

绪 论

在世界花卉业迅猛发展的今天，花卉化学控制的重要价值愈来愈受到人们的重视，因为它能够在原有基因型的状态下改善花卉作物的种性，从而给市场提供高产、优质的花卉商品。实际上，很多花卉之所以能够具有较高的商品价值，依靠的并不是传统的栽培措施，而是借助花卉化学控制的研究成果，这一点在国外的花卉生产上表现得更为明显。

花卉化学控制是一门新型学科，它是植物生理学与花卉园艺学相互融会的交叉学科，近几十年来，随着人们对植物激素研究的不断深入，很多生理作用类似植物激素的植物生长调节剂也相继问世。由于它们的性质稳定、价格便宜、药效明显，因此在实验室中开始出现了取代植物激素的倾向，由于使用范围的扩大，植物生长物质开始从实验室走到生产实际中陆续为农业生产服务。在使用初期，植物生长物质主要应用于花卉作物的插枝生根、打破休眠等方面，随着研究的深入，在花期控制、株型塑造、整形修剪等方面的应用也日渐增多。目前，花卉化学控制技术已经在美国、日本、以色列等花卉生产大国中广泛应用，而在我国花卉化学控制技术仅在小范围内使用，这种状况与我国的花卉生产水平不高，对于花卉化学控制的研究投入较少有很大关系。

作为植物生理学的一个分支，花卉化学控制主要研究植物生长物质对花卉作物生长、发育、储藏的生理效应、栽培效果。它为现代化花卉生产提供了一种新的技术方法，凭借人们对植物生长物质作用于花卉作物的生理基础，而对其生长、发育过程予以调控，从而获得能够满足人们要求的花卉产品。花卉化学控制包括花卉的激素生理、开花生理、生长生理、繁殖生理等方面的内容。由于不同的花卉种类对不同的植物生长物质有着不同的反应，因此如何根据这些特点采用相应的药剂进行处理，以获得预期的化学调控效果是花卉化学控制在应用方面的主要研究方向。

目前我国的花卉生产已从昔日的分散型、田园式的栽培管理向着集约化、大规模的专业化生产方向转化，那种前店后场、自产自销的落后生产方

式已经难以适应现代花卉生产。然而与国外相比，我国的花卉生产目前还是处于非常落后的状态，无论是在物质投入还是在生产规模等方面均不尽人意，要使我国的花卉产品能够大批量地打入国际市场，我们面临的任务还是十分艰巨的。为了适应集约化、大规模的花卉生产，使用化学控制技术是不可或缺的一项措施。长期以来，我国对化学控制技术在农作物上的应用研究重视得不够，因为一些人认为作物栽培本身的技术含量较低，这样势必就导致了在该领域的研究大大落后于国外的状况。确实，对于某种花卉而言，其栽培管理并不是像很多人认为的那样难于掌握，即使是一个没有受过专门训练的人也照样可以把它栽种成活，然而化学控制的真正价值在于它能够最大限度地简化管理，塑造理想株形，从而以最少的投入获得相对来说较大的收益。要想做到这一点并不是轻而易举的，这就好比每个健康人都能跳高，然而只有很少人能够跳过两米高的障碍物一样，做到此点的难度在于人们对跨越障碍的具体高度做了规定！花卉化学控制的研究成果在应用时虽然比较简单，但是其研究过程却极其复杂，因为在花卉化学控制技术实施过程中不仅要考虑某一种化学药剂会对某一种花卉产生什么样的生理反应，而且还要考虑到这种生理效应是否能够真正有效地应用于生产。在很多情况下，解决实际生产问题之难度往往要比撰写毕业论文要大得多，这是因为前者要求研究者对相关理论有深刻的理解，而不是仅限于对其倒背如流的认识。有鉴于此，将花卉化学控制的主要原理应用于实际生产，其关键之一要对被处理的花卉习性有透彻的了解，具体来说，就是要对其生物学特性做尽可能的掌握，这是因为不同的植物生长物质对于不同的植物种类有着不同的反应，即使是同种植物在其不同的发育阶段，甚至同一发育阶段的不同器官也会有着较大的差异，如果不了解这些特点，而仅以为只要给植株喷施了一些药剂就能得到满意的栽培效果是对花卉化控生理学的片面理解。在我国，当花卉化学控制技术在农作物上开始应用的阶段，曾有很多人对其不屑一顾，甚至讥讽此技术是“喷喷洒洒”而已。这种轻视“实践”，重视“理论”的认识实际上正是某些人科研思维浅薄之表现。对于很多学科而言，在很多情况下实践与理论实际上是两位一体的，二者根本无法分开，例如花卉化学控制就是如此！

迄今为止，人类对不同植物生长物质调节花卉作物整体生长的相互联系缺少系统的了解。换言之，目前世界上对化学控制技术的研究仅限于某种植物生长物质的单剂，或几种植物生长物质的混剂施用于植株后所产生的某些

形态反应或内在生理变化，这些变化相对来说是孤立的，人们尚不知它们如何与整株植物的生长发育产生何种联系，导致这种局面出现的原因很大程度上还是由于人类对于生命的本质并没有真正的了解。具体到生理范畴而言，则可以认为现在的研究水平尚未能够很好地解释植物为什么会生长，为什么会分化等类似问题，也就是说，花卉化学控制的研究仅是一个从试验到理论的归纳过程。尽管如此，花卉化学控制所取得的每项研究进展依然是人类对生命本质认识的逐渐深入过程，这也正是我们不断为该领域研究而付出巨大努力之原因所在！

