

骨骼肌肌动蛋白后, 这种 Ca^{2+} 依赖性仍然存在. 这说明甲壳动物肌肉除存在细肌丝调节外, 还应含有粗肌丝调节. 但是 Ko 等 (1979 年) 和 Watanabe 等^[8] 的实验结果提示甲壳动物横纹肌中仅有细肌丝调节. 此外, 在甲壳动物肌肉中又曾分离到肌球蛋白轻链激酶. 因此, 肌球蛋白的磷酸化作用和去磷酸化作用以及它们在甲壳动物肌肉收缩中的调节作用如何? 尚待进一步研究.

参 考 文 献

- 1 Huxley A F. Ann Rev Physiol, 1988; **50**: 1
- 2 Huxley H E. J Exp Biol, 1985; **115**: 17
- 3 Ebashi S. Ann Rev Physiol, 1991; **53**: 1
- 4 陈 明, 李爱媛. 生理科学进展, 1991; **24**: 6
- 5 钟咏梅, 黄世楷, 陈 明. 实验生物学报, 1991; **24**: 229
- 6 Saad A D, Dennis J E, Tan I P *et al.* J Muscle Res Cell Motil, 1991; **12**: 225
- 7 周念辉, 王宝华, 陈 明. 昆虫学报, 1985; **31**: 201
- 8 Watanabe K, Kitaura T, Yamaguchi M. J Biochem, 1982; **92**: 1635
- 9 陈 明, 韩永根, 李爱媛等. 动物学报, 1985; **31**: 201
- 10 Chen M, Zhou N H. In: Li Z P *et al.* eds. Retrospect and prospect of protein research. Singapore: World Scientific, 1991: 56
- 11 陈 明. 复旦神经生物学讲座, 1993; **IX**: 71
- 12 Miegel A, Kobayashi T, Maeda Y. J Muscle Res Cell Motil, 1992; **13**: 608
- 13 Wnuk W, Schaechlin M, Stein E A. J Biol Chem, 1984; **259**: 9017
- 14 Herzberg O, Moulton J, James M N G. J Biol Chem, 1986; **261**: 2638
- 15 Shinoda S, Yamada A, Yagi K. J Biochem, 1988; **103**: 636
- 16 Silverman H, Costello W J, Mykles D L. Amer Zool, 1987; **27**: 1011
- 17 Trinick J. FEBS Lett, 1992; **307**: 44
- 18 Payne M R, Rudnick S E. TIBS, 1989; **14**: 357
- 19 Walsh M P. Biochem Cell Biol, 1991; **69**: 771
- 20 Brule G, Haudecoeur G, Guilbault P. Comp Biochem Physiol, 1987; **86A**: 581

植物肌动蛋白研究的过去及现状*

刘 雄 阎隆飞

(北京农业大学生物学院, 北京 100094)

摘要 肌动蛋白作为一种骨架蛋白广泛存在于植物细胞, 有重要的生理功能. 综述了植物肌动蛋白的发现及研究现状, 着重介绍了植物肌动蛋白的性质、结构和生理功能.

关键词 植物肌动蛋白, 微丝, 植物细胞胞内运动

1 植物肌动蛋白的发现

肌动蛋白最初是 1941 年在脊椎动物骨骼肌细胞中发现并加以命名的. 在肌肉细胞中, 肌动蛋白聚合成丝状, 组成肌肉的细丝, 与由肌球蛋白形成的粗丝相互滑动, 产生宏观的肌肉收缩现象. 1952 年, Loewy 从粘菌 (*Physarum polycephalum*) 提取一种溶液, 加入 ATP 后其粘度显著下降, 并出现 ATP 水解^[1]. 他认

为这类似于肌肉收缩时 ATP 的水解, 提出粘菌细胞中也存在肌动球蛋白. 这是从非肌细胞中分离到的第一种肌动球蛋白, 直到 1966 年这种观点才得到证实. Hatano 和 Oosawa 从粘菌中分离出肌动蛋白, 并证明这种肌动蛋白的物理化学性质和生物学特性与肌肉肌动蛋白相似, 由此开辟了非肌细胞肌动蛋白的研究领

* 国家自然科学基金资助项目.

