

文章编号:1674-7054(2011)03-0282-05

# 三酰甘油酯酶研究进展

李亚军<sup>1</sup>, 费小雯<sup>1,2</sup>, 邓晓东<sup>1</sup>

(1. 中国热带农业科学院 热带生物技术研究所, 海南 海口 571101; 2. 海南医学院 理学院生化教研室, 海南 海口 571101)

**摘要:** 三酰甘油酯酶(triacylglycerol lipase, TGL)是参与三酰甘油分解的脂肪酶, TGL基因在进化过程中较为保守, 已克隆的TGL基因均拥有特异性的patatin结构域, 内含GXSG保守基序。基因亚细胞定位结果表明, TGL基因大多位于微生物油滴、植物种子和动物脂肪组织中, 但其mRNA在植物叶绿体和动物细胞质及其他组织中也会表达。TGL蛋白有很强的酯酶活性, 具有多种多样的生物学功能, 与动物肥胖、糖尿病和心血管疾病的发生均有关联; TGL在植物种子萌发、幼苗生长和叶片衰老等过程中也起重要作用; TGL还可用于工业化生产。本文综述了TGL基因的最新研究进展。

**关键词:** 三酰甘油; 三酰甘油酯酶; 脂肪分解; 研究进展

中图分类号: Q 814 文献标志码: A

三酰甘油(triacylglycerol, TAG)是由一分子甘油和三分子脂肪酸酯化而成的, 是生物体内贮存能量的主要形式<sup>[1]</sup>。动物TAG主要储存在脂肪组织(adipocytes)中, 当机体需要能量时, TAG被酯酶水解释放游离脂肪酸进入血液循环供机体使用<sup>[2]</sup>。动物肌细胞(myocytes)、肝细胞(hepatocytes)、肠上皮细胞(enterocyte)和哺乳动物的表皮细胞(epithelial cells)也贮存一定的TAG, 其主要作用是避免多余游离脂肪酸对细胞造成毒性作用<sup>[1]</sup>。植物TAG则主要蕴藏在种子、果实和花瓣等组织中<sup>[3-5]</sup>, 为种子萌发提供能量和合成前提, 同时, 植物TAG的代谢产物如二酰甘油和磷脂酸既可为生物膜的生物合成提供原料, 又可作为第二信使参与多条信号传导途径<sup>[6-7]</sup>。油料作物种子中的TAG则是食用油类和工业用油的主要来源。近年来, 微藻中的TAG作为生物柴油的原料受到广泛关注<sup>[8]</sup>。

三酰甘油在生物体内的利用需要TAG酯酶(TAG ligase, TGL)的参与。随着分子生物学的发展, 一些TGL逐步被发现, 在动物中, 激素敏感酯酶(hormone-sensitive lipase, HSL)被认为是经典的脂肪分解限速酶<sup>[9]</sup>, HSL被cAMP依赖的蛋白激酶A激活, 在周脂蛋白的协同作用下, 催化三酰甘油分解成甘油和游离脂肪酸<sup>[10]</sup>。2004年, Zimmerman等又发现了一种新的脂肪甘油三酯脂肪酶(Adipose triglyceride lipase, ATGL)将甘油三酯水解为甘油二酯<sup>[11]</sup>。酿酒酵母*Saccharomyces cerevisiae* TAG的酯解由3种TGL蛋白Tgl3p、Tgl4p和Tgl5p催化, 其分子生物学特征已得到较为详尽的阐述<sup>[12-13]</sup>。拟南芥、番茄和木瓜等植物中的TGL基因也相继被克隆得到<sup>[14-16]</sup>。笔者从TGL基因和蛋白质的结构、细胞定位、生物学功能和作用机理等方面综述了TGL基因的最新研究进展。

## 1 TGL基因和蛋白质结构及细胞定位

**1.1 TGL基因和蛋白质结构** TGL3基因是酵母*S. cerevisiae*中主要的三酰甘油酯酶基因, 位于13号染色体上, 其蛋白质相对分子质量为 $68 \times 10^3$ , 共编码643个氨基酸<sup>[12]</sup>。*S. cerevisiae*中的另2个TGL基因TGL4和TGL5分别位于11号和15号染色体, 分别编码911个氨基酸和750个氨基酸, 与TGL3仅有30%

收稿日期: 2011-08-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(31000117、30960032)