我国的花卉化控研究起步较晚，相比之下，化学控制技术在大田、果树、蔬菜等作物上的应用较为广泛。在花卉生产过程中如果采用化学控制技术，则其效益会更高，它之所以能够在花卉生产中表现出强大的生命力，其主要的原因有二：一是由于花卉产品的售价较高，二是由于花卉作物的管理较为特殊，采用通常的园艺措施往往难以获得理想的产品。而采用化学控制技术，则能够更好地扭转这种局面。可喜的是，近年来我国在粮食、油料、花卉、蔬菜、水果等作物上应用化学控制技术均已取得了十分显著的经济效益。与此同时，使用者也开始认识到在没有正确理论的指导下，盲目地施用药剂对农作物是十分危险的。因为仅将在某一种植物上的化学药剂使用方法简单地推广到其他地区，有时甚至会产生十分严重的不良后果。由于不了解花卉化学控制的基本原理，而乱施药剂，在生产上惹出麻烦的事例也屡见不鲜。譬如，1983年北京某大公园就发生过一位技术人员喷施乙烯利来矮化大丽花植株的事例，使用者的目的是想让被处理的大丽花植株降低高度，但是他并不了解乙烯利的主要生理作用是促进器官衰老，因此在施药后植株基部叶片大量脱落。对于盆栽大丽花而言，其基部叶片脱落即意味着栽培失败，类似例子绝非偶见。因此，如何将花卉化学控制的研究成果尽快地正确应用于生产，也是摆在我们面前的迫切问题。

当花卉作物被施以植物生长物质后，植株的内源激素平衡就会被打乱，经过一系列的反应，其体内就会建立新的激素平衡系统，尔后在形态上就会出现相应的变化。也就是说，当植物生长物质使用于花卉作物后，其体内首先出现的是生理上的变化，随后才能出现形态上的变化。由于植物种的生长习性不同，同种植物之不同品种的生长习性也不同，因为在某一种作物或品种上施用同一种植物生长物质，往往会出现迥然不同的处理结果。从此点而言，化学控制技术应用用于实际生产中是一项富有挑战性的工作，因此在使用

植物生长物质时，除了要考虑生理、形态、时差、位差之外，还要注意花卉品种在生长习性上的差异。

在花卉化学控制中，所研究之核心问题是花卉作物与植物生长物质间的相互作用。从以往的研究过程来看，人们对花卉化控生理学的研究主要是通过施用外源植物生长物质，尔后再观察其生理、形态等方面的变化，以总结出能够在实际生产中采用的技术方案，此种研究方式有着较大的盲目性。今后应该侧重于了解植物内源激素的种类、浓度。当施以植物生长物质后再对被处理植株的各种反应，特别是内源激素的变化进行分析，并从中归纳出结论。这是今后花卉化学控制的主要研究趋势，当然要实现此目的还有很多问题需要解决，例如目前还没有造价低廉、简便快捷的植物激素测定法，对于一株完整的植物，其体内的激素动态变化更无法很好地被记录，相信在这些技术问题被相继解决后，花卉的化学控制将会取得长足发展。

倘若脱离了花卉栽培措施去研究花卉化控技术，那么其成果往往是实验室水平的，因为如果没有考虑到被处理花卉的生长特点，则很难获得有生产价值的试验结果。由于花卉的不同种类、品种对植物生长物质反应的差异很大，除此而外，同种花卉的不同发育阶段或相同发育阶段的同种花卉的不同器官，对植物生长物质的反应也各不相同。因此对花卉化学控制的研究前提是首先要对所涉及的花卉之生物学特性有比较清楚的了解，这样才有可能在该领域取得预期的研究成果，这一点已为很多研究者所证实。因此对于花卉化学控制的研究需要的是理论—技术型的人才，因为此学科的研究目的并不是仅仅在试验室里写出几篇论文，或在温室中将几盆观赏植物进行矮化而已！实践表明，只有根据花卉的生长特点按照所要达到的目的施用相应的植物生长物质，才有可能获得预期的处理效果。从此点而言，花卉化学控制的研究就不能仅限于在试验室中进行，而是应该与实际栽培更加贴近，只有这样才能使花卉化学控制有着更强的生命力。

今天花卉化学控制所取得的成绩，首先要归功于那些热心于此项工作的各国科学家、技术工作者，如果没有他们的努力，植物生长物质的应用可能还是仅仅停留在书本上。人们对花卉化学控制的理论研究为花卉化学控制的实际应用铺平了道路，而花卉化学控制的应用反过来又丰富了花卉化学控制的理论内容。今天，已有很多国家将化学控制在花卉上的应用摆放到了相当重要的位置，如果说基因工程是通过改变植物基因组合来获得优质农业产品的一项技术，那么花卉化学控制则是通过化学药剂来调控作物种性的一项措

施。然而就目前的技术水平而言，基因工程从试验室到实际应用间还存在着很多问题；相比之下，化学控制的研究成果则早已从试验室进入实用阶段，因此后者目前对农业生产来说更为现实。具体到花卉生产而言，加强对花卉化学控制的理论研究，改善花卉化学控制技术的应用环境，将有助于为市场提供更多更好的优质花卉产品。

