

种子热稳定蛋白的研究进展

黎 茵, 梁 嘉 荣, 张 以 顺

(中山大学 生命科学院, 广东 广州 510275)

摘 要: 植物种子中含有大量热稳定蛋白, 这类蛋白质包含了 LEA 蛋白、蛋白酶抑制剂、甜蛋白和热激蛋白等重要的蛋白组分。热稳定蛋白的结构和功能研究揭示了这些蛋白成分与种子胁迫耐性密切相关。对种子热稳定蛋白的深入研究将进一步揭示这些蛋白在种子发育过程和抵御环境胁迫的作用机理, 其应用研究对改良作物品质、提高种子和植物体对逆境胁迫的耐性及相关食品加工工业具有重要意义。现综述与种子热稳定蛋白的类型和相关机理及应用研究进展。

关键词: 种子; 热稳定蛋白; 胁迫耐性; 蛋白质组学

中图分类号: S 603.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)05-0221-04

种子作为人类食物的主要来源之一, 在农业上受到广泛关注, 尤其是与种子的营养成分和耐贮藏特性相关的各种理化性质, 同时种子作为高等植物特有的繁殖体, 它抵抗不良环境并保持活力的能力亦为科学界所重视。在种子蛋白的研究初期, 人们主要集中于对蛋白质的成分及结构分析, 近年来, 随着种子的各种组分的结构、序列逐渐明晰, 研究重心逐渐转变为在蛋白组学水平上对种子蛋白的功能研究, 尤其是寻找与人们关系密切的贮藏、萌发相关的各种功能蛋白, 包括耐热、耐寒、耐干、耐盐、抗虫等各种特性的组分, 从而加深了对这类蛋白的认识。随着对这些功能蛋白研究的不断深入, 人们对种子蛋白各组分的表达与功能的了解也越来越清楚。在已被发现和研究的多种种子蛋白中, 有一部分蛋白质具有耐高温的特殊性质, 这类蛋白与植物种子的抗逆能力和寿命有着十分密切的关系。

1 种子热稳定蛋白的特点

在种子蛋白质中, 热稳定蛋白 (Heat Stable Proteins) 为一类结构功能较特殊的蛋白, 其最大的特点是能够耐受 100℃ 或以上高温而不发生变性。在植物种子胚与胚轴部分, 普遍存在热稳定蛋白的分布^[1]。早期的研究发现在棉花、大麦、花生、小麦、油菜、大豆、豌豆、向日葵、水稻、高粱和玉米种子中存在一些蛋白质, 它们在沸水高温处理后仍可保持在溶液中的可溶性, 这些蛋白常因热激或干旱诱导而积累^[2, 13]。近年来, 对种子热稳定蛋白的研究呈现增长的趋势。有关热稳定蛋白的来源研究指出, 这类蛋白质包含了 LEA 蛋白、蛋白酶抑制剂、甜蛋白和热激蛋白等重要的蛋白组分。

1.1 LEA 蛋白

第一作者简介: 黎茵 (1969-), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为植物分子生物学。E-mail: liyin@mail.sysu.edu.cn

收稿日期: 2009-10-20

植物种子在发育后期随着贮藏物质的积累合成一类胚胎发育晚期丰富蛋白 LEA (Late Embryogenesis Abundant) 蛋白, 响应脱水、高低温、渗透胁迫及外源 ABA 等环境刺激也会诱导这类蛋白的合成^[10, 12]。LEA 蛋白根据其氨基酸序列的相似性被分为至少 5 组类型。LEA 蛋白具有结构简单、亲水性强、在水合状态下无固定构型, 并且在煮沸高温处理后仍保持热稳定等特点^[10, 13-14]。LEA 蛋白具有热稳定性的原因是它们结构中的氨基酸偏好, 通常缺乏色氨酸和半胱氨酸而富含丙氨酸和甘氨酸等亲水氨基酸, 高比例的带电荷极性氨基酸可以在低水势条件下与其它蛋白的亲水性侧链结合, 因此可以在脱水状态下保护蛋白质和质膜的结构与功能, 也因此保证其自身在高温甚至煮沸状态下不会变性沉淀^[10, 15]。