收稿日期: 1993-03-19, 修回日期: 1993-08-24

域^[2]. 阎隆飞等在 1963 年首次提出高等植物存在肌动球蛋白^[3]. 他们从烟草、南瓜维管束组织提取得到一种溶液, 加入 ATP 后其粘度显著降低, 出现 ATP 水解, 类似于肌肉细胞中肌动蛋白与肌球蛋白相互作用, 此后一段时期未见到有关报导. 直到 1974 年 Condeelis 和 Palevitz 采用特异标记肌动蛋白的方法重酶解肌球蛋白标记, 分别证实高等植物和低等植物细胞中存在肌动蛋白. 从此, 植物肌动蛋白研究进入了新的时期, 迄今已在轮藻目一些种的节间细胞、高等植物的花粉、茎韧皮部、叶表皮细胞、叶鞘细胞、根毛、卷须、内果皮、茎形成层等组织中鉴定存在肌动蛋白. 这些研究结果表明, 肌动蛋白是植物生命活动中的一种重要蛋白质, 广泛存在于植物界^[4].

2 鉴定植物肌动蛋白的方法

植物细胞内肌动蛋白含量少, 加上有酚类物质和细胞壁的干扰, 研究植物肌动蛋白比其他肌动蛋白难度大. 70 年代后期, 人们对动物和真菌肌动蛋白研究已比较详细, 植物肌动蛋白研究正是在这种背景下开始的. 鉴定植物细胞中肌动蛋白主要采用以下 3 种方法: a. 重酶解肌球蛋白标记法: 肌球蛋白经胰蛋白酶消化后便分解为大小两个片段, 大片段即为重酶解肌球蛋白, 它能特异结合到肌动蛋白丝上形成箭头状结构. 该方法说服力强, 被人们广泛采用. Condeelis 和 Palevitz 等都是用这种方法在植物细胞中鉴定出肌动蛋白. b. 荧光标记法: 许多研究表明, 肌动蛋白在进化中十分保守, 抗其他肌动蛋白的抗体, 能有效地与植物肌动蛋白结合, 故用免疫荧光法可以探测植物细胞是否存在肌动蛋白, 近几年又发展了非固定荧光探测法^[5]. 异硫氰酸四甲基罗丹明标记的鬼笔环肽 (Fi-Phalloidin), 能渗入植物细胞内, 特异结合肌动蛋白丝放出荧光. 鬼笔环肽只与肌动蛋白丝结合, 不与单体的肌动蛋白结合. Tang 等研究表明非固定荧光探测法比免疫荧光法灵敏度高, 能够清晰地指示出肌动蛋白丝在细胞内的排列^[5]. c. 生物化学法: 肌动蛋白

是一种极其重要而在进化中十分保守的骨架收缩蛋白, 不同来源的肌动蛋白其物理和化学性质很相近. 从植物细胞内提取肌动蛋白, 经适当的分离和纯化, 测定其性质并与动物肌动蛋白进行比较, 便可证明它是否为肌动蛋白. Ilike 等^[6]和 Metcalf^[7]用免疫交叉反应鉴定了小麦胚和大豆幼苗内的肌动蛋白. Vahey 等 (1982 年) 从蕃茄内果皮组织中提取了肌动蛋白, 并根据其理化性质进行了鉴定^[8].

3 分离纯化植物肌动蛋白的方法

肌动蛋白是低分子量水溶性蛋白质, 普遍采用低浓度的 Tris 缓冲液将其从细胞组织中提取出来. 目前已建立多种方法从动物和真菌细胞中分离纯化肌动蛋白, 植物肌动蛋白这方面的研究还相当欠缺. Metcalf 等最先用离子交换柱层析部分纯化大豆幼苗内的肌动蛋白; Vahey 等采用硫酸铵分级和 Sepharose Cl-6B 柱层析也只是部分纯化蕃茄内果皮的肌动蛋白. 最近金仕萍等^[9]和 Villanueva^[10]采用 DNase I 亲和层析分别从小麦胚和大豆培养细胞内得到了高纯度的肌动蛋白, 由于产量低, 深入研究肌动蛋白仍然困难. DNase I 亲和层析法是从植物组织中分离纯化肌动蛋白较合适的方法. 我们以花粉为材料, 纯化制备了毫克以上有活性的肌动蛋白^[11]. 花粉含有较丰富的肌动蛋白, 国内外许多学者都用它作研究植物肌动蛋白的材料. 鉴于花粉内含有丰富的胞粉素和脂类等物质, 细胞质中水分少, 我们将花粉破碎后经提取和丙酮抽提, 将肌动蛋白溶液做成干粉, 再从干粉中提取肌动蛋白, 经硫酸铵分级分离、离子交换柱层析、聚合解聚和 Sephacry S-200 柱层析, 得到了纯度高的肌动蛋白. 此外, SDS 聚丙烯酰胺凝胶电泳也曾用于花粉肌动蛋白的分离纯化^[12].