第一章

植物生长物质

植物生长物质主要包括植物激素与植物生长调节剂两大类。植物激素指的是植物本身合成的、含量很少的一些有机化合物，它们能从产生处运输到其他部位，在极低的浓度下即能产生明显的生理效应，可以对植物的生长发育产生很大的影响。现已公认的植物激素通常分为赤霉素、生长素、细胞分裂素、脱落酸、乙烯五大类。植物生长调节剂是指由人工合成的，能够调控植物生长发育的化学物质。它们在切花作物生产中可以起到促进插枝生根、调控开花时间、塑造理想株型等作用。常见的植物生长调节剂有矮壮素、B₉、萘乙酸、青鲜素、乙烯利等。

第一节 植物激素

植物的生长发育，在很大程度上为植物激素所左右。其对植物的生长发育、物质运输等方面有着重要的影响。植物激素是一类为植物本身所合成，并在很低的浓度下于特定部位产生明显的生理效应之生物活性物质。现在为人们所公认的植物激素主要有赤霉素、生长素、细胞分裂素、脱落酸、乙烯五大类（图 1.1）。

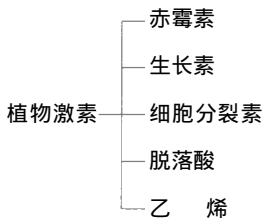


图 1.1 植物激素的分类

1. 赤霉素

天然的赤霉素，均为赤霉烯二羧酸的衍生物，根据其碳原子的数目，可

分为 GA_1 、 GA_2 、 GA_3 、 GA_{1+n} ……等。现已发现的赤霉素有 118 种，它们都能以游离态存在于植物器官中，其中生理活性较强的主要为 GA_3 、 GA_4 、 GA_7 等。目前应用较为广泛的赤霉素是 GA_3 ，即所说赤霉酸。由于其赤霉素应用不多。以下仅对赤霉酸加以介绍。

【化学名称】 2β ， 4α ，7-三羟基-1-甲基-8-亚甲基-4a，4b，B-赤霉-3-烯-1a，10B-二羧酸-1，4a 内酯

【别名】 GA_3 、激勃素、滥长素、九二零

【理化性质】纯品为八面体双锥形白色结晶，熔点 $233\sim 235^\circ\text{C}$ （分解）。难溶于水，其钾盐、钠盐易溶于水，易溶于丙酮、甲醇、乙醇。赤霉素的化学性质比较稳定，但应该在低温环境下进行贮藏，其水溶液不稳定。

【剂型】1%、3%、10% 粉剂、4% 乳剂、85% 结晶、99% 纯品、化学试剂。

【毒性】小鼠急性口服毒性 $LD_{50} > 1500\text{mg/kg}$ ，对鲤鱼 48 小时的 $TL_m > 100\text{mg/L}$ 。

【生理作用】赤霉素主要生成于植物的幼嫩部位；其主要的生理作用为促进细胞的伸长，防止离层形成，能够解除休眠，能够诱导植株体内 α -淀粉酶的形成，有利于植株的生长发育，可以打破块茎、鳞茎等器官的休眠。

促进生长是赤霉素的主要生理效应，但是对相关机理研究得并不十分深入，赤霉素之所以能够促进生长，是由于它能够同时促进细胞的分裂、伸长。例如其可使分生区幼嫩细胞分裂，而使伸长区较老细胞伸长。赤霉素不仅对连体叶片，而且对离体叶片也有促进叶面积增大的效果，这种效果在勿忘我、香豌豆等植物上均可很好地表现出来。此外，它能使红花菜豆、牵牛花、香豌豆等的植株高度增加。在赤霉素的作用下，牡丹、山茶等花卉的芽之休眠能够被打破，或被缩短，从而可以促进其迅速进入生长阶段。赤霉素可以促进淀粉、蔗糖等转化为葡萄糖和果糖，这些六碳糖提供细胞壁形成过程中呼吸作用所需的能量，并可使细胞的水势下降。因此水分更容易进入细胞，致使细胞增大。赤霉素对离层的形成也有促进作用，其可以促进彩叶草叶柄离层的形成。赤霉素抑制根系分化的原因可能是由于它抑制了形成根原基组织的细胞分裂之故，当根原基形成后，赤霉素对其生长并无影响，它只是对根原基的分化有抑制作用。此外，赤霉素对鸢尾的球根形成也有抑制作用。

Arry 等人的研究表明，将赤霉素喷施于大豆叶片，能加大植株对亚硒酸盐的吸收和转运。Nowak 等人发现，赤霉素能够促进大豆植株对氮、磷、钾的吸收。很多研究表明，赤霉素可以提高大麦种子糊粉层中 Ca^{2+} 的浓度，

从而促进含 Ca^{2+} 的 α -淀粉酶之合成与分泌。Gilroy 认为,在此过程里钙调蛋白可能起着中介作用,即赤霉素与在质膜上的受体结合后,直接进入细胞核调节钙调蛋白的基因表达。随着细胞质内的钙调蛋白水平增加,钙调蛋白与 Ca^{2+} 形成 Ca^{2+} -CaM 复合物后,激活质膜上的 Ca^{2+} -ATPase 的活性,从而提高细胞内的 Ca^{2+} 水平。