LEA 蛋白的特殊功能机制至今仍未了解得很清楚, 近年的研究证实 LEA 蛋白的作用与生物的胁迫耐性密切相关。LEA 蛋白分子具备高度亲水性和热稳定性, 扮演分子伴侣的角色, 承担着协助蛋白跨膜转运、维持蛋白的正常折叠状态、在应激条件下稳定多肽链并防止其失活的作用。LEA 蛋白的保护功能可能有以下几种作用机理: 如与水分子的结合或替换、离子去除、蛋白活性和膜结构的保持等, 在种子中起发育调节因子的作用, 或者作为发育调节因子的结合蛋白起调控作用^[12, 15]。

在植物种子中, LEA 蛋白的变化常常随着种子发育或萌发过程发生变化。研究者从棉花中发现了在胚后期富集的一类有保护种子功能的 LEA (Late Embryogenesis Abundant) 蛋白^[3]。截形苜蓿种子中发现有热稳定性的 LEA 蛋白在种子成熟和脱水过程中大量积累^[19]。大麦种子在萌发后 LEA 蛋白与总热稳定蛋白的含量表现为伴随萌发的过程快速下降^[12, 16]。可见 LEA 蛋白在维持种子正常生理功能中的重要作用。

1.2 蛋白酶抑制剂

在植物种子热稳定蛋白的组分当中,除 LEA 蛋白外有相当大部分的其它蛋白属于蛋白酶抑制剂,与 LEA 蛋白类似,这类蛋白受到非生物胁迫的环境刺激的诱导在植物组织中积累,同时它们也具有高度亲水性和高温下保持稳定性的特点,从而在种子脱水或高温下仍保持这些蛋白本身的酶活性^[12-17]。

早在 1989 年 Bhat 和 Pattabiraman 在木菠萝种子中就分离到多种具有不同程度热稳定性蛋白酶抑制剂的组分^[18]。Petrocheau 等通过双向电泳和 LC-MS/MS 分析方法对大麦种子和大麦麦芽的热稳定水溶性提取物进行了详细的分析,发现热稳定蛋白组分中发现含有 2 种具有蛋白水解酶活性的 Z 家族蛋白属于丝氨酸蛋白酶抑制剂 Serpins 超家族,另有 2 种脂质转运蛋白和一些淀粉酶/蛋白酶抑制剂^[19]。孙俊等对大麦中提取到的热稳定蛋白组分的分析也证实了相似的结果,同时推测淀粉酶/蛋白酶抑制剂这类小分子多肽可以作为一种植物的防卫蛋白,能够抑制外源淀粉酶/蛋白酶(昆虫、哺乳动物和其它病原体)的活性,并指出这些热稳定蛋白与大麦所酿啤酒品质之间的关系^[12]。

除种子以外,植物的其它组织如马铃薯块茎中也含有热稳定的蛋白酶抑制剂^[20],一些水生藻类如雨生红球藻中也发现在高光 and 养分缺乏等逆境条件中有热稳定的蛋白酶抑制剂积累^[21],这些热稳定蛋白酶抑制剂的存在与植物对生物与非生物逆境的防御机制有直接关系。

1.3 甜蛋白

从马槟榔种子中提纯得到的一类特殊热稳定蛋白 mabinlin 属于甜蛋白^[22],马槟榔甜蛋白有 mabinlin I、mabinlin II、mabinlin III 和 mabinlin IV 几种同源蛋白。其中 mabinlin II、mabinlin III 和 mabinlin IV 的甜味活性与稳定性在 80℃加热 1 h 后都能保持稳定,mabinlin II 的热稳定性最为显著,可以耐受煮沸高温,而 mabinlin I 则在加热后因变性而丧失甜味活性,这些同源蛋白之间热稳定性的差别是由于构成它们的多肽上的氨基酸差异引起的^[23]。

研究表明马槟榔甜蛋白 mabinlin II 由 2 条多肽组成,其中 1 条含有 33 个氨基酸,另外 1 条含 72 个氨基酸,它与其它植物的种子贮藏蛋白 2S 蛋白具有同源性,其蛋白前体的氨基酸序列与拟南芥 2S 蛋白前体的同源性为 41.9%,与油菜 2S 蛋白前体的同源性为 45.8%,与巴西坚果 2S 蛋白前体的同源性为 24.5%^[24]。马槟榔甜蛋白是一种味觉修饰蛋白,这类蛋白也常存在于热带植物果实当中^[25]。甜蛋白不仅能增加食品的甜味,而且具有低热量的特点,但大部分甜蛋白在加热后不稳定,因而限制了这些蛋白的应用前景,而马槟榔甜蛋白的热稳定特性使其有可能成为食品加工中的理想天然甜味剂^[24]。

