

第一章 植物激素的生理作用及其相互作用

第一节 生长素的生理作用

一、促进营养器官的伸长

生长素(IAA)对营养器官纵向生长有明显的促进作用。如芽、茎、根三种器官，随着浓度升高，器官伸长递增至最大值，此时生长素浓度为最适浓度，超过最适浓度，器官的伸长受到抑制。不同器官的最适浓度不同，茎端最高，芽次之，根最低。由此可知，根对 IAA (生长素) 最敏感，极低的浓度就可促进根生长，最适浓度约为 10^{-10}M 。茎对 IAA 敏感程度比根低，最适浓度约为 10^{-5}M 。芽的敏感程度处于茎与根之间，最适浓度约为 10^{-8}M 。所以能促进主茎生长的浓度往往对侧芽和根生长有抑制作用(图 1-1)。

二、促进细胞分裂和根的分化

生长素与细胞分裂素配合能引起细胞分裂，而且生长素也能单独引起细胞分裂。如早春树木形成层细胞恢复分裂活动是由顶芽产生的生长素下运而引起的。

生长素对器官建成的作用最明显的是表现在促进根原基形成及生长上。苗木插枝在其基部产生不定根，对木本植物来说，主要是由新的次生韧皮部组织分化，但也可由其他组织分化形成，如形成层、维管射线及髓部。吲哚丁酸(IBA)在生长素中促进生根的效果最好，

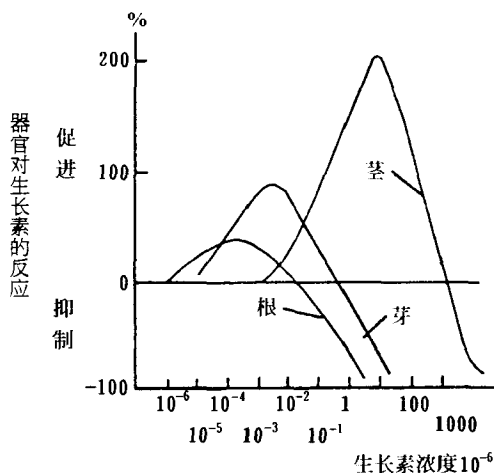


图 1-1 不同器官伸长对 IAA 浓度的反应

在应用方面发现 IBA (吲哚丁酸) 与萘乙酸 (NAA) 比吲哚乙酸 IAA) 稳定, 效果更好。

三、维持植物的顶端优势

正在生长的植物茎端对侧芽的生长有抑制作用, 这种现象称为顶端优势。棉花用缩节胺控制顶端生长或打顶后, 侧芽大量发生。

四、抑制离区的形成

棉花与果树落花、落果及落叶, 是双子叶植物的普遍现象。棉花的蕾铃脱落, 与营养物质的供给有关, 也与激素水平有关。当蕾铃柄的基部, 远轴端生长素含量高, 近轴端生长素含量低时, 抑制离层内纤维素酶、果胶酶的活性, 因而抑制离层细胞的分离, 蕾铃不脱落; 反之, 当近轴端生长素含量高, 远轴端生长素含量低时, 则使果胶酶和纤维素酶活性提高, 促进离层的分离, 致使蕾铃脱落。

五、促进果实发育及单性结实

植物开花受精之后，子房中的生长素含量提高，从而促进子房及其周围组织的膨大，加速了果实的发育。如雌蕊未经受精而子房能及时获得 IAA，也能诱导某些植物无籽果实的形成。如在授粉前用生长素喷或涂于柱头上，不经授粉最终也能发育成单性果实。如胡椒、西瓜、番茄、茄子、冬青、西葫芦、樱桃和无花果等。

