

# 植物细胞中的 RGD 模体及受体

高虹\*

(天津大学化工学院制药工程系, 天津 300072)

**摘要** Arg-Gly-Asp (RGD)模体是动物细胞底物黏附分子的基本识别结构,许多胞外黏附蛋白是通过 RGD 模体与质膜受体整合素结合的,它参与细胞的跨膜信号转导,介导多种生物学过程。越来越多的实验表明植物细胞中也存在 RGD 结合模体,现就近年来植物细胞在这方面的研究进展进行综述。

**关键词** 植物细胞; RGD; 类整合素; 胞外基质

## 1 动物细胞中 RGD 模体及受体

动物细胞的许多胞外基质(extracellular matrix, ECM)黏附蛋白都含有一个或多个三肽序列结构,即 Arg-Gly-Asp(RGD)模体(motif)。RGD 模体最早于 20 世纪 80 年代初首次确定为人纤维黏连蛋白(fibronectin, FN)与其受体的结合位点<sup>[1, 2]</sup>,以后又相继有其他一些动物ECM蛋白被证明也含有 RGD 模体,分别是血纤维蛋白原(fibrinogen, FB)、胶原蛋白(collagen, CA)、层黏连蛋白(lamnin, LM)、冯·维勒布兰德因子(遗传性假性血友病因子, von Willebrand factor, vWF),和玻璃黏连蛋白(vitronectin, VN)等等。有功能的 RGD 位于蛋白质分子 $\beta$ 转角的顶端,在分子表面形成一个亲水环,远离分子核心部位,非常暴露并呈动态构象,具有高度的柔性,这种柔性可使 RGD 的构象诱导契合受体的结合部位。不是所有含 RGD 的蛋白质均介导细胞黏附作用,据理论推测, RGD 序列在已知的蛋白质序列中应可出现 400 多次,而事实上用计算机在 NBRF (National Biomedical Research Foundation)的蛋白质数据库中检索,仅发现了 183 个 RGD 序列,其中只有一小部分具有细胞黏附能力<sup>[3]</sup>,这是因为 RGD 序列并不总是存在于蛋白质表面,或者 RGD 存在的微环境不适合与受体结合。人工合成的一些含 RGD 模体小肽,可竞争性抑制 ECM 中 RGD 蛋白与受体的结合,且环肽的抑制效果高于线性肽,但抑制活性比含同样模体的天然蛋白质低,这说明 RGD 在天然蛋白质中的构象对其受体识别过程极为重要,其附近的氨基酸组成也对这种识别有一定影响,由于不同的黏附蛋白中 RGD 序列的位置以及空间构象并不完全相同,因此它们的促黏附功能也不同。

RGD 的受体位于细胞质膜上,是广泛分布于哺乳动物组织细胞中的超家族黏附受体成员——整合素(integrins),它是一个跨膜的糖蛋白,由 $\alpha$ 、 $\beta$ 亚基组成异二聚体,目前已知至少有 16 种 $\alpha$ 亚基和 9 种 $\beta$ 亚基。整合素与配体结合时所识别的只是配体中由数个氨基酸组成的短肽模体。不同的整合素可识别相同的模体或同一个配体中不同的模体。由于同一模体可以存在于几种不同的配体中,因此,一种整合素可能有几种 ECM 蛋白做为配体,而一种 ECM 配体也可能被几种不同的整合素所识别。整合素所能识别的位点不仅包括 RGD 模体,还包括 DGEA、EILDV、GPRP、KQAGDV 等模体<sup>[4]</sup>,其中, RGD 模体是最具特征性的结构,并广泛存在于各种基质中。整合素通过胞外域结合细胞 ECM,胞内域连接细胞骨架,有机地形成 ECM-质膜-细胞骨架连续体,具有双向跨膜信号转导作用<sup>[5]</sup>。它所介导的生物学过程主要有:细胞增殖、分化和凋亡;细胞黏附、细胞通讯、胚胎形成、基因表达等等。许多病理学过程是由于整合素与不正常的 ECM 蛋白相互作用所引起的<sup>[1, 2]</sup>。