2. 生长素

【化学名称】2-吲哚-3-乙酸

【别名】IAA、奥克辛、氮茛基乙酸、吲哚-3-乙酸

【理化性质】纯品为白色结晶,熔点 $168\sim 169^{\circ}\text{C}$ (分解)。微溶于水,溶于乙醇、乙醚。在酸性介质中不稳定。

【剂型】化学试剂。

【毒性】对小鼠腹腔内 LD_{50} 为 $1\ 000\text{mg/kg}$,对蜜蜂无毒。

【生理作用】生长素主要生成于植物的茎尖;其主要的生理作用为促进植物器官生长,防止器官脱落,促进坐果,诱导花芽分化。生长素对根的形态建成通常会起到抑制作用,例如它对秋海棠叶片的不定根形成是十分不利的。

自 20 世纪 60 年代后有很多研究表明,对植物幼嫩的根、茎、叶施用低剂量的吲哚乙酸、萘乙酸等生长素类物质可以促进植株体内的内源乙烯产生。研究表明,在茎、叶等生长旺盛的器官里内源生长素的含量高,乙烯的生成率也最高,当对它们施以外源生长素时,由于提高了组织内的生长素水平,因此也促使了乙烯的产生。与此相反,乙烯则会使植株体内的生长素水平下降,这是由于乙烯对生长素的代谢有影响,例如 IAA 的合成及极性运输能够被乙烯所抑制;IAA 氧化酶的活性能够被乙烯增加。这种生长素促进乙烯生成,乙烯降低生长素水平的现象说明了生长素、乙烯两种植物激素之间的反馈关系,其调节了植物体内生长素与乙烯的水平,从而影响了生长过程。当生长素促进过度生长时,则导致较多的乙烯产生,后者则能够抑制过度的生长。由于生长素能够诱导乙烯的生成,因此,很多研究者把生长素的生理效应归因于其对乙烯产生的影响。例如生长素促进凤梨科植物开花的现象是由于生长素诱导了乙烯释放的结果,也就是说,乙烯才是促使凤梨科植物开花的原因。因此可以将生长素的生理效应大致分为两类,一类是生长素的直接效应,另一类是生长素通过诱导乙烯产生的间接效应。

许多研究表明,生长素可以增加细胞壁的可塑性,由于细胞的伸长伴随着细胞壁的扩大,从而促使了细胞的伸长。研究表明,细胞壁可塑性的增加与生长素促进生长的作用是呈正相关。由于细胞可塑性的增加,当水分进入

细胞后，压力势降低，因而会使更多的水进入细胞，从而使细胞体积增加。由于细胞体积的增大是不可逆的，因此细胞就造成了不可逆的扩大。1970年，David 和 Robert 提出了酸生长理论，用以解释生长素的快速反应，其理论要点为：

原生质膜上存在着一个 ATP 酶的质子泵，生长素作为酶的变构效应剂，与质子泵的蛋白质相结合，从而使质子泵活化；

活化的质子泵将细胞中的氢离子泵到细胞壁，导致细胞壁的基质溶液中的 pH 下降；

在酸性条件下，一些软化细胞壁的酶使细胞壁变软；

当细胞壁变软后，其膨压下降，细胞因吸水而体积增大，从而导致细胞不可逆的伸长。

酸生长理论的主要依据为外源生长素可促进 H^+ 的分泌，而这一切均发生在细胞伸长前；外源氢离子与外源生长素均可增加细胞壁的可塑性，对细胞伸长有着相同的效应，但其迟滞期不同，氢离子为 1 分钟左右，而生长素为 10 分钟左右；一些细胞壁降解酶的最适 pH 较低，而 IAA 可使组织中的水解酶含量有所增加；一些代谢抑制剂，如氰化物可抑制生长素诱导的伸长，但酸诱导的伸长则没有作用；由于壳梭孢菌素可导致 H^+ 的分泌，同时可使茎段伸长，由于它与生长素是完全不同的化合物，其作用方式也不同，但是却能诱导茎段伸长，说明 H^+ 是诱导细胞壁软化、细胞伸长的主要物质。生长素促进细胞扩大的能力是由于它能促使新的蛋白质和 RNA 的合成，这是因为它与核外的某种蛋白受体结合后，在转录水平使特定的基因活化，并使 RNA 聚合酶的活性增加，从而导致了更多的特定 RNA 形成。

吲哚乙酸能够促使某些植物组织对 K^+ 、 Rb^+ 等阳离子的吸收和 H^+ 的分泌，这两个过程几乎是同时发生的；而且吲哚乙酸对促进 K^+ 吸收要比促进 H^+ 分泌的能力更为明显。因此可以认为吲哚乙酸促进了致电之 H^+-K^+ 的交换，这与质膜上的质子泵有所关联；动力学分析表明，吲哚乙酸并不会影响 K^+ 吸收的最大速率，但是会使米氏常数显著降低，这就表明吲哚乙酸能够直接在质膜上提高 $K^+-Mg^{2+}-ATPase$ 酶与 K^+ 的亲合力。但是也有研究表明，IAA 或许是通过某些第二信使间接影响膜上的 $K^+-Mg^{2+}-ATPase$ 酶；Mehrotro 的研究表明，当豌豆植株缺铁时，用 IAA 处理可以提高植株组织内的铁含量；Christoph 等人的研究表明，吲哚乙酸能够提高细胞质内 Ca^{2+} 的浓度，其机制可能是吲哚乙酸通过质膜上的 $IAA-2H^+$ 顺向传递体进入细胞后导致细胞酸化，当细胞质的 pH 值降低后，钙调蛋白与 Ca^{2+} 的结合力降低，从而增加了细胞质中游离 Ca^{2+} 的浓度。吲哚乙酸不仅能够提高植物细