4 植物肌动蛋白的性质

肌动蛋白是由一条肽链组成的球形蛋白质, 有两个结构域. 分子量在 43 000 左右. 纯化的动物和真菌肌动蛋白加入无机离子如 K^+

或 Mg^{2+} 后能聚合成丝状, 肌动蛋白以聚合形式完成生理功能. 植物肌动蛋白由于研究的难度大, 人们对其结构和性质的了解不及其他来源的肌动蛋白. Vahey 等从蕃茄中得到部分纯化的肌动蛋白, 测得其溶解性、分子量等与兔肌肌动蛋白十分相似, 分子量为 43 000 左右. 聚合的蕃茄肌动蛋白丝, 直径 7nm, 螺距为 36nm 左右, 与兔肌肌动蛋白相同^[8]. 其他一些植物肌动蛋白的分子量和电子显微镜下的肌动蛋白丝结构也都与肌细胞肌动蛋白很相近. 植物肌动蛋白存在多种异形体 (isoform), 它们的等电点在 4—6 之间不等. 金仕萍等测得小麦胚中肌动蛋白等电点为 5.8 至 6.0^[9]. 大豆下胚轴根、茎、叶组织都含有 5—8 种异形体, 它们的 pI 在 5.1 至 5.8 之间^[13]. 目前尚不清楚这些异形体与功能的对应关系. 植物肌动蛋白免疫化学性质类似于动物和真菌肌动蛋白. 抗鸡肌细胞肌动蛋白的抗体能与花粉肌动蛋白进行蛋白质印迹 (Western blot), 其效果很好^[11]. 马永泽等分析了花粉肌动蛋白 C 末端三位氨基酸排列为 -Lys-Cys-Phy (COOH), 与兔肌肌动蛋白一致^[12]. 我们测定了经分离纯化的玉米花粉肌动蛋白的一些结构和性质, 证明花粉肌动蛋白的氨基酸组成与兔肌肌动蛋白相似, 用圆二色谱测得其二级结构 α -螺旋为 27.4%, β 折叠为 30.3%, 无规则卷曲为 42.3%, 而兔肌肌动蛋白则分别为 26%, 26%, 48%, 二者相近. 花粉肌动蛋白能抑制 DNA 酶 I 活性, 但抑制率没有兔肌肌动蛋白高. 纯化了的的花粉肌动蛋白在 100mmol/L K^+ 和 2mmol/L Mg^{2+} 条件下, 能从单体变成聚合体, 此时溶液粘度明显增加, 在 232nm 波长处出现吸收峰, 类似于其他肌动蛋白. 从所测得的结果看, 同样条件下花粉肌动蛋白聚合的速度低于兔肌肌动蛋白. 聚合的花粉肌动蛋白能显著激活兔肌肌球蛋白 ATP 酶, 最大激活倍率为 7.

总之, 植物肌动蛋白性质研究还不够, 尚有待于进一步深入.

5 植物肌动蛋白的功能

肌动蛋白作为细胞骨架成分, 在植物细胞生命活动过程中具有多种生理功能.

a. 肌动蛋白与细胞质流动 1959 年 Kamiya 最早研究总结了植物细胞质流动. 象粘菌原生质团一样, 许多植物细胞、如类藻和车轴藻的节间细胞、高等植物胚芽鞘表皮细胞、内表皮细胞、花粉管、根毛、叶柄毛以及雄蕊毛等都存在细胞质流动^[14]. 现已了解到这些细胞内都含有肌动蛋白, 并在丽藻、蕃茄、花粉管中鉴定存在肌球蛋白. 细胞松弛素 B 等一些影响肌动蛋白的试剂都能影响细胞质流动. 人们认为肌动蛋白与肌球蛋白的相互作用产生动力, 驱使细胞质流动.