RGD 配体与受体间的结合由受体整合素的构象调节。在静息状态下,细胞膜外的整合素头部配体结合域形成 V 型的拓扑结构,并朝向细胞膜的方向,其两条长腿在膝盖部位弯曲,紧密并列,形成弯曲闭合的构象。这种构象相应于生理条件下整合素与胞外配体之间的低亲和力状态。在激活状态下,整合素的膝盖部位完全伸展直立,由紧密并列变成了完全分开,头部垂直于细胞膜并朝向细胞外

收稿日期: 2006-02-17 接受日期: 2006-07-26

\* 通讯作者。Tel: 022-27401642, E-mail: gaohong\_126@126.com

基质,形成了完全开放的构象模式。这种构象模式使得整合素与胞外配体 RGD 之间的亲和力达到最高。与配体结合后的整合素可激活胞质内多种蛋白激酶,研究的较为清楚的是 FAK 和 Fyn/Shc 途径<sup>[6]</sup>。黏着斑激酶(FAK)是一种不依赖钙离子的酪氨酸激酶,可与整合素 $\beta$ 亚基胞质域的尾部直接作用,或通过细胞骨架蛋白,如踝蛋白、桩蛋白等间接发生作用,FAK 一旦被激活,即在 Tyr<sup>397</sup> 发生自磷酸化,产生一个 Src 或 Fyn 的 SH2 (色氨酸同源区域)结合位点,随后 Src 激酶磷酸化多种黏着斑成分,如桩蛋白、张力蛋白等。FAK 也能直接或通过 Src 激酶激活磷酸肌醇 3 位羟基激酶,最后,Src 磷酸化 FAK 于 Tyr<sup>925</sup>,产生一个 Grb2-mSOS 复合物的结合位点(图 1A)。在 Fyn/Shc 途径中,小窝蛋白作为膜上接头,将整合素 $\beta$ 亚基偶联到 Fyn, Fyn 被激活,其 SH3 结构域与 Shc 上富含脯氨酸的位点相互作用,使 Shc 在 Tyr<sup>317</sup> 处发生磷酸化,从而与 Grb2-mSOS 复合物结合(图 1B)。通过 FAK 和 Fyn/Shc 途径的以上这些反应, Ras-MAPK 信号通路被激活,并进入核内磷酸化转录因子,调节即刻早期基因的表达,控制细胞周期及细胞存活。与配体结合后的整合素还可通过激活小 G 蛋白家族成员,调节细胞扩散和迁移,其中, Cdc42 诱导伪足延伸, Rac 诱导富集肌动蛋白薄层在伪足间形成, Rho 诱导黏着斑及蒂合应力纤维束的产生,致使细胞肌动蛋白收缩,同时 FAK-Src 复合物使细胞尾部的黏着斑解组合,导致细胞尾部与基底分离,细胞在黏着斑上移动。