胞中的 Ca^{2+} 浓度，而且还能促进 Ca^{2+} 在植物体内的运输，其机制可能为生长素的向基性运输影响了 Ca^{2+} 的运输；由于生长素影响到木质部的发育，从而进一步影响 Ca^{2+} 的运输。

3. 细胞分裂素

天然的细胞分裂素，均为异戊烯基腺嘌呤的衍生物，主要有玉米素、双氢玉米素、异戊烯基腺嘌呤。它们都能以游离态存在于植物器官中，由于其售价均很高，因此目前仅供试验室规模的研究使用。以下仅对玉米素加以介绍。

【化学名称】6-(4-羟基-3-甲基-反式-2-丁烯基)氨基嘌呤

【别名】玉米素(反式)

【理化性质】纯品为白色针状结晶，熔点 $360\sim 365^{\circ}\text{C}$ (分解)。不溶于氯仿、乙醚，微溶于冷水、乙醇，溶于酸、碱溶液中。

【剂型】化学试剂。

【毒性】本品有毒。

【生理作用】细胞分裂素主要生成于植物的根尖；其主要的生理作用为促进细胞分裂，抑制器官衰老，诱导芽分化，延缓叶片衰老。细胞分裂素在不同的组织中有着不同的作用机理，它具有多种生理效应，例如细胞分裂素可调节细胞的分裂，也可促进蛋白质和 RNA 合成。另有研究表明，细胞分裂素也可调节硝酸还原酶的合成。

细胞分裂素能够促进细胞分裂，其主要对胞质的分裂起作用，此外，它对形态的发生也能起到十分重要的作用。Skoog 和 Miller 的研究表明，在组织培养过程中，细胞分裂素与生长素的比例可诱导愈伤组织的分化取向。在细胞分裂素/生长素比例较高时，则有助于芽、茎、叶的形成；而细胞分裂素/生长素的比例较低时，则有助于根的形成。如果二者的比例相等，则保持愈伤组织原有的生长状态。细胞分裂素在生长素的存在下，对不规则的愈伤组织细胞分裂具有明显的促进作用。细胞分裂素对植物组织培养的外植体形态建成起着重要的作用，例如泡桐所患的疯枝病，就是由于致病细菌产生了大量的细胞分裂素，因此才促使患处形成众多的不定芽。细胞分裂素还有使一些双子叶植物根、叶等器官细胞体积增大的效应。除此而外，它还可以促使某些种子的发芽，也能够促使营养物质向所需的部位进行调运，因此可以认为它具有创建代谢库的能力，例如果实能够使氨基酸、葡萄糖等营养物质从叶片中进行调运就是十分明显的例证，细胞分裂素对养分的调运效应也影响到衰老的过程，例如离体叶片很快会衰老、黄化。如在离体叶片上局部涂抹细胞分裂素，则在叶片衰老时被处理部位的叶绿素降解缓慢，因而能够

较长时间保持绿色。

细胞分裂素对根形成的作用通常是消极的，例如它能抑制铁十字秋海棠叶片上不定根的生长。当用激动素处理非洲堇的叶柄后，经 24 小时就会明显促进其芽的形成。将铁十字秋海棠的叶片用激动素处理后，不仅在主脉上能够很快地形成芽，在整个叶缘也都能形成芽。牵牛花这种短日照植物在激动素的作用下，能够迅速形成花芽。

细胞分裂素能够促进植物叶片细胞对水分的吸收，进一步影响到矿质营养在植株体内的运输、分配。研究表明，玉米素能够明显地抑制处于生殖生长状态的大豆离体叶片内多种矿质元素含量的下降。在大豆下胚轴的伸长区，细胞分裂素能够显著地抑制 Ca^{2+} 的吸收，而在大豆下胚轴的分生区细胞分裂素则能够促进 Ca^{2+} 的吸收，这种现象，可能是由于植物体不同部位细胞膜上的钙离子泵对细胞分裂素敏感程度上的差异所造成。

4. 脱落酸

【化学名称】3-甲基-5-(1'-羟基-4'-氧-2'6'6'-三甲基-2'-环乙烯-1'-基)2,4-戊二烯酸

【别名】ABA、离层酸、休眠素

【理化性质】为白色粉末。脱落酸分为右旋脱落酸和左旋脱落酸两种，天然的脱落酸多为右旋，合成的脱落酸则是左旋和右旋各占 50% 的消旋物。

【剂型】化学试剂。

【毒性】本品有毒。

【生理作用】脱落酸主要存在于植物的衰老叶片；其主要的生理作用为促进气孔关闭，抑制植株生长，促进器官脱落，诱导植株休眠。在植株体内脱落酸可经木质部和韧皮部进行长距离运输。当对根施用以外源脱落酸时，则可抑制各器官形成层的活动。由此可知，脱落酸的运输是非极性的，但也有与此论点相悖的研究报道。