b. 肌动蛋白与细胞器运动 细胞进行分裂、生长和代谢等生命活动时, 多数细胞器须做一定的运动. 细胞器是在运动蛋白 (motor protein) 作用下沿微管或微丝运动. 许多实验证明在植物细胞内, 肌动蛋白组成微丝参与细胞器运动. Kohno 等把车轴藻内的微丝固定在载玻片上, 加入百合花粉管内的细胞器和 ATP 后观察到细胞器沿微丝运动^[15]. 植物细胞器运动蛋白是肌球蛋白, 细胞器表面附着的肌球蛋白与微丝接触, 肌动蛋白和肌球蛋白相互作用将 ATP 化学能转变为机械能, 推动细胞器运动.

c. 肌动蛋白与植物根毛和花粉管顶端生长 花粉萌发和花粉管伸长是高等植物有性繁殖的重要环节. 花粉管伸长很快, 已鉴定在花粉管顶端含有微丝. 细胞松弛素 B (CB) 和影响肌动蛋白的试剂能抑制花粉管伸长. Herth 发现细胞松弛素 B 对根毛伸长也有抑制作用. 产生这种现象的原因可能是形成囊泡物质运输的向量控制 (vectorial control) 受微丝调节^[4].

d. 肌动蛋白与植物细胞形状控制 植物细胞的质膜外围有细胞壁, 维持细胞的形状. 微管通过调节纤维素微纤丝在细胞壁形成的沉积方向, 对控制细胞的形状起了很重要的作用. 微丝是否也参与了此过程目前还不够十分清楚. 但许多学者认为, 微丝对控制植物形状

起了一定的作用. 他们指出, 微管与微丝共同调节着细胞壁物质的沉积^[4]. 但萝卜 (*Raphanus*) 根毛细胞及洋葱保卫细胞用 CB 处理后并没有观察到纤维素微纤丝的沉积受到影响, 这似乎表明微丝对细胞壁物质的沉积没有调节作用. 而木槿与烟草原生质体, 用激光微处理 (laser microsurgery) 及 CB 处理后, 细胞质内的一些粗丝 (strands) 解散, 细胞形状改变, 当去掉 CB 后, 细胞又恢复到原来的状态. 原生质体的形状控制是否影响整个细胞的形态变化, 目前尚不清楚.

e. 肌动蛋白与植物细胞有丝分裂 植物细胞有丝分裂需要微管与微丝的相互作用. 微丝与着丝粒微管连接, 是否是微丝推动染色体向两极运动, 目前有些争论. 一是用 CB 处理或者向细胞注射肌球蛋白抗体, 并不影响染色体运动; 二是绣球百合细胞纺锤体内的染色体运动也不受 CB 影响; 另外, 洋葱保卫母细胞, 经 CB 或 Phalloidin 处理后, 其染色体结构及运动也未观察到有何变化. 在细胞有丝分裂后期, 连接在纺锤体上的周质微丝 (spindle associated cortical microfilament) 可能控制成膜体微管 (interzone microtubule) 的侧向运动, 也可能参与一些泡囊沿纺锤体表面的运输. 在洋葱保卫母细胞中, CB 能够阻止子细胞的细胞核的移动, 细胞板的排列对 CB 也很敏感. 此外 Clayton 和 Lloyd (1985 年) 还鉴定了洋葱根尖细胞的成膜体 (phragmoplast) 含有肌动蛋白与肌球蛋白, 因此推测微丝对成膜体的形成以及成膜体上细胞器运动起了一定的作用. 最近 Schmit 与 Lambert 用荧光素标记的鬼笔环肽处理网球花胚乳细胞, 发现正进行有丝分裂的纺锤体中, 其肌动蛋白被标记并发出荧光, 肌动蛋白形成笼状, 包在里面的染色体照常运动只是速度稍慢, 用显微录像和计算机图象处理, 结果表明肌动蛋白确实参与了染色体的运动^[16].

f. 肌动蛋白与植物对重力的感应性 (graviperception) 植物生长发育时, 根向地下伸长, 茎向地上伸长. 控制这种向性生长的

机理目前还不非常清楚, 但有研究表明, 淀粉粒和内质网与植物向性生长有关. 这些颗粒沉积在细胞底部, 极性排列, 感受重力的方向. 近年研究发现淀粉粒及内质网等运送到细胞底部的过程与微丝有着密切的联系. 在玉米胚芽鞘细胞中, 细胞质的流动对淀粉粒的沉积影响很大, 它可以影响淀粉粒的沉降速率、阻止淀粉粒向两侧和细胞上部扩散^[4]. 他们还观察到, 淀粉粒是沿一种粗丝运送到细胞底部. 独行菜 (*Lepidium*) 根细胞用 CB 处理后内质网不能重新形成极性排列, 当去掉 CB 后打散的内质网又能按一定的极性沉积在细胞底部^[17], 由此可见, 微丝对植物细胞感受重力起了很重要的作用.

