

第八章 植物的生长物质

第一节 植物生长物质概述

第二节 生长素类

第三节 赤霉素类

第四节 细胞分裂素类

第五节 脱落酸

第六节 乙烯

第七节 其他植物内源生长物质

第八节 植物生长物质的应用



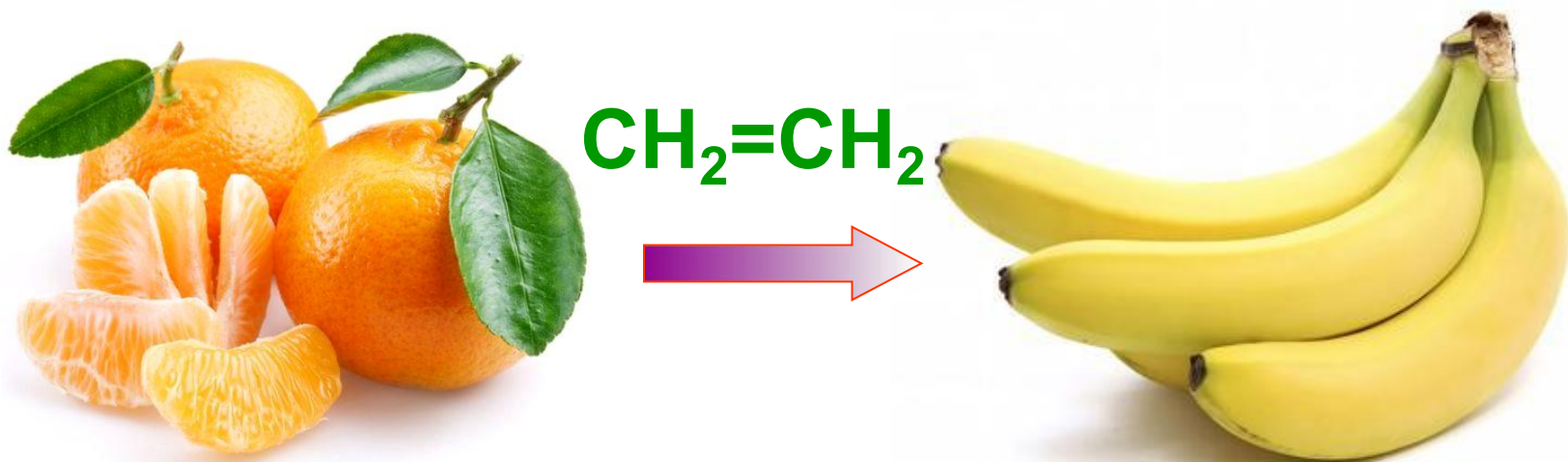
第六节 乙 烯

一、乙烯的发现

19世纪中叶：欧洲 燃气街灯附近的树木早落叶。

1901年：俄国学者证实是由煤气中的乙烯导致。

1910年：发现橘子产生的气体能够催熟香蕉。



1934年英国的Gane证实植物组织能产生乙烯。

1959年,气相色谱被应用于乙烯的研究。

1965年,乙烯被确定为植物的天然激素。

内生性 可移动性 微量性

有机物质

海南大学应用科技学院





蓝色新闻网 www.bsypjrb.com



乙烯的概况:

随着**果实的成熟**, 乙烯的产生量不断增加。

高等植物的**各个部位**都能产生乙烯

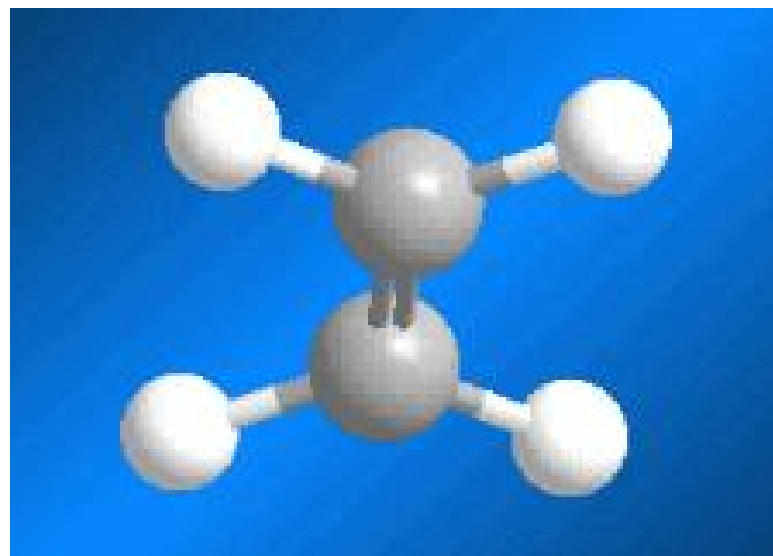
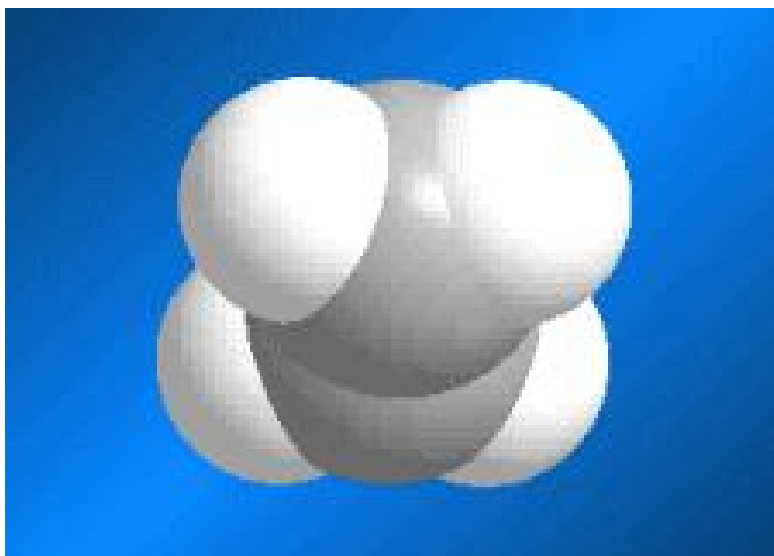
从**种子萌发到衰老**都具有重要的调节作用

种子植物、蕨类、苔藓、真菌和细菌都产生乙烯



乙烯

$\text{CH}_2=\text{CH}_2$



乙烯的物理化学性质：

乙烯是一种**不饱和烃**，其化学结构为 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$

植物激素中分子结构**最简单**的一种

乙烯在常温下是**气体**，分子量**28**，轻于空气

极低浓度($0.01\sim 0.1\mu\text{L/L}$)就能产生生理效应



乙烯利(ethrel):

乙烯在常温下为气体,易挥发,难溶于水,
使用极不方便

在生产中常用乙烯释放剂——**乙烯利(ethrel)**

- ① 乙烯利在**pH3.0**以下稳定
- ② 在**pH4.1**以上时,开始分解释放乙烯
- ③ 随**pH**升高,乙烯释放加快
- ④ 生产上常用的是**40%**的水剂,酸性棕色