植物对脱落酸的一个生理反应是关闭气孔。Kohl 和 Rundle 的研究表明，虽然浓度为 10mg/L 和 100mg/L 的脱落酸能够缩短月季切花的瓶插寿命，但是浓度为 1mg/L 的脱落酸却可以减少月季的水分损失，并延长其瓶插寿命。据 Mayak 和 Halevy 的研究表明，当月季花瓣衰老时，乙烯的浓度有所增加，接着脱落酸的浓度也随之增加，使用脱落酸可以促进它们的衰老。研究者认为，脱落酸和乙烯通过相同的途径参与花瓣衰老的控制。后来 Halevy 等人又发现，10mg/L 的脱落酸可以导致气孔关闭，减少水分损失，并延长置于光照下的月季寿命。但是对于放在阴暗处的带叶切花或无叶切花，脱落酸则可促进其衰老，提高核糖核酸酶的活性，并减少与衰老有关的

蛋白质含量。Dorochev 等人的研究表明，水分胁迫可以增加月季花瓣中的脱落酸含量。在切花保鲜液中，1%的蔗糖最初导致水分亏缺较大，且脱落酸的浓度增加；但是在几天后与水对照处理相比，则发现水分亏缺较小，且脱落酸的含量较低。

脱落酸对赤霉素有拮抗作用，例如 ABA 可抑制大麦糊粉层细胞中 α -淀粉酶的合成，其作用机制是由于抑制了 α -淀粉酶专一的 mRNA 分子的合成。此外，ABA 与酶蛋白相结合，使其与底物无法亲和，因而导致反应不能进行。ABA 虽然可抑制大麦糊粉层中 α -淀粉酶的形成，但却对总的 RNA 和蛋白质合成没有影响。ABA 的很多效应速度非常快，不能以其影响 RNA 的合成进行解释，例如，所施用的外源 ABA 在 1 分钟内即可导致气孔关闭，5 分钟内对生长素诱导的胚芽鞘伸长就会起到抑制作用。

脱落酸对离子的吸收影响比较复杂，例如脱落酸能够促进菜豆根系中的钠、氯的积累，ABA 可以提高马铃薯叶片内钾、磷等元素的含量。脱落酸能够促进大麦根细胞对钙离子的吸收，但经过一段时间后，则表现为抑制作用，其机制可能是由于脱落酸进入细胞后，直接或间接地影响了基因之表达，使膜上运输 Ca^{2+} 的 $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ 反相传递体数目增加，促进了 Ca^{2+} 的外泄。脱落酸能抑制大麦种子糊粉层细胞中 Ca^{2+} 的浓度，抑制 α -淀粉酶的生成。

5. 乙烯

【化学名称】乙烯

【别名】ETH

【理化性质】为无色可燃气体，略带烃类气味，沸点 -103.8°C ，比重 0.9852 在空气中爆炸极限上限为 16%~29%，下限为 3%~3.5%（体积）。

【剂型】乙烯为气态激素，它多采用乙醇法进行制备。

【毒性】相对低毒，在低浓度时有刺激作用，在高浓度时有麻醉作用。

【生理作用】乙烯是一种不饱和烃，在 0.01mg/L 的浓度下即有活性。主要生成于植物的衰老器官，它是一种气态激素。20 世纪初，曾有科学家认为在果实采收后会有某种气体释放出来，其能够促使果实成熟，尔后一些科学家认为，乙烯可以促进果实的成熟，而且很多新鲜果实能够产生乙烯。因此，在 1935 年有研究者认为，乙烯可能是一种内源激素，但是这种看法受到了质疑，因为当时尚未有分析植物体内微量乙烯的良好试验方法。当时很多人认为，乙烯并非是导致果实成熟的原因。20 世纪 50 年代曾采用气相色谱分析法检测出未成熟的果实中有微量的乙烯，其随着果实的成熟含量不

断增加，继而导致果实的完熟，最终证实了乙烯对果实成熟过程的重要作用。

乙烯主要的生理作用是促进植物的成熟、衰老、凋萎、脱落等。在淹水等逆境条件下乙烯能够促进植物不定根的生长，这可能是由于乙烯增强了植物细胞对生长素作用的敏感性，乙烯对膜的透性也有影响，其机制可能是乙烯通过提高细胞内活性氧的含量，加速了膜脂的分解，从而影响了膜上的离子运输。另有研究表明，乙烯能抑制植物细胞 H^+ 的分泌和 K^+ 的吸收。