## 2 植物细胞中的 RGD 模体及受体

在植物体中,细胞壁被看成是植物细胞的 ECM。Wyatt 等<sup>[7]</sup>认为在植物细胞中也存在细胞壁-质膜-细胞骨架连续体,推测在质膜上负责这种连接结构的分子性质与整合素类似。Schindler 等<sup>[8]</sup>首次报道从植物中检测出类整合素蛋白(integrin-like)。Kiba 等<sup>[9]</sup>用免疫学法从碗豆细胞壁中检测到能被动物 VN 蛋白抗体所识别的细胞壁蛋白, Far Western 试验表明该蛋白质可能通过 RGD 结合机制与一个 60 kDa 的类整合素蛋白结合。Garcia-Gomez 等<sup>[10]</sup>在碗豆细胞壁中分离到两个可能与 VN 类似的蛋白。Canut 等<sup>[11]</sup>在拟南芥细胞质膜上检测到 RGD 高亲核位点。Nagpal 等<sup>[12]</sup>用整合素抗体筛选拟南芥 cDNA 表达文库获得一个克隆,计算机分析其基因产物与真菌、昆虫和人类的整合素蛋白有 24%~37% 的同源性。Laval 等<sup>[13]</sup>以动物 $\beta$ 整合素高保守区域序列制备寡核苷酸探针,从拟南芥 cDNA 文库中获得一个 2 314 bp 的 cDNA 克隆,预测的蛋白质分子有一个跨膜域,并与人类 $\beta_1$ 及 $\beta_5$ 整合素有 34.6% 和 38.8% 的同源性。该克隆属多基因家族中的一个成员,该基因家族中至少有 6 个成员。生物化学及分子生物学的分析表明,植物体中可能存在着与动物类似的 RGD 蛋白及受体蛋白。

## 3 RGD 结合机制在植物细胞中的功能

### 3.1 参与植物的生长发育

Schindler 等<sup>[8]</sup>将大豆根细胞悬浮培养于含

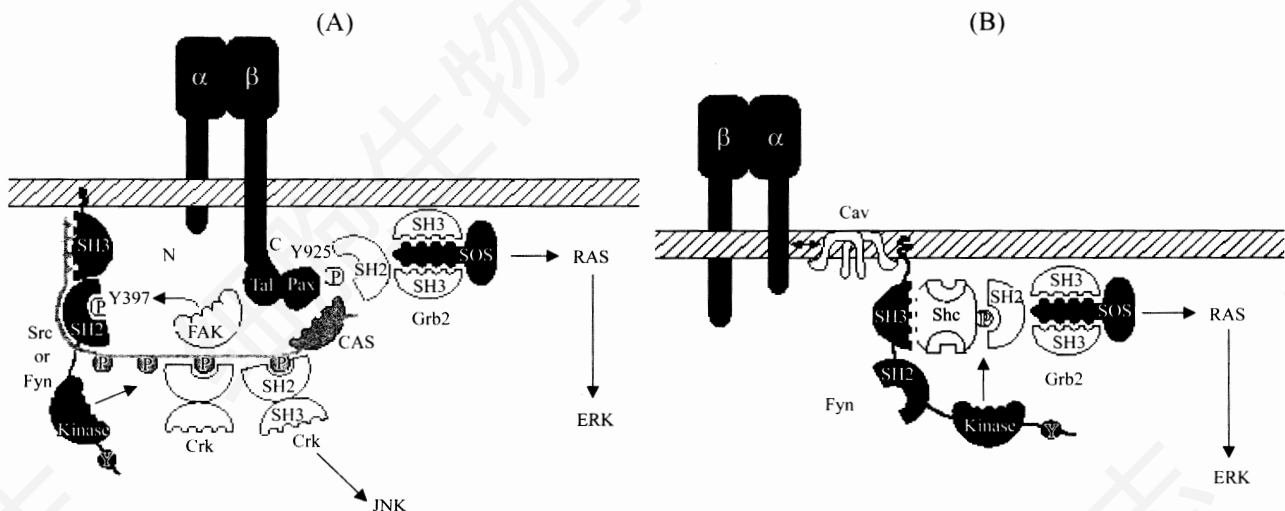


图 1 Model of the FAK (A) and Shc (B) pathways<sup>[6]</sup>

GRGDSP 肽的培养液中, 20 h 后使用罗丹明染色, 并于荧光及相差显微镜下观察。90% 以上的细胞形态发生改变, 胞质紊乱, 液泡增大, 细胞壁组织形态异常, 质膜与细胞壁分离, 在 24~26 h 时细胞的湿重是初始湿重的 3~4 倍, 核酸总含量也相应增加了 3~4 倍。而添加非 RGD 肽的对照组中则观察不到形态变化, 细胞湿重也只是初始值的 2 倍, 与正常对照组一致。实验说明 RGD 短肽通过干扰细胞内正常 RGD 蛋白的结合机制而影响了细胞的正常生长过程。