1.4 热激蛋白

生物体在高温环境下大部分正常蛋白质的合成受到抑制,同时迅速合成分子量从 8~110 kDa 的热激蛋白(heat shock proteins, HSPs)。HSPs 可分为 HSP110、HSP90、HSP70、HSP60 和 sHSP 5 类。在高等植物中最为丰富的 HSPs 是分子量 15~42 kD 的小分子热激蛋白(sHSPs),也是种子中常见的热稳定蛋白成分^[26-27]。这些蛋白在正常情况下在植物体中含量极低,受到高温刺激大量合成,其它逆境胁迫和植物本身的发育调控也会诱导这些蛋白的合成。在拟南芥、豌豆、向日葵等种子中都发现在种子胚胎发育后期和种子成熟过程中有非胁迫引起的 sHSPs 积累现象^[26],说明这些热激蛋白对维持种子本身的功能有重要的意义。

不同类型的 sHSPs 分别存在于细胞质以及内质网、线粒体和叶绿体等细胞器中。它们主要参与新生肽的折叠、运输和组装,具有分子伴侣(Molecular chaperones)的功能,并参与逆境损伤蛋白的修复和降解等^[26,28],其作用有利于增强种子的胁迫耐性和与种子寿命相关的耐贮藏能力,并保持植物的代谢系统在较为胁迫生存环境下的正常功能^[28]。

2 热稳定蛋白与种子的胁迫耐性

研究发现种子中的热稳定蛋白与种子的胁迫耐性相关,其中最为显著的是热稳定蛋白与种子耐干性的密切联系。相当多的耐干性相关的种子蛋白具有明显的热稳定性^[9]。Blackman 等在大豆干燥耐受试验时发现一系列 7 种具有热稳定性质的蛋白与大豆耐受干燥能力相关联^[29]。杨晓泉等和黄上志等发现,随着花生种子的发育,成熟脱水促进花生胚耐脱水能力的获得,同时种子中花生球蛋白组分中的热稳定蛋白含量增加,相反,胚轴中部分热稳定蛋白的降解与胚轴与胚轴的耐干性丧失有关^[3-4]。朱诚等和吴晓亮等比较不同品种水稻耐超干性时,分别发现耐超干的水稻品种具有一特异性的 36.3 kD 和 39.4 kD 热稳定蛋白条带。对热稳定蛋白功能的研究也揭示出,热稳定蛋白在与耐干性具有重要联系的同时与种子寿命也具有同样重要的相关性^[6-7]。吴晓亮等发现豌豆在含水量低于 5%的过分超干燥环境下,热稳定蛋白的含量与种子活力同步下降^[4]。

在热稳定蛋白中 LEA 蛋白与种子胁迫耐性的相关研究最为深入,研究的方法包括体外试验和植物转基因分析。在截形苜蓿中的研究表明在干旱处理过程中有 15 种多肽发生了变化,其中 11 种属于热稳定的 LEA 蛋白^[19]。经酸性处理后拟南芥种子中诱导合成的热稳定蛋白成分中也含有极为大量的 LEA 蛋白^[13]。在种子中,LEA 蛋白往往因脱水胁迫诱导积累,在 LEA 蛋白累积的同时这些蛋白的翻译后修饰,例如蛋白磷酸化等过程都与它们的耐胁迫保护功能有密切的关系,而在种子的胁迫耐性相关生理过程当中,除了 LEA 蛋白所起的重要作用以外,糖类物质、脱毒相关分子以及热激蛋白

等都参与了这一复杂的过程^[15-30]。

3 种子热稳定蛋白的蛋白质组学研究

利用蛋白质组学方法进行种子蛋白质的合成和变化模式是研究其相关代谢过程的一种非常有效的手段, 得益于分离和检测技术的发展, 目前通过双向电泳技术和质谱技术进行蛋白质组分析可以获得有关种子蛋白和基因的大量信息^[10, 15-16]。利用蛋白质组学对种子热稳定蛋白的研究也有不少成果, 对这些蛋白的表达模式和数据进行分析将有利于阐明这些蛋白成分与种子胁迫耐性和种子耐贮藏能力的关系, 从而探讨种子热稳定蛋白在种子中的功能与作用机理。

