛋白基因平菇可显著改善辐射对小鼠血小板(PLT)和脾脏的损伤;明显增强受辐射小鼠血清 SOD 活性,降低其

血清 MDA 含量。

4.4 调控基因的表达功能

Chen 等^[35]克隆红薯叶片中的 MT-like(Y459 和 G14)表达研究发现,在乙烯存在的条件下,叶片中的转录增强,经过激素 ABA(脱落酸)和 JA(茉莉酸)处理,叶绿素含量下降,但 Y459 基因表达水平并没有明显改变,这有可能说明 Y459 在自然或人工叶片衰老基因的表达由乙烯调控,而不是由 ABA 和(茉莉酸)。G14 却一直相对恒定与对照组。Reynolds 等^[36]对面包小麦 *EcMT* 基因的研究发现,花粉胚发生过程中必需有持续的 ABA 合成和 *EcMT* 基因的表达,认为受 ABA 调控的 *EcMT* 基因可能至少部分介导了小麦花粉胚的形成,在胚胎发生过程中 *EcMT* 可能参与 Zn²⁺ 结合,或通过夺取依赖 Zn²⁺ 的 DNA、RNA 聚合酶及锌指蛋白中的 Zn²⁺,从而调控相关基因的表达。

5 展望

利用油体表达系统开发 MT 化妆品,成功的将 MTs 基因整合到拟南芥、红花基因组中,目前正在对转基因植株中目的蛋白的表达量和生物学活性进行检测。植物生物反应器是近年来研究家的热点,特别是植物油体生物反应器。其应用原理是基于油体的不易与水结合、易于提取和独特的膜蛋白等特殊的性质^[37]。在悬浮液中,油体作为独立的实体存在,它可以作为疫苗、食品、化妆品和个人护理产品的乳化剂。如果将金属硫蛋白与油体相互连接,目的蛋白可以通过亲和标签与油体结合。携带外源蛋白的油体可以轻易被分离出来,这些蛋白可以直接使用或者从融合蛋白中分离下来被使用^[38]。具有减少纯化蛋白的成本、油体融合蛋白易于分离纯化、外源蛋白表达量高、油体作为天然脂质体、可保护融合蛋白、种子易于运输、有利于工业化生产^[39]等优点。这将在功能性化妆品的应用带来不可估量的商机。

金属硫蛋白的应用很广泛,其功能的特殊性,对于化妆品行业仍具有的重大开发潜力,目前 MT 大多数为动物来源,而且价格昂贵,生产有限,且动物体内的代谢途径和规律的研究不深,是否植物来源的金属硫蛋白更受到广大消费者的青睐,价格更符合消费者的心意,更能带来巨大的商机都将有待研究。虽然 MTs 的研究已

取得很大的发展,但是关于植物 MTs 分离提取及应用开发的报道相对较少,因金属硫蛋白本身含有较高的巯基,容易被氧化破坏,所以大部分的研究只能通过序列比对、建库等产生融合蛋白,而且绝大多数的植物 MT 尚未得到纯化,目前,对 MT 的研究都只是停留在 mRNA 转录水平,且相关的植物来源的金属硫蛋白免疫学诊断试剂盒相对较少,对蛋白质水平的检测相对受阻,因此,有必要对植物金属硫蛋白的 mRNA 水平和蛋白水平的分析联系起来。随着科学技术的进步与发展,相信这些问题都会得到有效解决,金属硫蛋白在植物生产中的应用将是未来发展的必然趋势。