Laboure 等<sup>[14]</sup>将玉米愈伤组织培养于含 GRGDS 肽的培养基上, 48 h 后形成紧密的、节状的、胚胎发生的愈伤组织, 并伴有大量的胚状体, 而生长于含 GRGES 肽培养基上的愈伤组织则与正常对照组一致, 无胚胎发生。免疫荧光分析还表明玉米细胞中有类整合素蛋白均匀分布在质膜上。实验说明玉米细胞中存在 RGD 模体及类整合素受体, 它们与愈伤组织的胚胎发生密切相关。

琼脂糖包埋向日葵胚轴原生质体, 可诱导不对称分裂和极性生长, 并产生胚状体。质膜与琼脂糖基质之间的黏附对胚状体的形成很重要。Barthou 等<sup>[15]</sup>推测原生质膜被锚定于琼脂糖基质是由与微管相连的 RGD 连接蛋白所介导的, 锚定决定了细胞的不对称分裂和极性发育。

2.7 mmol/L RGDS 四肽处理胡萝卜愈伤组织可抑制体细胞胚的正常出芽, 如果 RGDS 中天冬氨酸残基被化学结构相似的谷氨酸替代, 则看不到抑制作用。因此在胡萝卜体细胞胚中可能存在与出芽相关的 RGD 结合机制<sup>[16]</sup>。

孙颖等<sup>[17]</sup>发现 RGD 肽及 VN 抗血清可一定程度的抑制柱头上进行的花粉萌发及在花柱里进行的花粉管生长; 免疫荧光实验还表明类整合素主要分布于花粉管尖端及花粉管外围, 推测类整合素可能参与了花粉管的定向生长过程。

拟南芥幼年(12 天)的去根胚轴, 经一个星期的培养, 很容易生根, 且生根过程不需要外加生长素; 相反, 成年(26 天)的去根胚轴要经过很长时间才能长出极少的根, 并且外加生长素也不能改善这种状况, 如用 RGD 肽短暂处理, 则生根率及根的数目就大大增加, 因此, Diaz-Sala 等<sup>[18]</sup>认为 RGD 是成年去根胚轴生根的必要条件, 但非充分条件。

以上实验都是采用人工合成的 RGD 短肽为试验手段, 由于高浓度的 RGD 短肽干扰了正常底物与

受体的结合, 并影响了细胞的正常生长发育, 因此, 可以推测 RGD 模体及受体间的相互作用对植物细胞正常的生理功能至关重要。

### 3.2 参与植物细胞的重力感受

Wayne 等<sup>[19]</sup>证明 RGDS 四肽以浓度依赖方式抑制无平衡石的轮藻节间细胞的重力感受, 当四肽浓度达 0.4 mmol/L 时, 即可完全抑制细胞对重力的感受。

Katembe 等<sup>[20]</sup>利用免疫荧光方法, 观察到类整合素集中分布在高等植物拟南芥的根冠及低等植物轮藻假根根尖部位。由于大量研究表明根冠是重力感受的位点, 信号的转导经由根冠到根的伸长区, 因此, 他推测类整合素分子的这种非随机性分布可能与重力的信号转导相关。

Lynch 等<sup>[21]</sup>在烟草 NT-1 的悬浮培养细胞、愈伤组织和整个根冠中检测到类整合素  $\beta_1$  蛋白存在于淀粉体的膜上, 推测它可能介导平衡石沉降产生的重力信号的转导。