作者简介: 李亚军(1980-), 女, 湖北松滋人, 中国热带农业科学院热带生物技术研究所助理研究员, 博士。

通信作者: 邓晓东(1969-), 男, 博士, 硕士生导师, 研究方向: 藻类学。电话: 0898-66890172 E-mail: xia-odong9deng@hotmail.com

和26%的序列同源性<sup>[13]</sup>。但是,蛋白质二级结构分析结果显示3个蛋白均具有油滴蛋白的典型特征:N端具有多个疏水结构域,C端缺乏跨膜结构域。同时,3个蛋白还具有脂肪分解酶共有的保守区域GX-SXG<sup>[12-13]</sup>。最近,Rajakumari和Daum报道了TGL3和TGL5蛋白还具有酰基转移酶共有的保守的H-(X4)-D基序,这预示TGL3和TGL5具有酰基转移酶的活性<sup>[17]</sup>。

大部分已克隆得到的植物TGL基因均编码有400~500个氨基酸,其序列同样具有保守的GX-SXG基序<sup>[14-16,19-20]</sup>。拟南芥SDP1(At5g0404)的蛋白质序列稍长一些,共有825个氨基酸,相对分子质量为 $92 \times 10^3$ 。SDP1蛋白的N端具有patatin结构域。含有patatin结构域的蛋白如磷脂酶A2通常具有酰基水解酶的活性。拟南芥中共有12个蛋白含有此结构域,但只有1个蛋白At3g57140与SDP1有74%的同源性。SDP1的同源蛋白在其他物种中分布广泛,水稻*Oryza sativa*,苜蓿*Medicago truncatula*和小立碗藓*Physcomitrella patens*中均能检索到与SDP1同源性大于60%的蛋白,这说明了此类蛋白功能的基础性和重要性。将拟南芥中含有Patatin结构域的蛋白序列、酵母的3个TGL序列和动物的ATGL序列进行系统进化树分析,发现SDP1与酵母*S. cerevisiae*TGL亲缘关系较近,尽管他们的序列同源性小于30%<sup>[19]</sup>。TGL基因启动子的研究也已开展,对小麦赤霉病菌*Fusarium graminearum*中的TGL基因LIP1的启动子进行分析,563bp的启动子序列足以启动LIP1的表达,顺式作用原件位于启动子563~372bp区域,包含CCAAT box,a CreA结合区域和一个脂肪酸反应元件<sup>[21]</sup>。

与酵母和植物TGL的研究相比,动物TGL基因的研究更为深入。人类HSL和ATGL基因分别位于染色体19Q13.3和11p15.5。蛋白质序列分析结果表明,这两类蛋白N端同样含有保守的GX-SXG基序,负责催化HSL和ATGL的脂肪酶活性。ATGL的N端也具有patatin结构域,可发挥酰基水解酶的活性。HSL的C端具有2个磷酸化位点的序列Met-Arg-Arg-Ser<sup>551</sup>-Val-Ser<sup>553</sup>-Glu-Ala-Ala-Ser<sup>551</sup>被cAMP-依赖的蛋白激酶磷酸化,从而调节HSL的活性<sup>[22-23]</sup>。Ser<sup>553</sup>可被5'-AMP-活化蛋白激酶磷酸化,但对HSL的活性没有影响。这两个磷酸化位点相互拮抗,彼此抑制。

**1.2 TGL基因细胞定位和表达** GFP标记的亚细胞定位和Western杂交结果表明,酵母*S. cerevisiae*TGL3、TGL4和TGL5均定位于油滴上,但这3个蛋白独立存在,并不形成功能或结构复合体<sup>[12-13]</sup>。植物TGL基因的定位和表达模式相对较为复杂,既存在于种子的油体上,也可位于叶绿体的质粒小球(Plastoglobuli)中,如拟南芥SDP1基因定位于油体,而At2g31690基因则位于叶绿体中。在拟南芥的根、茎、叶、花和荚果中均能检测到2个TGL基因At2g15230和At2g31690的少量表达,但只有在刚萌发的幼苗和衰老的莲座叶中才能分别检测到这2个基因的大量表达<sup>[14,20]</sup>。拟南芥SDP1基因则主要在种子中表达,并且mRNA表达量从种子成熟的前期开始增加,持续到种子干燥,种子萌发吸胀时表达量也较高,但在种子开始萌发和萌发后表达量却很低<sup>[19]</sup>。番茄LeLID1基因的表达模式恰恰相反,只有在萌发后3~5d的子叶、下胚轴和根中有大量表达<sup>[15]</sup>,这表明植物TGL基因的表达具有部位和时空特异性。