第二节 赤霉素的生理作用

一、促进细胞分裂和茎的伸长

早春时，许多落叶树种形成层分裂活动受赤霉素的促进，有丝分裂的细胞数目比对照显著提高。赤霉素对水稻节间伸长尤其明显。除水稻之外，用赤霉素（GA）处理植株能使茎伸长加快，但节间数目不变，所以在叶茎类作物如芹菜、莴苣、韭菜、牧草、苕麻、茶的生产上，可以使用赤霉素促进生长。赤霉素最显著的特点是能使矮生突变型或生理矮生植株的茎伸长。如豌豆和玉米的某些矮生突变型品种，由于缺少合成赤霉素（GA）的遗传基因，不能合成内源的赤霉素（GA），所以施以适量外源赤霉素，可达到正常生长高度。有些两年生植物在经受冬季低温之前，茎不能伸长而呈莲座状，施用赤霉素可促进它们的正常生长，使生理矮生现象得到克服。

二、促进抽苔和开花

赤霉素对某些植物有代替低温和长日照的作用。如芹菜要求低温和长日照两个条件得到满足，才能抽苔和开花，但如施用 GA₃ 处理即能诱导其抽苔、开花。产生此作用有两种不同反应。一种是施用 GA₃ 能诱导绝大多数要求低温和长日照的植物拔节抽苔，并能使其中的许多植物在抽苔后开花。另一种是使有些植物茎只能伸长不

能开花，而越冬后或在长日照下开花的植物则是边抽苔边开花。

三、诱导水解酶的合成并促进种子萌发

在大麦吸胀后 12 ~ 14h 胚内释放出相当数量的赤霉素 经过胚乳扩散到糊粉层细胞中诱导糊粉层细胞合成并释放出 α -淀粉酶和蛋白酶。此外还合成许多其他水解酶，胚乳内的不溶性的贮藏物质在各种水解酶作用下降解，转化为可溶性的碳水化合物和氨基酸分子供胚生长发育所需。用赤霉素处理种子能促进萌发。有些需光种子如莠苳用红光催芽最有效，如用 $100\alpha^{-6}\text{GA}_3$ 处理，在暗环境下可达到红光催芽的同样效果。对许多植物的休眠种子，赤霉素可以代替低温促进萌发，还可以促进树木与马铃薯休眠芽的萌发。在生产上，刚刚收获的马铃薯块茎处于休眠状态，为了一年两季栽培的需要，可用 $0.5 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-6}$ 的 GA_3 浸薯块解除休眠、催芽供栽培用。

四、促进坐果

在果树上用 $10 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}\text{GA}_3$ 于花期喷施，可提高苹果和梨的坐果率。棉花盛花期用 $20 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}\text{GA}_3$ 点涂在花冠或开花 1 ~ 2 天的幼铃上，可防止落花落铃。

五、促进单性结实

如在开花后一周，用 $200 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}\text{GA}$ 喷洒玫瑰香葡萄花穗，可使果实无籽率达 60% ~ 90% 采收期提早 1 ~ 2 周 果粒甜度增加。用 $200 \times 10^{-6}\text{GA}_3$ 喷洒无核葡萄，可使果粒增大，产量提高。

六、控制性别表现

用 GA_3 处理黄瓜苗，能促进雄花的形成，对雌花的形成有抑制作用，使用浓度为 10^{-6} 处理时期以 4 ~ 5 叶期为宜。

第三节 细胞分裂素的生理作用

一、促进细胞分裂及其横向增粗

细胞分裂素最显著的生理作用就是能促进细胞分裂。如将烟草、黄豆及许多双子叶植物茎的髓部切下培养在含有 IAA 及必需元素的培养基上，就能形成一堆未分化、排列疏松的多核细胞即愈伤组织，这些细胞不分裂，当加入细胞分裂素（CTK）后，细胞分裂明显受到促进。在自然界中有某些植物叶片上出现的冠瘿瘤，以及枣树、泡桐树上的丛枝病，都是由于寄生菌进入寄主后，分泌出 CTK 类物质而促进寄主局部细胞分裂加快的结果。细胞分裂素另一作用特点就是它能诱导细胞扩大，如由 IAA 引起的豌豆茎切段的伸长，当加入 CTK 时则细胞伸长受到抑制，而促进细胞横向扩大，茎加粗。又如用 $6-BA(100 \times 10^{-6})$ 处理萝卜幼苗子叶，子叶面积明显扩大。