### 3.3 参与植物-病原微生物交互作用

最近的研究发现病原微生物在侵染植物体时可利用 RGD 模体的识别机制与宿主细胞发生黏附作用。Hostetter<sup>[22]</sup>论述了这种黏附作用的两种独立方式: 即病原微生物可通过自身的 RGD 模体与植物细胞膜上的受体相互作用, 也可利用自身的 RGD 受体与植物细胞壁中有 RGD 模体的蛋白质作用, 从而产生黏附过程。

Kiba 等<sup>[9]</sup>在豌豆上胚轴组织中检测出类 VN 及受体, 并测定了真菌刺激子作用下 GRGDSP 肽对豌豆上胚轴组织产生抗毒素的影响, 结果显示 RGD 肽可浓度依赖性地抑制豌豆素的产生, 并且用 RGD 预处理组织的时间越长, 所产生的抑制强度也越高。因此他们推测真菌信号由细胞壁识别, 然后经由细胞壁与细胞膜之间的 RGD 反应机制, 将信号转入胞内。

Mellersh 等<sup>[23]</sup>测定了 RGD 肽对病原真菌与非宿主植物之间交互作用的影响。真菌能引起非宿主植物细胞壁胼胝质(callose)沉积、细胞壁中酚物质含量增高和胞外  $H_2O_2$  产生等防御反应, RGD 肽能降低非宿主植物的这些防御反应, 增加真菌的穿透率以及真菌在植物细胞内的生长。说明 RGD 模体与非宿主植物的防御应答相关。而在真菌侵染宿主植物时, 宿主植物没有展示出相应的防御反应, 实验证明真菌通过特异性降低宿主细胞壁与质膜间的黏附, 从而打断宿主细胞的防御应答。实验还显示细胞壁与质膜间的黏附与 RGD 模体相关。

Ptr Tox A 是一种可引起小麦叶片产生褐斑的真菌所产生的具有宿主选择性毒素, 含 RGD 模体, 能引起宿主细胞死亡。Meinhardt 等<sup>[24]</sup>通过 PCR 技术获得 Ptr Tox A cDNA 的突变克隆, 其中两个突变克隆中的 RGD 模体分别被 RAD 或 RGE 序列所代替, 另一个对照突变克隆其突变位点远离 RGD 模体。将这 3 个突变克隆及野生型 Ptr Tox A 基因分别转入大肠杆菌进行蛋白质表达, 并提取蛋白质产物用于实验, 只有野生型及对照突变克隆的蛋白质(即含 RGD 模体的)提取物可引起宿主细胞死亡。竞争实验中, RGD 三肽可减轻小麦叶细胞所受到的 Ptr Tox A 的毒素作用。这些实验表明 Ptr Tox A 利用了宿主植物的 RGD 结合机制来发挥其毒素作用。

IPI-O 是由植物病原菌 oomycete 分泌的一种含 RGD 模体的蛋白质, 能与 RGD 肽竞争结合纯化的拟南芥质膜微囊<sup>[25]</sup>。应用<sup>125</sup>I 标记的 AGRGDSP 肽从质膜中检测到一个 80 kDa 的蛋白质, 该蛋白质被证明是 IPI-O 的受体, 推测是一个类整合素蛋白。IPI-O 与受体的亲和力是动物纤维黏连蛋白的 75 倍, 它可中断拟南芥细胞壁与质膜之间的黏附。由此推断 oomycete 在入侵植物时利用了 IPI-O 中具有高亲和构象的 RGD 模体与植物质膜上 RGD 受体结合反应, 打断植物细胞壁与质膜之间的正常黏附, 从而中断植物细胞外信号的传入, 导致细胞失去应有的防御应答。

### 3.4 参与植物的非生物胁迫应答

当 *Phaseolus vulgaris* 在水分缺乏时, 细胞壁可溶部分中可检测到两个糖蛋白 p33 和 p36 特异积累<sup>[10]</sup>。p33 和 p36 可与叶原生质体及质膜微囊结合, 还能与一个 80 kDa 的质膜蛋白特异连接, 这种连接可被 RGD 肽、FN 竞争连接, 表明 p33 和 p36 具有 RGD 模体, 80 kDa 蛋白具有类整合素功能。