Ostergaard 等通过双向电泳和基质辅助激光解吸/飞行时间质谱(MALDI-TOF-MS)分析鉴定了成熟大麦种子中的水溶性蛋白, 发现其中含有 6 种 LEA 蛋白、5 种 HSP70、2 种 HSP60、8 种细胞质 sHSP 和多种蛋白酶抑制剂^[16]。Boudet 等对截形苜蓿种子进行脱水处理, 对照处理与未经处理的胚根中的蛋白质组成, 通过双向电泳和液相-质谱联用(LC-MS/MS)分析, 发现了 16 个主要的脱水诱导产生的热稳定蛋白, 其中 11 个分别属于 6 种不同的 LEA 蛋白, 还有 1 种亲水性多肽与豌豆的豆球蛋白前体同源, 另外 4 种则未确定属于何种蛋白成分^[19]。Oliveira 等用三氯醋酸处理拟南芥种子, 通过电喷雾液质联用(LC-ESI-MS/MS)和液质联用基质辅助激光解吸电离飞行质谱(LC-MALDI-MS/MS)分析发现, 经酸性处理后拟南芥种子中诱导合成热稳定蛋白成分中有大量的 LEA 蛋白, 还有 2S 和 12S 贮藏蛋白等成分^[15]。

4 种子热稳定蛋白的功能及应用研究

植物在长期进化的过程中发展了不同的生理、生化和分子机制来适应自然界的各种胁迫环境, 种子热稳定蛋白与这种耐受机制密切相关^[10, 15]。Boudet 等研究种子热稳定蛋白对于阐明种子各种蛋白及功能之间的关联, 进而提升种子储藏相关性质, 具有非常重要的意义。目前, 种子热稳定蛋白的研究处于逐渐成熟的阶段, 正在由单纯的结构、分布研究转向功能及应用研究领域。

LEA 蛋白的应用研究开展最为广泛。Lan 等发现大豆种子 3 个 LEA 蛋白基因 *PM11*, *PM30* 和 *ZLDE-2* 可以明显增加转化大肠杆菌对高盐胁迫和低温的耐受能力^[31]。玉米 ABA 反应蛋白 *Rab17* 是与植物胁迫反应相关的一种 LEA 蛋白, 在拟南芥中过量表达 *Rab17* 可抑制转基因种子在渗透胁迫环境下的萌发过程并提高转基因植物的抗渗透胁迫耐性^[30, 32]。在大麦中发现的一种由 ABA 和干旱诱导的 LEA 蛋白基因 *hva1* 基因被广泛应用于植物转基因抗逆研究, 转化 *hva1* 可以提高转基因水稻的抗盐和抗旱能力, 提高缺水条件下转基因小麦植株的总生物量, 包括地下部分鲜重和地上部分干重。在 *hva1* 转基因燕麦和草地植物剪股颖中也明显增

强了这些禾本科植物抵御逆境的能力。转化 *hva1* 基因的桑树表现了对盐胁迫、干旱胁迫的广谱抗逆能力, 其作用机制与保护了桑树组织的质膜和叶绿体膜的稳定性有关^[33]。与基因功能相关的热稳定蛋白调控序列也被用于抗逆研究, Prieto-Dapena 等利用 LEA 基因启动子与向日葵热激转录因子基因 *HaHSFA9* 融合转化烟草, 转基因烟草种子具有明显抗人工老化能力, 种子吸胀初期耐热性显著增加^[34]。

在啤酒酿造行业中, 也发现所选用的大麦种子中热稳定蛋白的含量直接影响到啤酒的营养成分和啤酒泡沫的生成。Bobalova 等采用 MALDI MS 质谱分析方法对啤酒酿造相应过程中大麦种子蛋白成分的分析表明, 不同的发芽方式在影响这些蛋白成分的同时也直接影响了啤酒的质量, 并且发现啤酒泡沫中含有大量的热稳定蛋白^[35], 因此, 热稳定蛋白质是决定大麦品质的重要因素, 而且其优良的耐热性具有潜在的商业价值^[12, 35]。

甜蛋白在食品加工中的应用前景亦已开始为人们所关注, 转入甜蛋白基因的番茄会更有风味^[25], 这种蛋白也可以直接用作食品添加剂^[24]。

5 前景展望

展望未来, 种子热稳定蛋白研究将有助于揭示种子耐热耐脱水等优良属性与其所含热稳定蛋白的内在关系, 阐明这些热稳定蛋白的生理生化和分子作用机理, 并且利用这些蛋白和基因进行应用研究, 有望进一步通过基因工程的手段改善种子对胁迫的耐受性和种子的耐贮藏性, 增强作物对逆境的抵抗和适应能力。种子中所含的一些可食用热稳定蛋白因其特殊理化性质将有利于食品工业的改良。对不同种类的热稳定蛋白进行深入的研究将为人类作出更大的贡献。