HSL主要存在于脂肪组织、类固醇激素生成组织、乳腺、骨骼肌、单核/巨噬细胞等中,但主要在脂肪细胞内表达;ATGL位于细胞质中,也有小部分与脂肪组织中的油滴结合,其mRNA在动物脂肪组织中表达量最高,在其他组织如肝脏、胸腺、心肌和肺等也能检测到少量的表达<sup>[11]</sup>。

## 2 TGL的生物学功能

文献[17]研究结果表明,与野生型相比,酵母突变体 $\Delta$ tgl3中TAG含量显著增加,这表明TGL3具有酯酶活性;将Histidine标记的TGL3基因转化酵母,利用亲和层析的方法分离出TGL3蛋白进行体外酯酶活性实验,与对照相比,样品中游离脂肪酸与总蛋白的比率增加了5.2倍,这进一步证实了TGL3具有很强的三酰甘油酯酶活性;另一方面,TGL3和TGL5在TAG的代谢过程中具酯解和合成双重作用。例如,过量表达TGL3会引起酵母转化子中TAG含量降低12%,但是导致磷脂酰丝氨酸、脑磷脂和卵磷脂含量分别增加31%、37%和33%,这说明TGL3不仅具有三酰甘油酯酶活性,而且还促进磷脂的合成。TGL的活性还与酵母*S. cerevisiae*的孢子形成有关,突变体 $\Delta$ tgl3培养21d还不能形成孢子,双突变体 $\Delta$ tgl4 $\Delta$ tgl5培养16d后只能形成少量孢子,三突变体 $\Delta$ tgl3 $\Delta$ tgl4 $\Delta$ tgl5则不能形成孢子<sup>[13]</sup>。与TAG合成相关的基因DGA1、LRO1、ARE1、ARE2全部缺失突变后,酵母同样不能形成孢子<sup>[18]</sup>。

拟南芥中已有3个TGL基因被克隆,其中At2g15230基因并不是种子萌发和幼苗生长所必需的,其T-DNA插入突变体和野生型在幼苗生长速率上没有明显差异,植株内TAG含量和酯酶活性也没有明显差异<sup>[14]</sup>;sdp1(At5g0404)突变体对种子萌发没有显著影响,但严重影响幼苗萌发后的生长速率。TAG在萌发后的sdp1突变体植株中完全不能分解,这暗示SDP1基因可能在TAG酯解的前期过程中起非常重要的作用<sup>[19]</sup>;At2g31690基因的表达对种子萌发和幼苗生长没有贡献,但该基因的表达量与莲座叶的凋亡呈正相关;当野生型莲座叶凋亡后,反义cDNA转基因植株的莲座叶依然生长旺盛,同时,反义cDNA转基因植株比野生型矮小很多,但是植株抽薹开花并不受影响<sup>[20]</sup>。

HSL基因缺失的雄性小鼠由于精子合成受阻而没有生育能力,同时还表现出不肥胖和可耐受一夜禁食等的特征;在脂肪组织、心肌、和骨骼肌等部位出现大量甘油二酯累积,这表明HSL主要负责甘油二酯的水解<sup>[24-25]</sup>。HSL基因敲除的小鼠体内还保留了部分三酰甘油水解酶活性,这提示了ATGL另一种三酰甘油水解酶的存在;ATGL的主要功能是将三酰甘油水解为甘油二酯;ATGL与HSL共同作用,可使小鼠体内90%的三酰甘油水解<sup>[11]</sup>。

### 3 TGL的作用机理

酵母TGL3和TGL5分别具有溶血磷脂和溶血磷脂酰基转移酶活性,保守区域H(X4)-D决定酶的活性,将该区域中的组氨酸残基用丙氨酸替代后,酰基转移酶活性显著降低,但是酯酶活性不受影响<sup>[17]</sup>。将突变后的TGL3转化酵母,转化子不能形成孢子,证实TGL3的酰基转移酶活性对孢子的形成起关键作用,而非TGL3的酯酶活性<sup>[17]</sup>。

植物TGL在体外均具有较强的酯酶活性,不同的TGL对底物的识别具有特异性,当底物为含有短链脂肪酸的TAG时,拟南芥Atlip1(At2g15230)的活性最强。拟南芥SDP1和番茄LeLID1特异性作用于中长链脂肪酰TAG,对短链脂肪酰TAG、甘油二酯、磷脂、半乳糖脂和固醇酯均没有酯解作用<sup>[14,16,19]</sup>。SDP1的活性还可被丝氨酸酯酶抑制剂和Ca<sup>2+</sup>-非依赖性磷酸酯酶A2抑制剂所抑制,这两种抑制剂也可抑制Patatin的水解活性,这表明SDP1与Patatin的催化机制是相同的。