40%乙烯利水剂

通过ISO9002质量体系认证

通用名: ethephon

登记证号: PD84125-3

生产批准证书号: HNP32039-E0078

产品标准号: HG2312-1992

生产日期(批号)见瓶盖

40%乙烯利水剂

通过ISO9002质量体系认证

登记证号: PD84125-3

生产批准证书号: HNP32039-E0078

产品标准号: HG2312-1992



生产批准证书号: HNP32039-E0078

乙烯利水剂

通过ISO9002质量体系认证

通用名: ethephon

登记证号: PD84125-3

生产批准证书号: HNP32039-E0078

产品标准号: HG2312-1992

生产日期(批号)见瓶盖

%乙烯利水

通过ISO9002质量体系认证

通用名: ethephon

登记证号: PD84125-3

生产批准证书号: HNP32039-E0078

产品标准号: HG2312-1992

生产日期(批号)见瓶盖







二、乙烯的分布、生物合成及运输

(一) 乙烯在植物体内的分布

高等植物的**各种器官**都能产生乙烯

乙烯的产生量较大的组织和器官：

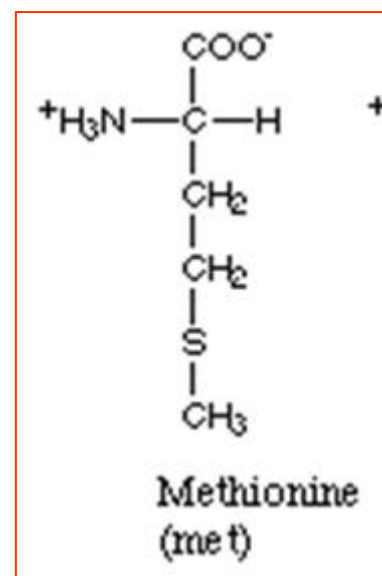
- ①分生组织
- ②萌发的种子
- ③**凋谢**的花朵
- ④**成熟过程**中的果实



(二) 乙烯的生物合成过程

合成场所：细胞的液泡膜内表面,并需要完整的膜结构

合成前体：蛋氨酸

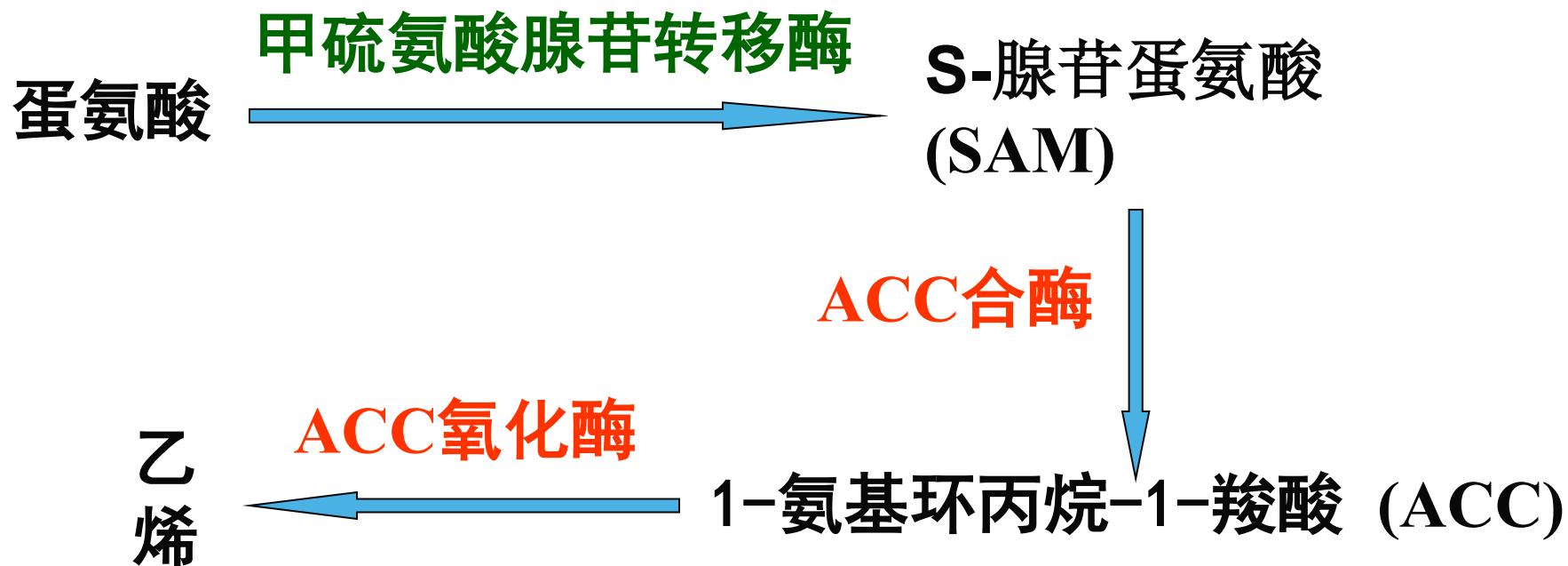


重要的中间产物：

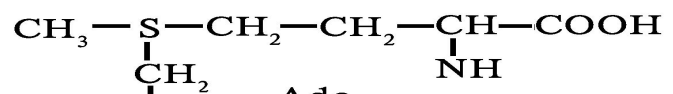
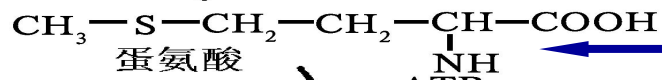
S-腺苷蛋氨酸(SAM)