(该文作者还有张雪,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] 李晓伟,鲁曼.金属硫蛋白对铅中毒儿童临床干预观察研究[J].中国儿童保健杂志,2008(4):391-393.
- [2] Margoshes M,Vallee B L. A cadmium protein from equine kidney cortex[J]. J Am Chem Soc,1957,79(17):4813-4814.
- [3] Kagi J H R. Evolution structure and chemical activity of class I metallothioneins; An overview in *Metallothionein III*[M]. Biological Roles and Medical Implications (eds. K. T. Suzuki et al.),1993:29-55.
- [4] 代勋,龚明.植物金属硫蛋白在植物抗逆性中的作用[J].宁夏师范学院学报(自然科学版),2011,32(3):47-51.
- [5] Mariana O,Luis W,Laurent L. Functional analysis of the Metallothionein Gene *cgMT1* isolated from the actinorhizal tree *Casuarina glauca*[M]. The American Phytopathological Society,2007:2010-1231.
- [6] Dong C J,Wang Y,Yu S S,et al. Characterization of a novel rice metallothionein gene promoter:its tissue specificity and heavy metal[J]. Journal of Integrative Plant Biology,2010,52(10):914-924.
- [7] Lane B G,Kajioka R,Kennedy T D. The wheat-germ Ec protein is a zinc-containing metallothionein in [J]. Biochem Cell Biol,1987,65(11):1001-1005.
- [8] Margoshes M,Vallee B L. A cadmium protein from equine kidney cortex [J]. Amer Chem Soc,1987,79:4813-4818.
- [9] Evans K M,Gatehouse J A,Lindsay W P,et al. Expression of the pea metallothionein-like gene *PsMTA* in *E. coli* and *Arabidopsis thaliana* and analysis of trace metal accumulation: implications for *PsMTA* function [J]. Plant Mol Biol,1992,20(6):1019-1028.
- [10] Kille P,Winge D R,Harwood J L,et al. A plant metallothionein produced in *E. coli* [J]. FEBS Lett,1991,12(295):171-175.
- [11] 张晓钰,茹炳根.植物类 MT 与植物络合肽[J].生命科学,2000,12(4):170-172.
- [12] 张博润,蔡向荣,怀文辉,等.金属硫蛋白的研究进展及应用前景[J].微生物学通报,1999,26(5):355-357.
- [13] van Vliet C,Andersen C R,Cobbett C S. Copper-sensitive mutant of *Arabidopsis thaliana*[J]. Plant Physiol,1995,109:871-878.
- [14] Casterline J L,Barnett N M. Isolation and characterization of cadmium-binding components in Soybean[J]. Plant Physiology,1997,110:59-124.
- [15] Zhou J M,Goldsbrough P B. Functional homologs of fungal metallothionein genes from *Arabidopsis*[J]. Plant Cell,1994(6):875-884.
- [16] Gruber C,Sturzenbaum S,Gehrig P,et al. Isolation and characterization of a self-sufficient domain protein[J]. Eur J Biochem,2000,267:573-582.
- [17] 唐中华,郭晓瑞,张洋洋,等.拟南芥 MT2-II 过量表达提高抗旱性[J].植物研究,2005,25(4):415-418.
- [18] Hsieh H M,Liu W K,Chang A,et al. RNA expression patterns of a type2 metallothionein-like gene from rice[J]. Plant Molecular Biology,1996,32:525-529.
- [19] 李华,许晓曦,吕萍萍,等.鲤鱼主要组织中金属硫蛋白提取工艺的研究[J].食品工业科技,2013,34(3):52.
- [20] 徐振彪,王平翠,孙永乐,等.植物金属硫蛋白的提取及检测[J].山东农业大学学报(自然科学版),2010,41(1):87-88.
- [21] 全先庆,高成香,王兴军,等.花生金属硫蛋白基因 *AhMT3a* 的克隆及其表达[J].生物技术通报,2012(3):76-79.
- [22] 王巍,谢波,刘芳,等.九州虫草中金属硫蛋白的诱导、提纯及性质研究[J].安徽医药,2013,17(3):373.
- [23] 王达,葛刚,吴兰,等.金属硫蛋白(MT)的分离纯化与检测技术[J].江西科学,2004,22(1):61-65.
- [24] Dabrio M,Rodriguez A R,Bordin G,et al. Recent developments in quantification methods for metallothionein [J]. Journal of Inorganic Biochemistry,2002,88(2):123-134.
- [25] Dondero F,Piacentini L,Banni M,et al. Quantitative PCR analysis of two molluscan metallothionein genes unveils differential expression and regulation [J]. Gene,2005,345(2):259-270.
- [26] 王莹,张彬,陈海燕,等.金属硫蛋白提取工艺的研究进展[J].养殖与饲料,2007(7):63-66.
- [27] 吴立专,张彬,李丽立.金属硫蛋白的检测方法及其应用[J].现代农业科技,2007(23):170-173.
- [28] Sato M,Bremner I. Oxygen free radicals and metallothionein[J]. Free Radic Biol Med,1993,14(3):324-337.
- [29] Alma B,Anca M,Aldo T,et al. Elena raimondi and daniela carbonera, unraveling the response of plant cells to cytotoxic saponins role of metallothionein and nitric oxide[J]. Plant Signaling & Behavior,2011(4):516-519.
- [30] Mir G,Domenech J,Huguet G,et al. A plant type 2 metallothionein (MT) from cork tissue responds to oxidative stress[J]. Journal of Experimental Botany,2004,55:2483-2493.
- [31] Xue T,Li X,Zhu W,et al. Cotton metallothionein GhMT3a, a reactive oxygen species scavenger, increased tolerance against abiotic stress in transgenic tobacco and yeast[J]. Journal of Experimental Botany,2009,60:339-349.
- [32] An Z G,Li C J,Zu Y G,et al. Expression of BjMT2, a metallothionein2 from *Brassica juncea*, increases copper and cadmium tolerance in *E. coli* and *A. thaliana*, but inhibits root growth in *A. thaliana* seedlings[J]. Journal of Experimental Botany,2006,57(14):3575-3582.
- [33] 周湘艳,蔡露,高卫民.金属硫蛋白与辐射关系的研究现状及进展[J].中国放射医学与防护杂志,1999,19(1):60-64.
- [34] 李汉臣,生吉萍,茹炳根.转金属硫蛋白基因平菇对小鼠辐射后抗氧化能力的影响[J].营养学报,2007,29(2):170-174.
- [35] Chen H J,Hou W C,Yang C Y,et al. Molecular cloning of two metallothionein-like protein genes with differential expression patterns from sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves[J]. J Plant Physiol,2003,160:547-555.
- [36] Reynolds T L,Crawford R L. Changes in abundance of an abscisic acid-responsive, early cysteine-labeled metallothionein transcript during pollen embryogenesis in bread wheat (*Triticum aestivum*) [J]. Plant Molecular Biology,1996,32:823-829.
- [37] Yang Z,Wu Y,Li Y,et al. OsMT1a, a type 1 metallothionein, plays the pivotal role in zinc homeostasis and drought tolerance in rice [J]. Plant Molecular Biology,2009,70:219-229.