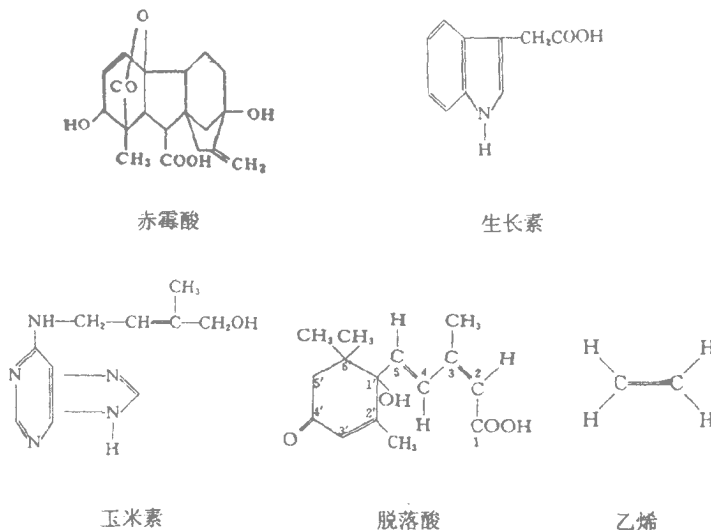


图 1.2 植物激素的分子结构式

Lieberman 等人指出蛋氨酸是苹果组织中的乙烯前体，Adams 和 Yang 已经证实其转化途径为：蛋氨酸 (Met) $\rightarrow$ S-腺苷甲硫蛋氨酸 (SAM) $\rightarrow$ 氨基环丙烷羧酸 (ACC) $\rightarrow$ 乙烯 (ETH)。现已查明，绝大多数植物均遵循着上述途径生成乙烯，然而有研究者认为，植物的乙烯生物合成亦有其他途径，目前，此方面的工作仍在探索之中。1979 年当 Adams 与 Yang 证明了 SAM 形成的 ACC 是乙烯的直接前体后，Boller 等人又进一步证明了 ACC 合成酶的存在。ACC 合成酶以 AdoMet 为底物，其反应具有高度的专一性。ACC 合成酶为可溶性酶，其存在于细胞质中。研究表明，ACC 合成酶活性的高低影响着乙烯的形成，一些影响 ACC 合成酶活性的植物激素与环境胁迫因素亦能左右该酶的活性。催化 SAM 形成的 ACC 合成酶是乙烯生成的主要限制因素，AOA 和 AVG 等也能有效地抑制这个反应。

在逆境中，例如在干旱、高温、机械损伤等条件下，植株体内的乙烯含量剧增，因此会促使器官很快地衰老。此时所生成的乙烯通常称为“逆境乙

烯”，对于采收后的花卉来说，逆境乙烯是导致其品质下降的主要原因之一。确保采后花卉在适宜的条件下进行储存，是减少逆境乙烯生成的有效途径，这对切花作物来说有着重要的意义，因为较难保存的切花在不良环境中是易于生成逆境乙烯的。

第二节 植物生长调节剂

在实际生产中，由于植物激素的来源、价格等方面的原因，使其无法大规模地使用，因此其生理功能与植物激素相类似的植物生长调节剂为人们所采用，并且收到了令人满意的效果。植物生长调节剂是指由人工合成的，能够调控植物生长发育的化学物质。它们在作物生产中可以起到促进插枝生根、调控开花时间、塑造理想株形等作用。常见的植物生长调节剂有矮壮素、 B_9 、高氯酸钾、硫代硫酸银、萘乙酸、青鲜素、乙烯利等，它们主要分为无机化合物与有机化合物两种类型（图 1.3）。



图 1 . 3 植 物 生 长 调 节 剂 的 分 类

1. 矮壮素

【化学名称】2-氯乙基三甲基氯化铵

【别名】CCC、稻麦立、氯化氯代胆碱

【理化性质】纯品为白色结晶，熔点 245°C （分解），易溶于水，可溶于丙酮，微溶于异丙醇，不溶于苯、二甲苯、无水乙醇。化学性质稳定，容易潮解。

【剂型】40%水剂、50%水剂、50%乳油、95%原粉。

【毒性】大鼠口服急性毒性 LD_{50} ，纯品为 670mg/kg ，工业品为 340.9mg/kg 。

【生理作用】矮壮素可以抑制植株茎端初生分生组织中的细胞分裂，因而使植株变矮、茎秆变粗、节间缩短、叶色浓绿。在土壤中矮壮素的药效可维持 3~4 周，其吸湿性强，对许多种植物都非常有效。

2. B_9

【化学名称】N-二甲基氨基琥珀酰胺酸

【别名】阿拉、比久、B-995、二甲胺琥珀酰胺酸、N, N-二甲基氨基琥珀酸、SADH 等。

【理化性质】纯品为白色结晶，具微臭，熔点 $154\sim 156^{\circ}\text{C}$ 。易溶于水，可溶于多种有机溶剂，遇酸易分解，遇碱分解缓慢。

【剂型】90%粉剂、97%粉剂。

【毒性】大鼠口服急性毒性 LD_{50} 为 $8\ 500\text{mg/kg}$ ，对鲤鱼 48 小时的 TLm 为 730mg/L 。

【生理作用】 B_9 能够减少植株体内的赤霉素含量，抑制顶端分生组织的细胞分裂。在栽培中可以使用它来矮化植株，促进花芽分化，防止植株徒长，改善群体的透光性。 B_9 的吸湿性较弱，在土壤中可以保持 3~4 周的药效，其适用范围广，可在植物体内进行非极性运输。当叶面施以 B_9 后，在植株的木质部及韧皮部中均可将它测出。经植物叶柄施用的 B_9 可迅速转移到植株的其他部位，也证明了 B_9 在植株体内是易于转运的。在使用时不要把 B_9 与酸性农药混用，也不能与 Cu^{2+} 进行接触，否则容易产生药害。