Laval 等<sup>[13]</sup>从拟南芥 cDNA 文库中获得一个与人类  $\beta_1$  及  $\beta_5$  整合素有部分同源性的 cDNA 克隆, 并检测了在机械胁迫、伤害胁迫及水分胁迫下其 mRNA 的转录情况, 结果显示在水分胁迫 24 h 后其 mRNA 转录水平增高。该实验结果与上面 p33 和 p36 实验结果具有一致性, 即在水分缺乏时, 质膜上类整合素与细胞壁上的 RGD 配体蛋白同时积累, 以加强质壁间的紧密联系。

烟草细胞为了适应高浓度 NaCl 环境, 发育出了质膜与细胞壁间的紧密黏附区域, 而在不适应的细胞中质膜与细胞壁间没有或只有极少黏附特征,

并且在适应的细胞中类 VN 蛋白含量增高, 还检测到类 FN 蛋白的出现。这些结果表明植物细胞拥有与动物细胞相似的 RGD 胞外基质黏附蛋白, 并且在细胞适应盐胁迫时特异积累<sup>[26]</sup>。

Sakurai 等<sup>[27]</sup>用人  $\beta$  整合素抗体检测到类整合素存在于成熟的海草表皮细胞质膜内陷处, 而不存在于非成熟海草及淡水草中。质膜内陷是成熟海草叶表皮细胞的一个重要特征, 与细胞忍耐盐分相关, 而类整合素特异积累于质膜内陷处也可能与细胞忍耐盐分有关。

结籽期黄瓜叶片在经历 120 min、980 Pa 静压力胁迫后, 积累植物抗毒素, 如用 RGD 预处理叶片 24 h 再施加胁迫, 则只有一小部分抗毒素积累<sup>[28]</sup>, 说明 RGD 模体与植物机械胁迫的应答反应相关。

作者及所在实验室利用蛋白质免疫印迹及免疫荧光技术, 检测到悬浮培养的红豆杉细胞膜中存在类整合素蛋白, RGD 竞争抑制试验结果表明类整合素可能参与了悬浮培养红豆杉细胞剪切力的跨膜信号转导(未发表资料)。

## 4 植物细胞中 RGD 模体及受体的作用机制

质膜与细胞壁之间的连接被认为参与了多种植物的活动过程<sup>[29-31]</sup>, 许多实验证实 RGD 模体是提供这种连接的分子基础。通过光学显微镜在质壁分离的细胞中很容易观察到这种连接<sup>[32]</sup>。Mellersh 等<sup>[23]</sup>用蔗糖处理碗豆及豇豆表皮细胞使其发生质壁分离, 在激光共聚焦显微镜下可看到细胞原生质体虽与细胞壁脱离, 但在质膜与细胞壁之间却存在大量稀薄的连接物质, 称作郝氏丝(Hechtian strands), 电镜分析表明这些丝状连接是由仍与细胞壁保持连接的质膜形成的原生质细管。用 RGDS 肽处理细胞 5 min 后, 这些丝状物全部消失, 用 RGEs 肽处理则不能引起消失。同样的现象也存在于质壁分离后的洋葱表皮细胞<sup>[9]</sup>和海藻结合子中<sup>[33]</sup>。并且, Domozych 等<sup>[34]</sup>通过 8 000 g 离心及反复的质壁分离-复原也不能破坏丝状物, 微管、微丝破坏剂以及多种蛋白质降解酶、多糖降解酶都不能阻断丝状物的形成。这些事实说明 RGD 模体在质膜与细胞壁的连接中扮演了重要角色。还有实验报道 RGD 肽还可影响水生被子植物叶肉细胞<sup>[35]</sup>和向日葵下胚轴<sup>[36]</sup>的细胞骨架排列。由此推测, 外源 RGD 肽能影响植物多种生理过程, 可能是通过干涉质膜细胞壁的黏附, 破坏了细胞壁-质膜-细胞骨架连续体, 从而中断了某些信