二、诱导器官分化

Skoog 在烟草髓组织培养时发现，生长素与细胞分裂素混合使用对愈伤组织的根或芽的分化能起调控作用，当激动素 / 生长素比值高时，愈伤组织可分化成芽、叶片和茎。如细胞分裂素 / 生长素的比值低时，则能促进根的形成；如两者的比例处于高、低之间，可维持烟草愈伤组织不分化；如果两者比例选择适当，可以从许多种双子叶植物的愈伤组织中分化发育成一株新个体。由上述可知，在诱导器官分化作用中，细胞分裂素的主导作用是诱导芽的分化。以小块秋海棠叶片扦插时，通常叶缘长出根和芽，若用细胞分裂素处理，根生长受抑制，芽生长被促进。

三、解除顶端优势，促进侧芽生长

细胞分裂素能抑制植物生长的顶端优势，而使侧芽生长受到促

进。若以细胞分裂素滴加到豌豆幼苗第 1 片真叶叶腋呈潜伏状的侧芽上，在顶端优势存在下，则腋芽生长发育加快。这是由于细胞分裂素作用于侧芽后，使侧芽加快向茎维管束分化成输导组织的速度，使营养物质快速运到侧芽而导致侧芽生长发育

四、延缓叶片衰老

叶片衰老过程中，叶绿素、蛋白质、RNA 等降解，含量下降，用细胞分裂素处理，可以延缓其下降速度。例如，在离体的烟草叶片上，局部涂以激动素溶液，几天后处理部位仍保持鲜绿，而其他部位则衰老变黄。细胞分裂素延缓衰老，是由于抑制蛋白酶、核糖核酸酶的降解作用。此外，细胞分裂素还有吸引物质向处理部分积累作用，维持营养物质。

第四节 脱落酸的生理作用

一、促进器官脱落

脱落酸 (ABA) 能诱导许多植物落叶落果。外施脱落酸到完整的植物上，对花果的脱落作用较为有效。例如，其能有效地加速葡萄、柑桔、苹果等成熟果实和葡萄花的脱落，对于叶片的脱落效果较差，只能在非常高的浓度 (2 ~ 4mM) 时，才有促进作用。此外，在棉花幼铃发育过程中，ABA 含量达高峰，幼铃脱落率随之达最高。在棉铃开裂时，幼铃脱落酸含量出现第 2 次高峰。由此可见，棉铃的脱落受 ABA 的调节。

二、促进气孔关闭

在干旱条件下，促进气孔关闭以控制水分散失，是脱落酸的一个重要生理功能。因水分胁迫，使叶水势下降，增大叶绿体膜对脱落酸的透性，叶绿体渗出的脱落酸引起气孔关闭。叶肉组织叶绿体中

贮存的 ABA 下降后, 会合成 ABA 进行补充。Harris 等人 1990 年研究结果认为, 水分胁迫至少引起 ABA 含量提高 20 倍, 经水分胁迫的根系同样形成较高的 ABA, 而后通过木质部运输到叶片, 使叶片气孔关闭。其作用效应是由于 ABA 在保卫细胞原生质膜外的自由空间起作用, 关键是 ABA 降低了 ATP- 质子泵的活力, 切断了 H^+ 和 K^+ 的交换通道, 使水分外渗膨压降低, 气孔关闭一旦水势恢复正常, 叶绿体停止释放 ABA, ABA 合成速率即显著下降。但有人试将干旱引起的棉花叶片气孔关闭的棉株的根系, 一半置于水中, 一半仍处于干旱状态, 棉叶气孔仍不张开, 说明部分根系干旱所形成的 ABA 足以使气孔关闭。这对棉花双行畦栽培, 其灌水穿沟过, 可能不能解决气孔关闭问题, 应值得考虑。从这个角度看, 以单行畦为宜, 有利灌水