g. 肌动蛋白与叶绿体运动 在光照下叶绿体向光运动, 光也诱导叶绿体定靠在纵向周缘包被细胞壁的细胞质内 (anchorage to cytoplasmic partial coating of the longitudinal cell walls), 已证明这两个过程受光敏色素调节. 进一步研究发现, 光敏色素在光的诱导下增加微丝的合成从而产生叶绿体的运动. 肌动蛋白聚合成微丝是叶绿体运动形成的必须过程, 也许肌动蛋白在聚合中产生一种动力带动叶绿体运动^[18].

6 植物肌动蛋白的分子生物学研究

70 年代末, 分子克隆技术已应用于肌动蛋白基因研究. 植物肌动蛋白基因与动物及真菌肌动蛋白基因一样, 属于多基因家族基因. 大豆、玉米、拟南芥、矮牵牛、水稻以及豌豆等植物的肌动蛋白基因已得到了克隆. 大豆肌动蛋白基因拷贝数在 6 以上; 玉米肌动蛋白基因至少有两个拷贝; 水稻肌动蛋白基因拷贝数在 10 以上; 矮牵牛肌动蛋白基因拷贝数则在 100 以上, 并且这些基因可分成许多亚族, 分布在不同的染色体上. 肌动蛋白基因拷贝数究竟为多少尚难确定, 但实际拷贝数要比目前所报导的高. 动植物肌动蛋白基因有共同的祖先, 它们之间同源性很高. 动物与植物肌动蛋白基因碱基序列相差范围为 12%—17%; 玉米

与大豆肌动蛋白基因之间只相差 8%—10%；大豆肌动蛋白基因 6 个拷贝之间碱基序列也相差 6%—9%，且这 6 个拷贝可以分成三对，在幼苗和成熟器官中只有一对能大量表达，所转录的 mRNA 占总肌动蛋白 mRNA 的 80%^[19]。最近曹晓凤等从豌豆卷须中分离出肌动蛋白 mRNA，经反转录后得到 cDNA 能与大豆肌动蛋白基因进行 DNA 杂交，并分析出其碱基序列。这些研究引出一个值得思考的问题，即肌动蛋白多拷贝基因所转录翻译的异型肌动蛋白在植物细胞内有何特殊生理功能。Mascarenhas (1987 年) 曾观察到玉米的肌动蛋白基因的表达受发育的控制，当花粉形成时肌动蛋白的表达最旺盛。关于植物肌动蛋白基因表达的研究目前又有一定的进展，愈来愈受到人们重视。

参 考 文 献

- Loewy A G. J Cell Comp Physiol, 1952; **40**: 126
- Hatano S, Oosawa F. J Cell Physiol, 1966; **68**: 197
- 阎隆飞, 石德权. 生物化学与生物物理学报, 1963; **3**: 490
- Straiger C J, Schliwa M. Protoplasma, 1987; **141**: 1
- Tang X J, Lancelle S A, Hepler P K. Cell Motil Cytokel, 1989; **12**: 216
- Ilike R A, Breidenbach R W, Murphy T M. Phytochemistry, 1979; **18**: 1781
- Metcalf T N, Szabo L J, Schubert K R *et al.* Nature, 1980; **285**: 171
- Vahey M, Titus R T, Scordilis S. Cell Motility, 1982; **2**: 131
- 金仕萍, 凌俊, 张伟成. 科学通报, 1990; **35**: 940
- Villanueva M A, Ho S C, Wang J L. Arch Biochem Biophys, 1990; **227**: 35
- Liu Xiong, Yen Lungfei. Plant Physiol, 1992; **99**: 1151
- 马永泽, 阎隆飞. 生物化学杂志, 1989; **5**: 320
- McLean B G, Huang S R, McKinney *et al.* Cell Motil Cytoskel, 1990; **17**: 276
- Stebbing H, Hyams J S. In: Stebbings H ed. Cell Motility. New York: Longman Inc, 1979: 122
- Kohno T, Shimmen T. J Cell Biol, 1988; **106**: 1539
- Schimit A C, Lambert A M. The Plant Cell, 1990; **2**: 129
- Wendt M, Sievers A. Plant Cell Environ, 1968; **9**: 17
- Shonbohm E, Meyer-Wegener J. Biochem Physiol Pflanzen, 1989; **185**: 337
- Hightower R C, Meagher R B. Genetics, 1988; **114**: 315