1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)

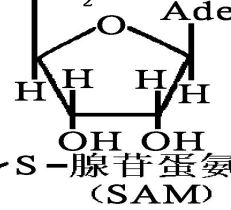
(二) 乙烯的生物合成过程



蛋氨酸

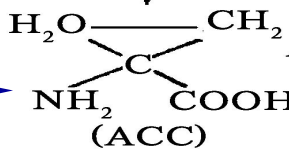


S-腺苷蛋氨酸 (SAM)



ACC合酶

ACC丙二酰基转移酶



ACC 丙二酰基转移酶

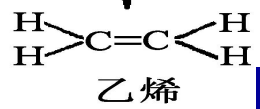


1-氨基环丙烷-1-羧酸 (ACC)

ACC氧化酶

成熟
乙烯

乙烯形成酶

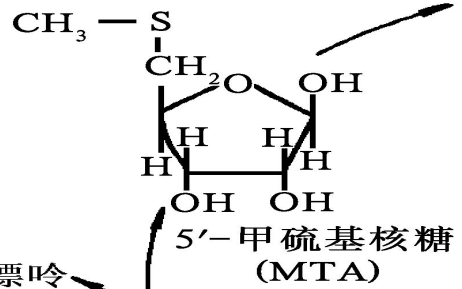


乙烯

缺氧, 解偶联剂, Co²⁺
> 35°C, 自由基清除剂

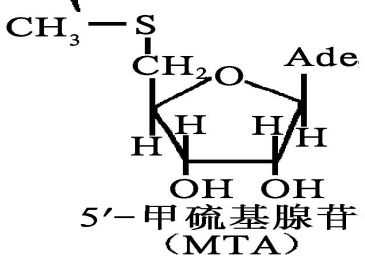
果实成熟, 花衰老,
IAA, 物理伤害,
寒害, 干旱胁迫, 水
涝, 乙烯(自我催化)

ACC合成酶
AVG, AOA
乙烯(自我催化)



5'-甲硫基核糖 (MTA)

腺嘌呤 (Ade)



5'-甲硫基腺苷 (MTA)



(三) 乙烯生物合成和生理效应的调节

1. ACC合酶
2. ACC氧化酶
3. ACC丙二酰基转移酶
4. 乙烯的自我催化作用
5. 乙烯的自我抑制作用
6. 乙烯生理效应的调节



1. ACC合酶

ACC合成酶是乙烯生物合成的**关键酶**

S-腺苷蛋氨酸 (SAM)

ACC合酶



1-氨基环丙烷-1-羧酸 (ACC)



ACC合酶活性的调节：

发育时期——种子萌发、果实成熟和器官衰老过程中,ACC合成酶的活性升高。

环境胁迫——如机械伤害、干旱、水涝、低温、有毒物质、病原物侵染等也会诱导ACC合成酶的合成或活化。

激素——生长素在转录水平上诱导ACC合成酶的合成。



ACC合酶抑制剂:

氨基氧乙酸(AOA)

氨基乙氧基乙烯基甘氨酸(AVG)

原理: ACC合成酶需要磷酸吡哆醛为辅基,而AOA和AVG是磷酸吡哆醛的抑制剂。



2. ACC氧化酶

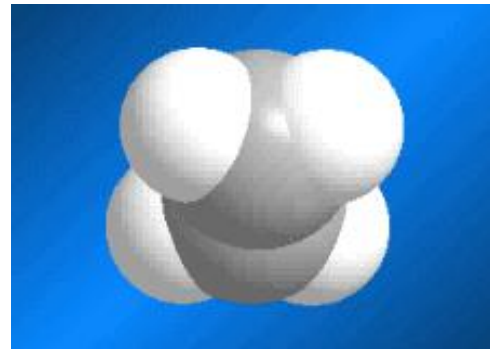
ACC氧化酶存在于液泡膜内表面,在有O₂条件下,将ACC氧化为乙烯。

1-氨基环丙烷-1-羧酸 (ACC)