食用花营养价值研究进展

王长雷^{1,2}, 张文娥², 潘学军^{1,2}

(1. 贵州省果树工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学 农学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:食用花是一种天然的药食两用保健食品。该文综述了食用花的营养价值, 重点阐述了食用花的保健营养成分和药用价值, 并对食用花开发利用中存在的问题进行了分析。

关键词:食用花; 营养价值; 保健功效; 抗氧化活性

中图分类号:S 38 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)07-0189-04

几个世纪以来, 食用花都是人类营养中不可分割的一部分^[1]。食用花色彩鲜艳, 气味芬芳, 不仅观赏价值高, 而且营养成分丰富, 富含酚类化合物、黄酮类化合物和矿质营养元素(尤其是磷和钾)^[2-3], 具有较强的抗氧化活性(DPPH 自由基清除能力、 Fe^{3+} 还原能力), 能有效减缓人体衰老, 预防心血管疾病^[4-5], 是一种极具开发潜力

的天然食品资源, 已广泛应用于烹饪食品的主配料及各类药用保健食品开发^[6], 被誉为舌尖上的朝阳产业。现就食用花的营养和药用价值等研究进行综述, 以期为食用花的进一步开发利用提供参考。

1 食用花的常规营养成分

据统计, 在中国, 食花的植物达 300 多种, 涵盖 74 科 178 属, 其中 70 多种广泛栽培^[7-8]。食用花中含有 22 种氨基酸、16 种维生素、27 种矿质营养元素及多种类脂、核酸、生长素酶等生物活性成分, 是人们营养供给的重要来源^[9]。

食用花中的蛋白质和氨基酸含量丰富。菊花、玫瑰花、苹果花、桂花中的蛋白质含量均在 100 mg/g 以上; 核桃花中蛋白质含量可达 21%, 比核仁中的蛋白质含量(14.9%)还高近 50%^[10]; 刺槐花中蛋白质能与牛肝、羊肝、苦杏仁相媲美; 每 100 g 干刺槐花中含有 19.50 g 氨基酸, 富含 17 种氨基酸, 特别是赖氨酸、色氨酸等 8 种人体必需的氨基酸含量丰富^[11]。除此之外, 刺槐花中还含

第一作者简介:王长雷(1988-), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 研究方向为果树种质资源与遗传育种。E-mail: wangchanglei1023@126.com

责任作者:张文娥(1976-), 女, 山东沂水人, 博士, 副教授, 现主要从事喀斯特山区观赏植物种质资源的鉴定和利用及标准化栽培等研究工作。E-mail: zhewene@yahoo.com.cn

基金项目:贵州省科技攻关资助项目[黔科合 NY 字(2007)3038]; 贵州省科技重大专项资助项目(黔科合重大专项字[2011]6011号); 国家科技富民强县行动计划资助项目(黔科合县市科技计划[2012]7006号)。

收稿日期:2013-12-10

[38] Roberts N J, Scott R W, Tzen J T C. Recent biotechnological applications using oleosins[J]. Open Biotechnol J, 2008(2): 13-21.

[39] Moloney M M, Boothe J, Van Rooijen G, et al. Oil and associated proteins as affinity matrices[M]. United States Patent US, 7332587, 2008.

Research Progress on Plant Metallothionein

CHEN Yu^{1,2}, GUAN Li-li^{1,2}, YANG Jing^{1,2}, WANG De-zhong¹, LI Xiao-kun¹, JIANG Chao¹, ZHANG Xue^{1,2}

(1. Ministry of Education Bioreactor and Drug Development Research Center, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. College of Life Science, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract: Metallothionein(Metallothionein, MT) is low molecular weight protein with biological and performance which is separated from the animal body. Since MT was discovered, it had become one of the hotspots in basic science research. Based on briefly introduces plant metallothionein structure and classification, the separation of metallothionein extraction were outlined; at the same time, the metallothionein as a modern new cosmetic material had the special functions, and the prospect of the further application of metallothionein were summarized, radiation special effects action, regulation of gene expression, etc.; and the application of metallothionein and problems were prospected.

Key words: metallothionein(MT); *Arabidopsis thaliana*; cosmetics