三、促进休眠

1. 诱导芽休眠 Wareing 和他的同事发现当芽休眠发生在日照相对短的夏末时, 叶片和芽 ABA 水平相对提高。ABA 直接施用到未休眠芽引起芽的休眠, 说明 ABA 是一种芽休眠的激素, 其在叶片内合成并转移到芽诱导休眠。用 ^{14}C 标记 ABA 试验表明, 一旦进入休眠由叶片运入芽内 ABA 数量就很少。

2. 抑制种子萌发 在许多种植物中, ABA 是种子萌发的一种有效抑制剂。如果实和种子成熟后含有 ABA, 而使种子萌发受到抑制而当休眠打破时(如经曝光或低温处理)种子内 ABA 水平下降。

四、抑制生长和加速衰老

ABA 抑制叶、胚、芽、鞘、茎、下胚轴和根的生长。当茎生长受 ABA 抑制时, 节间缩短。它也能抑制或降低组织培养物的生长速度。

ABA 促进衰老最明显表现在叶片衰老上。主要是使叶绿素分解, 叶片逐渐变黄。如果用 $1 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$ 的 ABA 对非离体叶

进行喷雾或涂抹，几乎不能促进其衰老。其在剪取下来的叶片上施用 ABA，则能显著促进其衰老。又如在菜豆的嫩叶段给予 ABA，对 RNA 合成不产生影响。若把幼叶切取下来，经 20h 左右使年龄稍增大后，再把它制成切段，则其 RNA 的合成就能受到 ABA 的抑制。因此 Osborne 认为，ABA 能促进已经开始衰老的过程加速进行，却不能成为诱发衰老的起因。

五、提高植物的抗逆性

Ray 等人在盐胁迫研究中，发现 NaCl 和 ABA 对栽培烟草的细胞和整株植物的作用中，盐胁迫引起若干新蛋白质形成，特别是一种低分子量的蛋白质——渗透素大量积累有助于抗胁迫能力的提高。

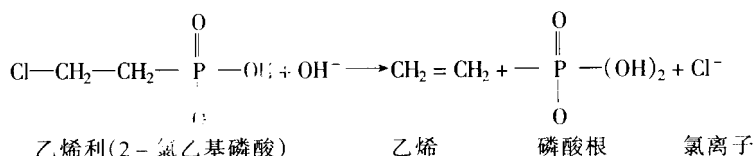
如有一种番茄变种，ABA 在其叶内合成受抑制，ABA 含量只有正常品种的 1/10，使其叶片气孔只张开不能自动调节关闭，而导致失水过多呈萎蔫状态。若每天对其喷施 ABA，在几天之内叶片气孔开闭则呈正常状态，控制了水分蒸腾量，提高了抗水分胁迫的能力。

第五节 乙烯的生理作用

一、催熟果实

幼嫩果实组织中乙烯含量很低，当果实成熟时，乙烯的形成迅速增加，由于乙烯能使原生质膜透性增强，而使水解酶外渗，此外还使呼吸作用增强，导致果内有机物强烈转化，最后达可食程度。不论果实呼吸是跃变型还是非跃变型，乙烯都有催熟效果。

由于乙烯是气体，不便于生产上应用，市场上作为商品出售的是乙烯利，是酸性液体，一般含量为 40%。乙烯利在 pH 值高于 4 时分解放出乙烯。植物细胞内 pH 值均高于 4，因此乙烯利水溶液进入植物组织后，分解释放出乙烯。



当番茄果实进入转色期，采下后用乙烯利 $1000 \times 10^{-6} \sim 4000 \times 10^{-6}$ 浸果 1min 取出沥干置于 22~25℃ 环境下经 2~3 天后大部分果实转为红色，红果比例比对照增加 1 倍以上。

二、促进脱落

乙烯对于叶片和花果的脱落有促进作用，其在叶或花组织衰老及受伤时产生，并作用于叶柄和花梗基部的离区，使离区所含的纤维酶浓度比两侧高得多，离区的果胶酶浓度也同时增高。这两种酶活性增强导致细胞纤维素和中胶层成分的降解，这样使离区叶柄基部的结合强度降低，分离程度增大，以致叶片在稍加外力（风和重力）作用下脱落。