参考文献

[1] Blackman S A, Obendorf R L, Leopold A C. Maturation proteins and sugars in desiccation tolerance of developing Soybean seeds [J]. *Plant Physiol* 1992, 100(1): 225-230.
[2] Galau G A, Hughes D W, Dure L. Abscissic acid induction of cloned cotton late embryogenesis abundant (Lea) mRNAs [J]. *Plant Mol Biol* 1986 (7): 155-170.
[3] 杨晓泉, 姜孝成, 傅家瑞. 花生种子耐脱水力的获得与热稳定蛋白的关系 [J]. *植物学报* 1998, 40(4): 337-342.
[4] 黄上志, 王冬梅, 卢春斌等. 萌发中花生胚轴的耐干性与热稳定蛋白 [J]. *植物生理学报* 1999, 25(2): 193-198.
[5] Senniah U R, Ellis R H, John P. Irrigation and seed quality development in rapid-cycling Brassica: soluble carbohydrates and heat-stable proteins [J]. *Annals of Botany* 1998, 82: 647-655.
[6] 朱诚, 刘信, 曾广文, 等. 不同水稻品种种子耐超干性差异及其热稳定蛋白的研究 [J]. *中国水稻科学*, 2001(4): 287-290.
[7] 吴晓亮, 陈晓玲, 辛萍萍等. 超干燥处理对豌豆种子抗氧化系统酶及热稳定蛋白的影响 [J]. *园艺学报* 2006(3): 523-528.
[8] 吴晓亮, 辛萍萍, 张志娥等. 水稻种子室温贮藏最适含水量及其热稳定蛋白的研究 [J]. *中国农业科学* 2006(11): 2214-2219.
[9] Sharma A D, Vasudeva R, Kaur R. Expression of a boiling-stable protein (BsCyp) in response to heat shock, drought and ABA treatments in Sor-

ghum bicolor [J]. Plant Growth Regul, 2006, 50: 249-254.

[10] Boudet J, Buitink J, Hoekstra F A, et al. Comparative analysis of the heat stable proteome of radicles of *Medicago truncatula* seeds during germination identifies late embryogenesis abundant proteins associated with desiccation tolerance [J]. Plant Physiol, 2006, 140: 1418-1436.

[11] 孙立平, 吴学友, 刘丽霞 等. 渗透胁迫下水杨酸对玉米幼苗根系 63.5 kD 热稳定蛋白的调控作用[J]. 西北植物学报, 2007, 27(7): 1389-1393.

[12] 孙俊, 张天雪, 孙丽华, 等. 大麦发芽过程中热稳定蛋白质的变化及部分生化特性[J]. 大连工业大学学报, 2008, 27(3): 223-227.

[13] Russouw P S, Farrant J, Brandt W, et al. Isolation and characterization of a heat-soluble protein from pea (*Pisum sativum*) embryos [J]. Seed Science Research, 1995, 5: 137-144.

[14] Wise J. LEA ping to conclusions; a computational reanalysis of the late embryogenesis abundant proteins and their possible roles [J]. BMC Bioinformatics, 2003, 4: 52-71.

[15] Oliveira E, Amara I, Bellido D, et al. LC-MS/MS identification of *Arabidopsis thaliana* heat-stable seed proteins; Enriching for LEA-type proteins by acid treatment [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2007, 42: 1485-1495.

[16] Stergaard O, Finnie C, Laugesen S, et al. Proteome analysis of barley seeds; identification of major proteins from two-dimensional gels (pl 4-7) [J]. Proteomics, 2004, 4: 2437-2447.

[17] Lam J M, Pwee K H, Sun W Q, et al. Enzyme stabilizing activity of seed trypsin inhibitors during desiccation [J]. Plant Sci, 1999, 142: 209-218.

[18] Bhat AV, Pattabinaman T N. Protease inhibitors from jackfruit seed (*Artocarpus integrifolia*) [J]. J. Biosci., 1989, 14(4): 351-365.

[19] Perrocheau L, Rogniaux H, Boivin P, et al. Heat-stable water-soluble proteins from barley to malt and beer [J]. Proteomics, 2005, 5: 2849-2858.