膜蛋白晶体的生长及其进展

邹喻苹

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要 生物膜中与脂双层结合的蛋白质称为膜蛋白。由于它们具有很大的疏水表面以及既亲水又疏水的两性特点致使其纯化与结晶都十分困难。在膜蛋白晶体生长系统中引入小分子去污剂与小的两性分子获得突破性进展。迄今为止，结晶出来的膜蛋白为数不多。其中只有光合细菌绿色红假单胞菌及球形红假单胞菌的反应中心得到 3 Å 分辨率的晶体结构与解析。一系列膜蛋白形成二维晶体，可用电子显微镜与像重构技术获得三维结构信息。

关键词 膜蛋白，去污剂与两性分子，三维晶体，二维晶体与像重构

1 引 言

在生物细胞内含有大量的膜结构。1972 年 Singer 等提出的生物膜结构流动镶嵌模型迄今仍为大多数人接受。所有生物膜都是由蛋

白质和脂类组成的有机集合体，都具有脂双层的基本结构。生物膜行使的功能对生命活动是必不可少的。专一的膜蛋白担任独特的膜功能

Current Researches on Recombinant Fusion Proteins Comprising Dimeric Cytokines. Liu Jie, Ma Dalong. (*Department of Immunology, Beijing Medical University, Beijing 100083*). *Prog. Biochem. Biophys. (China)*, 1994; **21** (3): 194

Cytokines play an important role in the immune regulation. Among the different cytokines, there can be either synergy or suppression effects. Based on the network effects of the cytokines, researchers have designed and constructed by genetic engineering and protein engineering techniques some novel cytokines comprising dimeric cytokine proteins, which exhibited multiple bioactivities. Such molecules could be used for the researches on the immune regulation as well as the clinical applications.

Key words cytokine, protein engineering, fusion protein

The Structure and Function of vWF. Gong Qian Liqing, Guosheng, Wu Shengmei. (*Shanghai Institute for Pediatric Research, Shanghai 200092*). *Prog. Biochem. Biophys. (China)*, 1994; **21** (3): 196

von Willebrand factor (vWF) is a high molecular weight multimeric glycoprotein and is absent or abnormal in von Willebrand disease (vWD). The essential information for its function resides in the monomer. vWF participates in thrombosis and haemostasis through interacting with Gp I b, Gp II b-III a, collagen, FVIII and heparin.

Key words vWF, function, domain

The Contractile Proteins and Regulatory Mechanism of the Crustacean Striated Muscle. Chen Ming, Zhong Yongmei. (*Shanghai Insti-*

tute of Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031). *Prog. Biochem. Biophys. (China)*, 1994; **21** (3): 200

Myofilament arrangement, contractile proteins, and Ca^{2+} -dependent regulatory mechanisms between the crustacean and vertebrate striated muscles are different. The ratios of the thick to thin myofilament of vertebrate striated, crustacean fast and slow muscles are 1 : 2, 1 : 3 and 1 : 6 respectively, as well as the myofilament arrangement also differ from one another. The molecular assembly of the crustacean thick myofilament composes of myosin and paramyosin are different from that of the vertebrate striated muscle. The thin myofilament comprises actin, tropomyosin, and troponin. The molecular weight of troponin T is relatively high, and troponin C has only single Ca^{2+} -binding site. The thin and thick myofilament regulatory mechanisms coexist in the crustacean striated muscle.

Key words striated muscle, myofilament arrangement, contractile proteins, thick myofilament regulation, thin myofilament regulation

The Past and Present of Investigation on Plant Actins. Liu Xiong, Yan Longfei. (*College of Biological Sciences, Beijing Agricultural University, Beijing 100094*). *Prog. Biochem. Biophys. (China)*, 1994; **21** (3): 203

Actin widely occurs in plant cells as an important cytoskeleton element. It is involved in many key cellular activities. The structure, function and properties of plant actin are described here.

Key words actin, plant microfilament, intracellular movement

Crystal Growth of Membrane Proteins. Zou