三、促进衰老

乙烯在促进植物的衰老中起重要作用。例如，冬青离体叶片置于黑暗中数月不衰老变黄，加入乙烯利，即迅速衰老。用 700×10^{-6} 乙烯利喷洒接近采收的烟草，可促进转黄，提早成熟，改善品质。

四、控制伸长生长

乙烯对一般植物的根、茎、侧芽伸长都有抑制作用，尤其是旱生植物在淹水条件下，茎伸长受抑制更明显。这是因为水淹部分在缺氧条件下，抑制 ACC(乙烯的前体) 转变为乙烯，而 ACC 从根上到非淹水部分在 O_2 供应下转变成乙烯，乙烯的积累抑制茎的伸长。

第六节 植物激素的相互作用

一、生长素与赤霉素

1. 生长素与赤霉素的相互作用 生长素与赤霉素彼此增效作用是明显的。用适当浓度 GA 配合 IAA 喷施多种植物，能促进茎生长，若单独喷施 IAA 效果低于 GA。两者混合配制，施用效果较好。有人用 $GA_3 10^{-4} M$ 和 $IAA 10^{-5} M$ 顺序处理矮生豌豆茎切段时，其伸长幅度比单用一种激素处理时要大得多，说明它们的增效作用是存在的。它们的互促进作用见图 1-2。

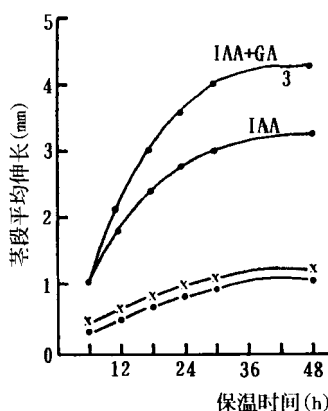


图 1-2 生长素和赤霉素对离体豌豆节间切段伸长生长的效应

2. 生长素与赤霉素在黄瓜性别分化上的相互拮抗关系 IAA 与 GA_3 相互拮抗关系，主要表现在控制花的性别上，如 IAA 促进黄瓜雌花分化， GA_3 促进其雄花分化。如 IAA 处理过的黄瓜秧，再 GA_3 处理，则生长素 (IAA) 的作用可被抵消，反之亦然。

二、生长素与细胞分裂素

1. 生长素与细胞分裂素的相互作用 生长素与细胞分裂素之间的增效作用表现在 CTK 与 IAA 同时存在时，CTK 的作用持续时间能延长。另一相互促进关系是根据 Skoog 及其同事发现的，在烟草髓组织培养中，CTK 和 IAA 加入之数量比例高时，愈伤组织中产生分生细胞再进一步分化为芽、茎和叶。如 CTK/IAA 比值处于中间水平

时，则不分化新器官而只产生愈伤组织。CTK 能加强 IAA 的极性运输，这有利于增强 IAA 的作用。

2. 生长素与细胞分裂素的拮抗作用 两者之间的拮抗关系表现在 CTK 促进双子叶植物侧芽发育，而 IAA 则是抑制侧芽发育。在控制顶端优势中 CTK/IAA 的比值高时有利于侧芽发育，而比值低的 CTK/IAA 有利于顶端优势的保持。但激动素、玉米素和苄基嘌呤等能抑制生长素的促进作用。如图 1-3 所示， $4\mu\text{M}$ 的激动素分别在 3h、5h 时加到生长素处理的茎段即产生抑制作用。

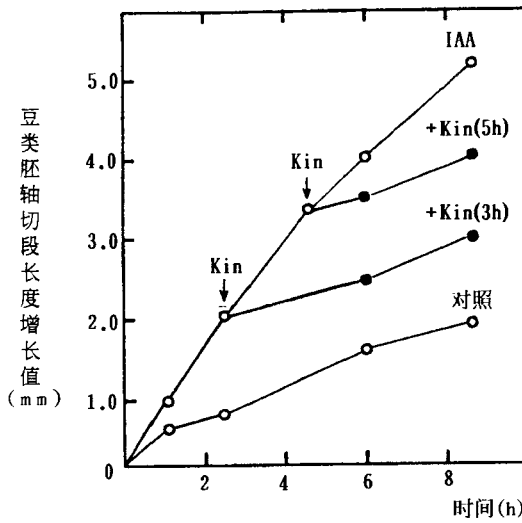


图 1-3 不同时间加入激动素对生长素诱导生长的拮抗作用
Kin - 激动素 Salisbury 等, 1992 年)