3. 多效唑

【化学名称】1-(4-氯苯基)-4, 4-二甲基-2-(1, 2, 4-三唑-1基)戊醇-

3

【别名】氯丁唑、PP₃₃₃

【理化性质】纯品为白色结晶，熔点 $162\sim 164^{\circ}\text{C}$ 。难溶于水，可溶于丙酮、二氯甲烷、氯仿、乙醇等有机溶剂。

【剂型】15% 可湿性粉剂、50% 粉剂、95% 粉剂。

【毒性】对鸟类急性口服 $LD_{50} > 7\ 913\text{mg/kg}$ ，对鱼类 48 小时的 TL_m 为 33.6mg/L 。

【生理作用】多效唑可以通过木质部运输至植株的其他器官，其在体内能抑制赤霉素的合成，降低 α -淀粉酶的活性，提高吲哚乙酸氧化酶的活性，抑制芽顶端分生组织的生长，但是它并不会影响细胞的分化，能够促使植株分蘖，可以提高坐果率，有助于根系生长良好。Sweitlik 等人以苹果幼苗为材料进行研究，其结果表明，多效唑抑制植株对 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 等吸收，同时降低植株的蒸腾作用，但二者间没有显著的相关性，由此推断，多效唑的作用机制可能会直接影响植株根细胞的膜透性。经深入研究发现，赤霉素可以解除多效唑所产生的这些抑制效应。多效唑土施的残留药效不易消除，因此应该予以注意，尽量采用叶面施用。

4. 6-苄基腺嘌呤

【化学名称】6-苄氨基嘌呤

【别名】BA、苄基腺嘌呤、6-BA、普鲁马林

【理化性质】纯品为白色结晶，熔点 235°C 。难溶于水，易溶于丙酮、乙醇等有机溶剂，在酸性介质中较为稳定。

【剂型】化学试剂。

【毒性】小鼠经皮急性毒性 $LD_{50} > 5\ 000\text{mg/kg}$ ，对鲤鱼 48 小时的 TL_m 为 40mg/L 。

【生理作用】6-苄氨基嘌呤能够促进蛋白质的合成，诱导芽分化，延缓叶片衰老，促使细胞分裂。例如它对菊花、香石竹切花有着抑制呼吸代谢和延缓衰老的作用。6-苄氨基嘌呤被植株吸收后能够抑制枝叶的生长，对某些蕨类植物来说，它可以促使其离体根分化出新生芽。

5. 硫代硫酸银

【化学名称】硫代硫酸银

【别名】STS

【理化性质】纯品为乳白色粉末，遇光变黄。不溶于水。在高温时分解为银、硫氧化物。

【剂型】硫代硫酸银的化学性质不稳定，因此使用者需要自行制备，其方法为先将 0.339g 的 AgNO_3 溶于少量水中，并定容至 500mL ，再把 0.248g 的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 溶于少量水中，并定容至 500mL ；在剧烈搅拌下，将所配制的硝酸银溶液缓慢地倾入硫代硫酸钠溶液中。所获的 STS 浓度约为 1mmol/L 。此溶液呈现乳白色，这是由于其间的硫代硫酸银悬浮颗粒所致。

硫代硫酸银悬浊液极不稳定，在遇光后便会分解而变色，如制备的 STS 不立即使用，则应将其贮藏在棕色的玻璃瓶或塑料容器中，在完全黑暗的状态下于 20℃ 左右的温度条件下加以贮藏，其储期最好不要超过 4 周。虽然用上述方法配制的硫代硫酸银溶液的数量较少，但是可以根据不同用量进行调整，以满足实际使用的需要。

【毒性】本品有毒。

【生理作用】硫代硫酸银即银的硫代硫酸盐络合物，它是目前被公认的制备简单、效果显著的乙烯拮抗剂，近年在花卉保鲜上广泛使用。因为此种化合物中的银不会轻易地以金属银的形式或氯化物的形式从溶液中析出，因此可以将银的效果发挥到最大限度。STS 通常以悬浮液加以使用，将它喷洒在植株表面或添加在保鲜液中，则可以有效地拮抗并减轻乙烯对花卉产品的伤害。

硫代硫酸银使用安全，移动性强，在很多切花的运输或使用前采用 4mmol 的 STS 溶液浸蘸切花基部 5~10 分钟可以使其寿命显著延长。用 STS 溶液进行处理可以防止乙烯利的有害作用，并延长了香石竹的瓶插寿命，用 STS 处理切花大约 1 小时，即可显著地延长其寿命。据 Reid 等人报告用 4mmol 的 STS 对香石竹进行 20 分钟的处理或用 1mmol 的 STS 进行 24 小时的处理，其瓶插寿命与含有蔗糖、弱酸等成分的商品保鲜剂 Everbloom 的效果相同。将 STS 的预处理和商品保鲜剂的使用结合起来，可使香石竹的瓶插寿命达到比浸于水中者的瓶寿命增加 4 倍的效果，目前用 STS 对香石竹进行预处理已经成为花卉业所采用的既有效又省钱的方法。与之相比，对于 STS 的研究工作是十分有意义的，因为在已经研究过的用做花卉保鲜剂的化合物中，几乎没有能作为商品应用者。使用硫代硫酸银进行预处理可以防止乙烯对金鱼草切花所造成的小花脱落，将 STS 施用于对乙烯不很敏感的月季时，也可以防止添加在切花保鲜液中乙烯利的有害作用，但是它延长月季切花的瓶插寿命之效果却比不上水对照物。

为盆花的叶面喷撒 STS 可以减少因乙烯引起的花芽枯萎、花朵脱落等现象发生，其施用时间可以在 2~3 周前。需要注意的是所使用的 STS 浓度不当，则会对盆花的叶片、花朵造成损伤。在使用 STS 乙烯拮抗剂时，还要注意所处理盆花的健康状况，对于感染了某些病害的盆花而言，使用 STS 进行处理往往会导致其受到进一步的损伤，因此使用 STS 进行乙烯拮抗处理仅限于健康茁壮的盆花。

6. 萘乙酸

【化学名称】 α -萘乙酸