HSL的活性主要通过磷酸化和去磷酸化作用调控,HSL受cAMP-依赖性蛋白激酶磷酸化而激活。ATGL的作用机制尚不清楚。ATGL与HSL均在成熟的脂肪组织中表达,且表达水平与饮食密切相关,这表明ATGL与HSL的表达调控可能相似。ATGL可以发生磷酸化,但不依赖于cAMP-依赖性蛋白激酶,脂肪滴结合蛋白CGI-58可能在ATGL的活化过程中发挥重要作用<sup>[26]</sup>。

### 4 TGL的基因工程及发酵工程

来源于细菌、酵母、微藻和油料作物的三酰甘油是生物柴油的生产原料。生物柴油的制备技术目前以化学法为主,三酰甘油与甲醇或乙醇发生酯交换反应生成脂肪酸甲酯即生物柴油,催化剂主要是浓硫酸和氢氧化钠等强酸强碱。该方法存在能耗大、反应产物难分离和会排放污染环境的废弃物等缺点。利用三酰甘油酯酶作为催化剂,实现三酰甘油与短链醇的酯交换反应,可避免以上缺点<sup>[27]</sup>。由于微生物来源的三酰甘油酯酶一般都是分泌性的胞外酶<sup>[28-29]</sup>,适用于工业化大生产和获得高纯度样品,因此微生物三酰甘油酯酶是生物柴油工业化生产的重要来源。据统计,来源于细菌、酵母和其他真菌共65个属的微生物可以分泌胞外三酰甘油酯酶,其中假丝酵母属、假单胞菌属和曲霉属都被广泛地应用于三酰甘油酯酶的制备<sup>[30]</sup>。

利用基因工程手段获得三酰甘油酯酶高产菌株越来越受到重视,并且越来越多的工程菌株被用于商业化的生产。1980年丹麦Novo公司将柔毛腐质霉*Humicola lanuginosus*的碱性脂肪酶基因克隆到米曲霉*Aspergillus oryzae*中,酶产量提高了近1000倍,成为第一个运用基因工程技术使酯酶生产商业化的成功范例<sup>[31]</sup>。Ma等采用强启动子大量表达*Bacillus subtilis*三酰甘油酯酶,使酶产量较原始菌株提高了100倍<sup>[32]</sup>。Adachi等利用重组真菌全细胞酶法合成生物柴油,将异孢镰刀菌*Fusarium heterosporum*中的异种脂肪酶编码基因FHL与米曲霉*A. oryzae*甘油单-双酰酯脂肪酶基因*mdlB*共转化米曲霉,得到的米曲霉阳性转化子作为全细胞酶催化生物柴油的合成,大大提高了生物柴油的合成效率<sup>[33]</sup>。利用粘质沙雷氏菌

脂肪酶基因工程菌发酵生成脂肪酶, 并采用大孔树脂吸附法制备固定化脂肪酶, 也可使生物柴油的单批转化率达到 88%, 且有望应用于生物柴油的工业化生产中<sup>[34]</sup>。

## 5 展 望

HSL 和 ATGL 是动物中主要的三酰甘油酯酶, 但并不排除存在其他脂肪酶的可能性。深入研究这两个基因参与动物脂肪分解的作用机理, 对治疗一些代谢性疾病如肥胖病和糖尿病具有重大意义。

植物 TGL 基因在不同的物种中广泛分布, 同一物种中也存在不同的 TGL 基因, 在植物不同的生长发育阶段发挥各自重要的作用。目前仅有少量的植物 TGL 基因被克隆, TGL 基因的研究多集中在基因的分子结构, 其作用机理及调控机制还知之甚少。随着基因组测序和生物信息学的快速发展, 越来越多的 TGL 基因将会被克隆得到且对其功能进行验证, 阐明其生物学功能和酯解 TAG 的分子机制及调控机制, 可为通过调控这些基因的表达而获得高含油量的作物品种奠定基础, 这将成为作物遗传改良的重要方向。

另一方面, 一些细菌和酵母具有生产胞外三酰甘油酯酶的能力, 目前利用基因工程的方法对菌株进行改造, 结合发酵工程技术使其产酶能力大大提高, 以适应商业化的生产来满足市场需求, 已成为研究的热点之一。同时, 探索新型固定化技术提高酶的利用率, 采用全细胞催化和表面展示技术降低发酵成本等研究也将成为以后研究的重点。