ACC氧化酶



乙烯



ACC氧化酶活性的调节：

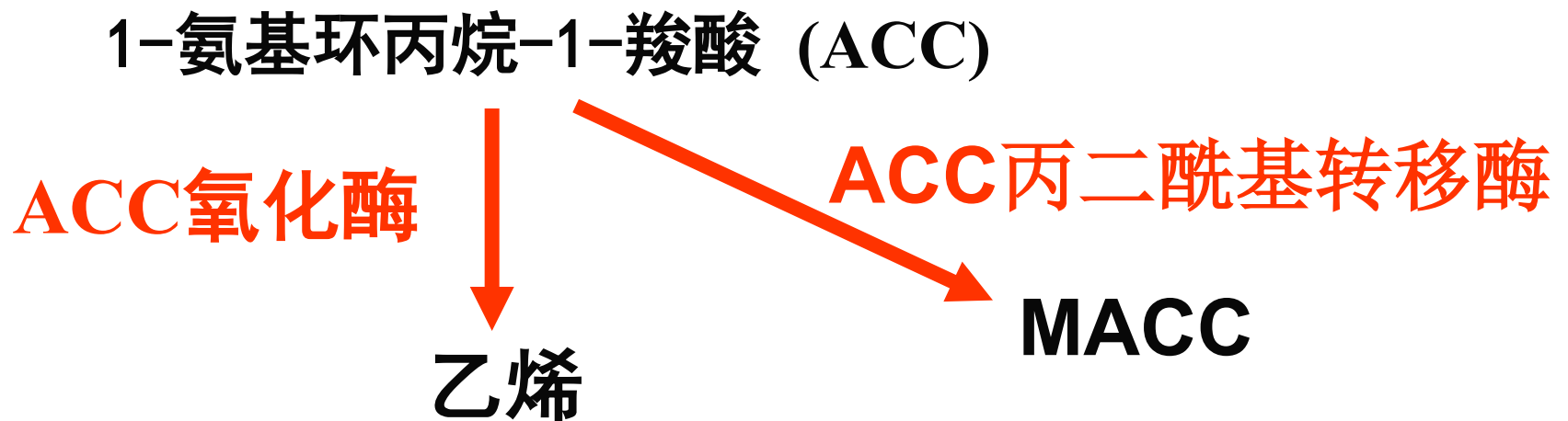
ACC氧化酶活性极不稳定,依赖于膜的完整性,膜结构一经破坏,催化乙烯生成的作用便停止。

Co^{2+} 、氧化磷酸化解偶联剂、自由基清除剂,以及能够改变膜性质的理化处理(如去垢剂)都能抑制乙烯的合成。



3. ACC丙二酰基转移酶

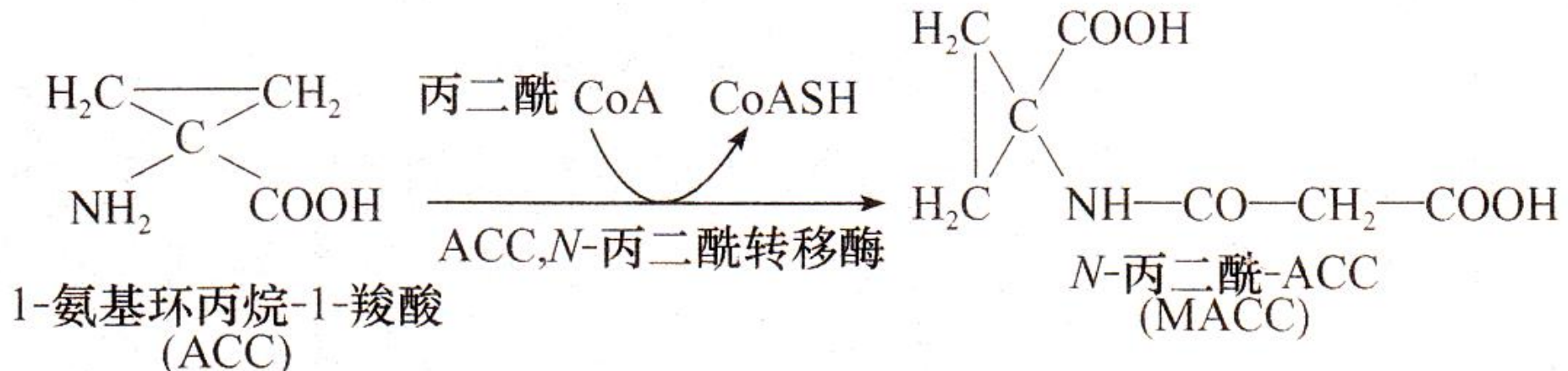
使ACC转变为没有生理活性的
N-丙二酰-ACC(MACC)