三、生长素与乙烯

1. 生长素对乙烯的促进作用 生长素和所有人工合成生长素都能提高乙烯的产量。生长素诱导乙烯产生的滞后期约 30~60min，此滞后期因植物种类、组织及生长素浓度不同而异，但其数量反应曲

线变化趋势近似。生长素在 10^{-7}M 以下无反应, 阈值是 10^{-6}M 。此后乙烯生成速度随生长素浓度增高而增高, 乙烯产量峰值约出现在 $10^{-5} \sim 10^{-4}\text{M}$ 之间, 然后下降到生长素浓度达 10^{-3}M 为止。当生长素浓度达 10^{-6}M (阈值) 伸长生长下降 此时组织内开始诱导乙烯生成 并迅速上升 如此时 IAA 浓度持续增高, 乙烯大量生成达高峰期 (图 1-4)。

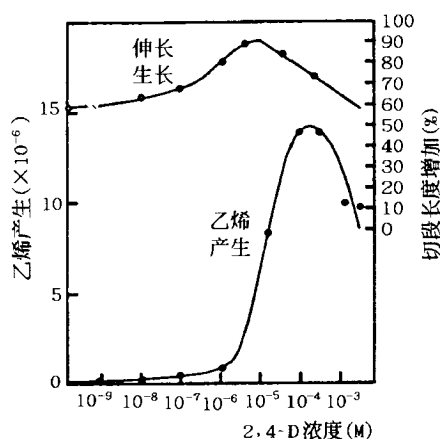


图 1-4 不同浓度 2,4-D 对大豆下胚轴
离体切段生长与乙烯合成的影响

2. 乙烯对生长素的抑制作用 许多 IAA 作用实际上被乙烯代替。如在双子叶幼苗中反映了乙烯抑制 IAA 的作用。

(1) 抑制 IAA 合成 : IAA 诱导乙烯生成是 Zimmern 和 Wilcoxon 发现的, 这种作用是由于 IAA 过高浓度诱导乙烯生成, 乙烯增多反过来提高组织内部 IAA 氧化酶活性, 进而使 IAA 促进伸长的作用受抑制。Valdovinos 等人间接证明了这一点。当豌豆用乙烯处理 10h 后, 组织内 IAA 含量减少。

(2) 乙烯影响生长素运输的效应: Burg 等曾用乙烯处理豌豆上胚轴切段并施入 ^{14}C -IAA, 5h 后 IAA 的移动量受到抑制, 这移动量被抑制程度随着乙烯处理时间增加而提高, 经 24h 处理后, 生长素移动几

乎完全停止（图 1-5），说明乙烯抑制生长素的极性运输。

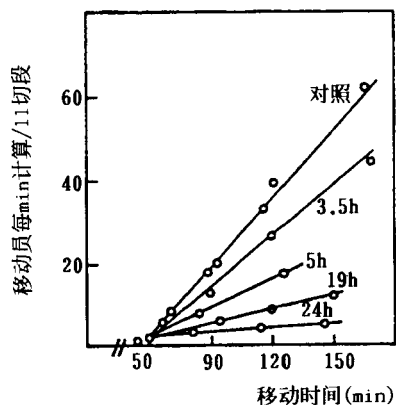


图 1-5 乙烯对 ^{14}C -IAA在黄化豌豆胚轴 3.5mm 上极性移动的作用 将幼苗用乙烯处理 3.5~24h 后制成切段 测定其移动情况)