号的转导。因此, 由 RGD 模体所维系的质膜细胞壁间的黏附, 对于植物细胞维持正常的生理功能至关重要。

## 5 植物细胞中 RGD 模体及受体的实验研究方法

### 5.1 含 RGD 蛋白的检测

目前, 主要通过动物整合素配体抗体与植物蛋白的交叉反应来检测植物中可能存在的 RGD 蛋白。如采用蛋白质免疫印迹技术在植物细胞壁中检测出类 VN、类 FN<sup>[9,30]</sup>。

### 5.2 RGD 受体蛋白的检测

通过动物整合素抗体并应用免疫印迹技术可检测植物类整合素的存在性<sup>[37]</sup>, 应用免疫荧光技术结合荧光显微镜或激光共聚焦显微镜可对类整合素进行细胞定位<sup>[14,38]</sup>, 或应用免疫金技术结合电子显微镜也可对类整合素进行细胞定位<sup>[27]</sup>。还可利用 RGD 肽或整合素抗体制备成亲和层析柱的专一配基, 通过亲和层析分离得到类整合素蛋白<sup>[8]</sup>。克隆类整合素基因是证实类整合素存在的最直接证据, 例如用整合素抗体筛选植物 cDNA 表达文库<sup>[12]</sup>或用整合素高保守区域序列制备寡核苷酸探针筛选植物 cDNA 文库<sup>[13]</sup>, 可获得植物类整合素 cDNA 克隆。

### 5.3 RGD 连接位点的检测

通过人工合成的 RGD 短肽研究植物中可能存在的 RGD 连接位点。如利用 Sepharose 与 RGD 短肽制成亲和层析柱, 于提取的质膜蛋白中分离出能与 RGD 结合的蛋白质, 该蛋白质可通过整合素抗体做进一步的免疫印迹鉴定<sup>[8]</sup>。还可利用同位素标记的人工合成 RGD 肽, 与提取的细胞质膜微囊混合反应, 经 0.22 μm 微孔滤器清洗抽滤, 计数微孔滤膜上的放射性强度, 从而确定 RGD 肽与质膜之间连接反应的动力学。实验以同位素标记的非 RGD 肽为对照<sup>[11,25]</sup>。

## 6 小结

在植物细胞中关于 RGD 蛋白及受体的研究远远落后于动物细胞, 到目前为止, 有关它们存在于植物细胞中的证据主要来自免疫交叉反应、免疫定位分布以及 RGD 肽结合试验, 生理功能的研究也主要来自间接证据, 至于信号转导的细节就更不清楚

了。由于免疫学研究不能进一步鉴定动植物间这些蛋白质或基因的同源性, 因此, 在未获得同源性的直接证据以前, 研究者们通常把这些与动物蛋白有着相同功能的植物蛋白称之为类 VN、类整合素等等, 只有获得了这些蛋白质的氨基酸或基因序列, 才能真正辨别它们的身份。但不管是什么样的分子, RGD 结合机制无疑广泛存在于植物体中, 并以和动物细胞相同的作用方式行使着相同功能, 参与植物细胞的多种生理事件。未来的研究方向将是探测这种联系的细节, 并从分子水平阐明它们的结构与功能。