[20] Kim M H, Park S C, Kim J Y, et al. Purification and characterization of a heat-stable serine protease inhibitor from the tubers of new potato variety "Golden Valley" [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2004, 316: 681-686.

[21] Pelah D, Marton I, Wang W, et al. Accumulation and protection activity of protease resistant heat-stable proteins in *Haematococcus pluvialis* during high light and nitrogen starvation [J]. Jour. Applied Phycology, 2004, 16: 153-155.

[22] Liu X, Maeda S, Hu Z, et al. Purification, complete amino acid sequence and structural characterization of the heat-stable sweet protein mabinlin II [J]. Eur J Biochem, 1993, 211(1-2): 281-287.

[23] Nirasawa S, Nishino T, Katahira M, et al. Structures of heat-stable and unstable homologues of the sweet protein mabinlin. The difference in the heat

stability is due to replacement of a single amino acid residue [J]. Eur J Biochem, 1994, 223(3): 989-995.

[24] Nirasawa S, Yutaka Masuda Y, Nakaya K, ET AL. Cloning and sequencing of a cDNA encoding a heat-stable sweet protein mabinlin II [J]. Gene, 1996, 181: 225-227.

[25] Bartoszewski G, Niedziela A, Szwacka M, et al. Modification of tomato taste in transgenic plants carrying a thaumatin gene from *Thaumatococcus daniellii* Benth [J]. Plant Breed, 2003, 122(4): 347-351.

[26] Wehmeyer N, Vierling E. The expression of small heat shock proteins in seeds responds to discrete developmental signals and suggests a general protective role in desiccation tolerance [J]. Plant Physiol, 2000, 122: 1099-1108.

[27] Liu Y, Rafudeen S, Farrant J M. Expression and function of heat stable proteins during dehydration in *Xerophyta humilis* leaves [J]. South African Journal of Botany, 2009, 75(2): 435.

[28] Guo S J, Zhou H Y, Zhang X S, et al. Overexpression of CaHSP26 in transgenic tobacco alleviates photoinhibition of PSII and PSI during chilling stress under low irradiance [J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164: 126-136.

[29] Blackman S A, Wettlaufer S H, Obendorf R L, et al. Maturation proteins associated with desiccation tolerance in Soybean [J]. Plant Physiol, 1991, 96(3): 868-874.

[30] Figueras M, Pujal J, Saleh A, et al. Maize Rab17 overexpression in *Arabidopsis* plants promotes osmotic stress tolerance [J]. Annals of Applied Biology, 2004, 144: 251-257.

[31] Lan Y, Cai D, Zheng Y Z. Expression in *Escherichia coli* of three different soybean Late Embryogenesis Abundant (LEA) genes to investigate enhanced stress tolerance [J]. J. Integr. Plant Biol, 2005, 47(5): 613-621.

[32] Figueras M, Pujal J, Saleh A, et al. Maize Rab17 overexpression in *Arabidopsis* plants promotes osmotic stress tolerance [J]. Annals of Applied Biology, 2004, 144: 251-257.

[33] Lal S, Gulyani V, Khurana P. Overexpression of HVA 1 gene from barley generates tolerance to salinity and water stress in transgenic mulberry (*Morus indica*) [J]. Transgenic Res, 2008, 17: 651-663.

[34] Prieto-Dapena P, Castaño R, Almoguera C, et al. Improved Resistance to Controlled Deterioration in Transgenic Seeds [J]. Plant Physiology, 142: 1102-1112.

[35] Bohalova J, Salpachta J, Chmelik J. Investigation of protein composition of barley by gel electrophoresis and MALDI mass spectrometry with regard to the Malting and brewing process [J]. Inst. Brew, 2008, 114(1): 22-26.

Advances Research on Seed Heat-Stable Proteins

LI Yin, LIANG Jia-rong, ZHANG Yi-shun

(School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275)

Abstract: Seed accumulated abundant of heat-stable proteins in processes of development and desiccation. These heat-stable proteins included LEA protein, protease inhibitor, sweet protein and heat-shock proteins. Studies of Heat-stable proteins would help understanding the role of these proteins in seed development and stress resistance. To illustrate the regulation mechanisms of these proteins would provide improvement in seed quality promotion, plant stress resistance research and food industry. This paper reviewed the progress in research on seed heat-stable proteins and recent application approaches.

Key words: seed; heat-stable protein; stress resistance; proteomics