ACC丙二酰基转移酶的作用

促进MACC的合成, 减少乙烯的释放

MACC是在胞质溶胶里合成的, 贮存于液泡中



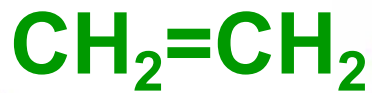
4. 乙烯的自我催化作用

跃变型果实和花卉的一个重要特征

将乙烯施于发生呼吸跃变开始后的苹果果实, 将促进**ACC合成酶**的活性, 从而产生大量乙烯。

外施少量乙烯于甜瓜和番茄等跃变型果实, 经过一段时间,**ACC氧化酶**活性剧烈升高, 大量合成乙烯。

非跃变型果实



跃变型果实



跃变型果实：苹果，香蕉，桃，梨，杏，芒果，番木瓜等

非跃变型果实：草莓，葡萄，柠檬，柑橘，黄瓜，凤梨等



5. 乙烯的自我抑制作用

外施乙烯将抑制营养组织和非跃变果实的乙烯生物合成。

与自我催化作用相比，
乙烯自我抑制作用更具普遍性。

原因：抑制ACC合成酶的合成或促进降解



6. 乙烯生理效应的调节

乙烯形成以后，还需要与**金属（铜或锌）蛋白质**结合，才能起生理作用。

Ag⁺抑制乙烯的效应。

金属螯合物**EDTA**可能通过螯合物金属蛋白中的金属而抑制乙烯的效应。

CO₂与乙烯竞争同一个作用部位，也抑制乙烯的效应



(四) 乙烯的降解和钝化

降解:

乙烯可分解为 CO_2 和乙烯氧化物等气体代谢物

钝化:

形成没有生物活性的可溶性代谢物,如乙烯乙二醇和乙烯葡萄糖结合体等。



(五) 乙烯在植物体内的运输

一方面：

乙烯在植物体内易于移动,并遵循**被动扩散**原理

另一方面：

乙烯的直接前体**ACC**可溶于水,因而**ACC**可能是乙烯在植物体内**远距离运输**的形式



三、乙烯的生理效应

1. 三重反应与偏上生长
2. 促进果实成熟
3. 促进脱落与衰老
4. 促进某些植物的开花与雌花分化
5. 乙烯的其他效应



1. 三重反应与偏上生长

三重反应(triple response) :