乙烯被过量生长素诱导，诱导的乙烯量达一定水平时反过来又抑制生长素的作用，体现了它们之间的反馈关系，正是此种“反馈”关系起到了调控植物适度生长的作用。

四、赤霉素与脱落酸拮抗

从角豆树 (*Coratonia siliqua*) 的果实中测定出一些抑制 GA_3 并促进枝、叶伸长的抑制物质，其中一种能抑制 GA_3 诱导大麦种子内 α -淀粉酶的生成。此种物质则是 ABA。还有利马扁豆内的抑制物质也含有 ABA。另一拮抗作用表现在 GA_3 可打破芽或种子休眠，而 ABA 则是促进休眠。其拮抗机理还不太清楚。

第二章 植物生长调节剂

第一节 植物生长促进剂

一、吲哚乙酸 IAA)

吲哚乙酸即是生长素，是植物体内最早发现的一种激素，现已能人工合成，市面有售。

1. 性质 吲哚乙酸为无色结晶，见光后迅速被氧化成玫瑰色，活性降低，应放在棕色瓶中贮藏或在瓶外用黑纸遮光。熔点 $164 \sim 165^{\circ}\text{C}$ ，微溶于水、苯和氯仿，易溶于乙醇、乙醚、丙酮和乙酸乙酯。在酸性介质中极不稳定，所以吲哚乙酸在热酸条件下失去活性；当 pH 值低于 2 时，即使在室温下也会失去活性。吲哚乙酸在碱性溶液中比较稳定。其钾盐和钠盐易溶于水，而且较稳定。吲哚乙酸水溶液若暴露在光下，将被分解破坏，实践应注意这个问题。

2. 用途 目前主要用于组织培养，诱导愈伤组织和根的形成。

二、吲哚丁酸 IBA)

1. 化学名称 吲哚 - 3 - 丁酸

2. 性质 纯品为白色或微黄色晶粉，稍有异臭，熔点为 $123 \sim 125^{\circ}\text{C}$ ，不溶于水和氯仿，能溶于醇、醚和丙酮等有机溶剂，是一种高效的生长调节物质。

3. 毒性 小鼠腹膜注射 LD_{50} (每 kg 体重的半致死剂量) 为

100mg/kg 对人畜低毒。

4. 用途 主要用于促进插条生根，作用较强烈，持效期较长，诱导的不定根多而细长。

三、萘乙酸 NAA)

1. 性质 纯品为无色无味针状结晶。性质稳定，但易潮解，见光变色，应避光保存，萘乙酸分 α 型和 β 型， α 型的活力比 β 型强 通常所说的萘乙酸即指 α 型。熔点为 $134.5 \sim 135.5^{\circ}\text{C}$ 。不溶于水，微溶于热水，易溶于乙醇、乙醚、丙酮、苯和醋酸及氯仿。萘乙酸钠盐能溶于水，在一般有机溶剂中稳定。

2. 剂型 99%精制粉剂和 80%粉剂，2%钠盐水剂，2%钾盐水剂。

3. 毒性 对人畜无毒，大鼠口服 LD_{50} 为 1000mg/kg，小鼠为 670mg/kg，兔急性皮下注射 LD_{50} 为 5000mg/kg。

4. 用途 促进植物生长、插枝生根，疏花疏果，防止落花落果，促进开花，抑制抽芽，促进早熟和增产等。

四、萘氧乙酸 NOA)

1. 性质 纯品为白色结晶，也分 α 型和 β 型，其 β 型活力较强。难溶于冷水，微溶于热水，易溶于乙醇、乙醚和醋等。

2. 毒性 对哺乳动物低毒。

3. 用途 生理作用似萘乙酸，防止果实脱落。

五、萘乙酸甲酯 (MENA)

1. 性质 无色油状液体，不溶于水，易溶于有机溶剂。

2. 用途 抑制发芽，延长休眠期。

六、吲熟酯 IZAA)