## 参考文献:

- [1] YEN C L, STONE S J, KOLIWAD S, et al. DGAT enzymes and triacylglycerol biosynthesis [J]. *J Lipid Res*, 2008, 49: 2283 - 2301.
- [2] ROSEN E D, SPIEGELMAN B M. Molecular regulation of adipogenesis [J]. *Rev Cell Dev Biol*, 2000, 16: 145 - 171.
- [3] SHOCKEY J M, GIDDA S K, CHAPITAL D C, et al. Tung tree DGAT1 and DGAT2 have nonredundant functions in triacylglycerol biosynthesis and are localized to different subdomains of the endoplasmic reticulum [J]. *The Plant Cell*, 2006, 18: 2294 - 2313.
- [4] ZHANG M, FAN J, TAYLOR D C, et al. DGAT1 and PDAT1 acyltransferases have overlapping functions in *Arabidopsis* triacylglycerol biosynthesis and are essential for normal pollen and seed development [J]. *The Plant Cell*, 2009, 21: 3885 - 3901.
- [5] BANILAS G, KARAMPELIAS M, MAKARITI I, et al. The olive DGAT2 gene is developmentally regulated and shares overlapping but distinct expression patterns with DGAT1 [J]. *Journal of Experimental Botany* 2010, 62: 521 - 532.
- [6] KURAT C F, MATTER K, PETSCHNIGG J, et al. Obese Yeast: triglyceride lipolysis is functionally conserved from mammals to yeast [J]. *The Journal of Biological Chemistry* 2006, 281: 491 - 500.
- [7] COLEMAN R A, LEE D P. Enzymes of triacylglycerol synthesis and their regulation [J]. *Progress in Lipid Research*, 2004, 43: 134 - 176.
- [8] CHISTI Y. Biodiesel from microalgae [J]. *Biotechnology Advances*, 2007, 25: 294 - 306.
- [9] HOLM C, KIRCHGESSNER T G, SVENSON K L, et al. Hormone-sensitive lipase: sequence, expression, and chromosomal localization to 19 cent-q13.3 [J]. *Science*, 1988, 241: 1503 - 1506.
- [10] 杨国宇, 王艳玲. 脂肪组织甘油三酯酯酶研究进展 [J]. *动物医学进展* 2007, 28(7): 60 - 62.
- [11] ZIMMERMANN R, STRAUSS J G, HAEMMERTE G, et al. Fat mobilization in adipose tissue is promoted by adipose triacylglyceride lipase [J]. *Science*, 2004, 306: 1383 - 1386.
- [12] ATHENSTAEDT K, DAUM G. YMR313c/TGL3 encodes a novel triacylglycerol lipase located in lipid particles of *Saccharomyces cerevisiae* [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 2003, 278 (26): 23317 - 23323.
- [13] ATHENSTAEDT K, DAUM G. Tgl4p and Tgl5p, two triacylglycerol lipases of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* are localized to lipid particles [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 2005, 280 (45): 37301 - 37309.
- [14] KARIM E K, STEPHANIE B, EMILIA O, et al. Identification and characterization of a triacylglycerol lipase in *Arabidopsis* homologous to mammalian acid lipases [J]. *FEBS letters*, 2005, 579: 6067 - 6073.
- [15] MATSUI K, FUKUTOMI S, ISHII M, et al. A tomato lipase homologous to DAD1 (LeLID1) is induced in post-germinative growing stage and encodes a triacylglycerol lipase [J]. *FEBS letters*. 2004, 569: 195 - 200.
- [16] ABDELKAFI S, BAROUH N, FOUQUET B, et al. *Carica papaya* lipase: a naturally immobilized enzyme with interesting bi-