## 参考文献 (References)

- [1] Pierschbacher MD *et al.* *Nature*, 1984, **309**: 30
- [2] Pierschbacher M *et al.* *Proc Natl Acad Sci USA*, 1983, **80**: 1224
- [3] Ruoslahti E *et al.* *Science*, 1987, **238**: 491
- [4] Ruoslahti E. *Annu Rev Cell Dev Biol*, 1996, **12**: 697
- [5] Kim M *et al.* *Science*, 2003, **301**: 1720
- [6] Giancotti FG *et al.* *Science*, 1999, **285**: 1028
- [7] Wyatt SE *et al.* *Trends Cell Biol*, 1993, **3**: 413
- [8] Schindler M *et al.* *J Cell Biol*, 1989, **108**: 1955
- [9] Kiba A *et al.* *Plant Cell Physiol*, 1998, **39**: 1245
- [10] Garcia-Gomez BI *et al.* *Plant J*, 2000, **22**: 277
- [11] Canut H *et al.* *Plant J*, 1998, **16**: 63
- [12] Nagpal P *et al.* *Gene*, 1999, **230**: 33
- [13] Laval V *et al.* *Biochim Biophys Acta*, 1999, **1435**: 61
- [14] Laboure AM *et al.* *FEBS Lett*, 1999, **442**: 123
- [15] Barthou H *et al.* *Protoplasma*, 1999, **206**: 143
- [16] Blackman SA *et al.* *Physiol Plant*, 2001, **112**: 567
- [17] Sun Y *et al.* *Plant Cell Physiol*, 2000, **41**: 1136
- [18] Diaz-Sala C *et al.* *Physiol Plant*, 2002, **114**: 601
- [19] Wayne R *et al.* *J Cell Sci*, 1992, **101**: 611
- [20] Katembe WJ *et al.* *Physiol Plant*, 1997, **99**: 7
- [21] Lynch TM *et al.* *Protoplasma*, 1998, **201**: 92
- [22] Hostetter MK. *Curr Opin Microbiol*, 2000, **3**: 344
- [23] Mellersh DG *et al.* *Plant Cell*, 2001, **13**: 413
- [24] Meinhardt SW *et al.* *Plant Physiol*, 2002, **130**: 1545
- [25] Senchou V *et al.* *Cell Mol Life Sci*, 2004, **61**: 502
- [26] Zhu JK *et al.* *Plant J*, 1993, **3**: 637
- [27] Sakurai M *et al.* *Planta*, 2004, **220**: 271
- [28] Zhao HC *et al.* *Colloid Surf B Biointerfaces*, 2005, **43**: 187
- [29] Sanders LC *et al.* *Plant Cell*, 1991, **3**: 629
- [30] Wagner VT *et al.* *Proc Natl Acad Sci USA*, 1992, **89**: 3644
- [31] Correa A *et al.* *Protoplasma*, 1996, **194**: 91
- [32] Oparka KJ. *New Phytol*, 1994, **126**: 571
- [33] Henry CA *et al.* *Protoplasma*, 1996, **190**: 39
- [34] Domozych DS *et al.* *J Phycol*, 2003, **39**: 1194
- [35] Ryu JH *et al.* *Plant Cell Physiol*, 1997, **38**: 420
- [36] Briere C *et al.* *Physiol Plantarum*, 2004, **122**: 115
- [37] 孙颖等. *植物学报*, 1998, **40**: 680
- [38] 张爱华等. *科学通报*, 2001, **46**: 126

## RGD Motif and Receptor in Plant Cell

Hong Gao\*

*(Department of Pharmaceutical Engineering, School of Chemical Engineering and Technology,  
Tianjin University, Tianjin 300072, China)*

**Abstract** The sequence Arg-Gly-Asp (RGD) is the essential structure recognised by animal cells in substrate adhesion molecules. It is generally thought that the interaction between plasma membrane-bound receptors known as integrins and extracellular adhesive proteins is mediated through the RGD motif, which involved in transmembrane signaling and many physiologic process. The recent discovery suggests that this type of interaction may be widespread in the plant kingdom. The advance in RGD motif and its receptor research for plant cell was reviewed.

**Key words** plant cell ; RGD; integrin-like; extracellular matrix

---

Received: February 27, 2006      Accepted: July 26, 2006

\*Corresponding author. Tel: 86-22-27401642, E-mail: gaohong\_126@126.com