性质 纯品为白色针状结晶，熔点 $75 \sim 77.6^{\circ}\text{C}$ ，难溶于水，易

溶于甲醇、丙酮、乙醇等。在一般条件下贮藏较稳定，遇碱易分解。

2. 毒性 大白鼠口服 LD_{50} 为 4800 ~ 5210mg/kg 小白鼠为 1580 ~ 2740mg/kg。

3. 剂型 94% 粉剂 ,20% 乳油。

4. 用途 主要用于疏花疏果，促进柑桔果实成熟和改善品质。

七、2,4-D

1. 化学名称 2,4-二氯苯氧乙酸

2. 性质 纯品为白色结晶，无臭无味，不吸湿，熔点 141℃。工业产品为白色或浅棕色结晶，稍带酚气味，熔点为 135 ~ 138℃ 难溶于水 在 20℃ 时溶解度为 540×10^{-6} ,25℃ 时为 890×10^{-6} 能溶于乙醇、乙醚、丙酮和苯等，在常温条件下，性质稳定。2,4-D 本身是一种强酸，对金属有腐蚀性作用。与各种碱类作用生成相应的盐类，成盐后易溶于水。与醇类在硫酸催化下生成相应的酯类，不溶于水。遇紫外光照射会引起部分分解。2,4-D 在苯氧化合物中活性最强，比吡啶乙酸大 100 倍。

3. 剂型 80% 可湿性粉剂 ,72% 丁酯乳油 ,55% 胺盐水性剂 ,90% 粉剂等。

4. 毒性 大白鼠口服 LD_{50} 为 500mg/kg。

5. 用途 2,4-D 用途随浓度而异，效果不一。在较低浓度 (0.5×10^{-6} ~ 1.0×10^{-6}) 下是植物组织培养的培养基成分之一；在中等浓度 ($1 \sim 25 \times 10^{-6}$) 可防止落花落果，诱导无籽果实形成和果实保鲜等；在高浓度 (1000×10^{-6}) 可杀死多种阔叶杂草。

八、防落素 PCPA 或 4-CPA)

1. 化学名称 对氯苯氧乙酸

2. 性质 纯品为白色结晶，略带刺激臭味，熔点 157 ~ 158℃ 微溶于醇、醚等有机溶剂，能溶于热水，性质稳定。

3. 剂型 90% 粉剂 ,99% 可湿性片剂 ,1%、2.5% 和 5% 水剂。

4. 毒性 对人畜低毒，大白鼠急性口服 LD_{50} 为 2000mg/kg 小白鼠急性口服毒性为 1960mg/kg。

5. 用途 防止番茄等茄果类蔬菜落花落果，促进果实发育，形成无籽果实 提早成熟 增加产量 改善品质等。

九、增产灵

1. 化学名称 4-碘苯氧乙酸

2. 性质 纯品为白色针状或磷片状结晶，无臭无味，熔点 154 ~ 156℃ 微溶于水、乙醇、氯仿及苯中 遇碱性物质生成盐。性质稳定，可长期保存，其钠盐可溶于水。

3. 剂型 工业品含量在 95% 以上，橙黄色粉状固体，带刺激性臭味。

4. 毒性 在使用浓度范围内对人畜无害。小白鼠急性口服 LD_{50} 为 1872mg/kg。

5. 用途 主要作用是促进生长和发芽，防止落花落果，提早成熟和增加产量等。

十、赤霉素 (GA)

赤霉素是从赤霉菌培养液中提取的一类化合物，现发现 125 种，其中以 GA_3 (赤霉酸) 活性最高，应用最广，市售的赤霉素主要是赤霉酸及 GA_4 、 GA_7 、 $GA_4 + GA_7$ 的混合剂。

1. 其他名称 九二〇

2. 性质 纯品为白色结晶，工业品为白色粉剂，熔点 233 ~ 237℃，易溶于醇类、丙酮、醋酸乙酯、冰醋酸等有机溶剂中，难溶于水，不溶于石油醚、苯和氯仿等。使用赤霉素原粉时，先用少量乙醇或烧酒溶解，然后加水至需要浓度。在不同的 pH 溶液中，其稳定性不同：在 pH3 ~ 4 条件下，其水溶液最稳定；在中性或微碱性条件下，稳定性明显下降；在碱性溶液中被中和失效，故应用时不能与碱性农药（如石硫合剂等）混合使用。赤霉素溶液超过 50 时会逐渐失去