- ochemical properties [J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2011, 66: 34 – 40.
- [17] RAJAKUMARI S, DAUM G. Janus-faced enzymes yeast Tgl3p and Tgl5p catalyze lipase and acyltransferase reaction [J]. *Molecular Biology of the Cell*, 2010, 21: 501 – 510.
- [18] OELKERS P, CROMLEY D, PADAMSEE M, et al. The DGA1 gene determines a second triglyceride synthetic pathway in Yeast [J]. *J Biol Chem*, 2002, 277: 8877 – 8881.
- [19] EASTMOND P J. Sugar-dependent1 encodes a patatin domain triacylglycerol lipase that initiates storage oil breakdown in germinating Arabidopsis seeds [J]. *The Plant Cell*, 2006, 18: 665 – 675.
- [20] PAHAM A K, HOPKINS M T, WANG T W, et al. Characterization of a plastid triacylglycerol lipase from Arabidopsis [J]. *Plant Physiology*, 2007, 143: 1372 – 1384.
- [21] FENG J, BHADAURIA V, LIU G, et al. Analysis of the promoter region of the gene LIP1 encoding triglyceride lipase from *Fusarium graminearum* [J]. *Microbiological Research*, 2011, doi: 10.1016/j.micres.
- [22] 倪萦音, 陆振虞. ATGL 研究进展 [J]. *现代生物医学进展* 2007, 7(7): 1102 – 1104.
- [23] 孔凡德, 吴跃明, 刘建新. 激素敏感脂肪酶的研究进展 [J]. *中国畜牧杂志* 2002, 38(6): 38 – 39.
- [24] 张志刚, 刘国文, 王哲. 激素敏感脂肪酶研究进展 [J]. *畜牧与兽医* 2006, 38(3): 53 – 55.
- [25] HAEMMERLE G, ZIMMERMAN R, HAYN M, et al. Hormonesensitive lipase deficiency in mice causes diglyceride accumulation in adipose tissue, muscle, and testis [J]. *J Biol Chem* 2002, 277: 4806 – 4815.
- [26] 徐冲, 徐国恒. 脂肪组织甘油三酯水解酶参与脂肪分解调控 [J]. *生理科学进展* 2008, 39(1): 10 – 14.
- [27] 闵恩泽, 唐忠, 杜泽学, 等. 发展我国生物柴油产业的探讨 [J]. *中国工程科学* 2005, 7(4): 1 – 5.
- [28] BIGEY F, TUERY K, BOUGARD D, et al. Identification of a triacylglycerol lipase gene family in *Candida deformans*: molecular cloning and functional expression [J]. *Yeast*, 2003, 20: 233 – 248.
- [29] FICHERS P, FUDALEJ F, LE DALL M T, et al. Identification and characterization of LIP7 and LIP8 genes encoding two extracellular triacylglycerol lipases in the yeast *Yarrowia lipolytica* [J]. *Fungal Genetics and Biology* 2005, 42: 264 – 274.
- [30] 王海燕, 李富伟, 高秀华. 脂肪酶的研究进展及其在饲料中的应用 [J]. *工业饲料* 2007, 28(6): 14 – 17.
- [31] 汪小峰, 王俊, 杨江科, 等. 微生物发酵生产脂肪酶的研究进展 [J]. *生物技术通报* 2008, 4: 47 – 53.
- [32] MA J M, ZHANG Z, WANG B, et al. Overexpression and characterization of a lipase for *Bacillus subtilis* [J]. *Protein Expression and Purification*, 2006, 45: 22 – 29.
- [33] ADACHI D, HAMA S, NUMATA T, et al. Development of an *Aspergillus oryzae* whole-cell biocatalyst coexpressing triglyceride and partial glyceride lipases for biodiesel production [J]. *Bioresource Technology* 2011, 102: 6723 – 6729.
- [34] 张博, 朱绮霞, 黄日波. 固定化粘质沙雷氏菌脂肪酶催化制备脂肪酸甲酯 [J]. *现代化工* 2010, 30: 128 – 133.

## Research Progresses on Triacylglycerol Lipase

LI Ya-jun<sup>1</sup>, FEI Xiao-wen<sup>1,2</sup>, DENG Xiao-dong<sup>1</sup>

(1. The Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China;

2. Department of Biochemistry, Hainan Medical College, Haikou 571101, China)

**Abstract:** In this paper, the research progresses of TGL were reviewed. Triacylglycerol lipase (TGL) which is highly conserved in evolution mainly involved in TAG hydrolysis; the analysis results of the protein structure of TGLs showed that the proteins have patatin domain containing conserved motif GX SXG; TGL are usually located in microbial oil droplets, plant seeds and animal's adipose tissue, however, its mRNAs were also detected in plant chloroplasts and other animals tissues such as cytoplasm; the lipase activities of TGLs were very high, which contribute to various metabolic processes which have relations with obesity, diabetes, and cardiovascular diseases, additionally, TGL also play important roles in various developmental stages of plants such as seed germination, seedling growth and leaf senescence.

**Key words:** triacylglycerol; triacylglycerol lipase; lipolysis; research process