①抑制茎的伸长生长

矮

②促进茎或根的增粗

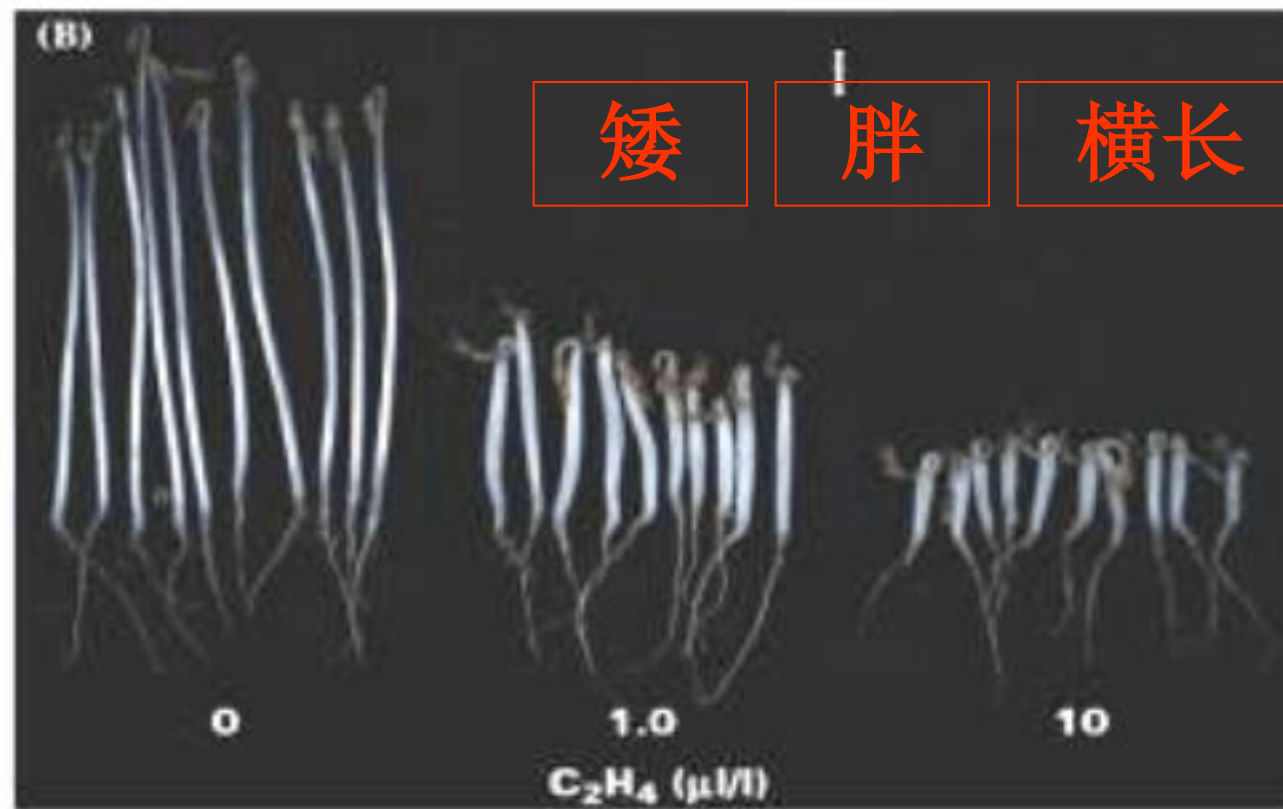
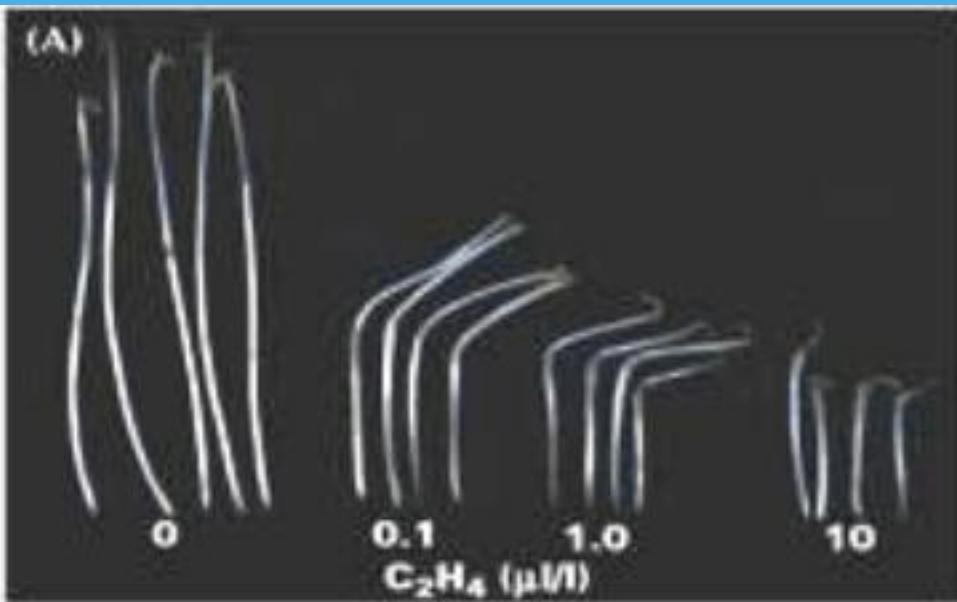
胖

③使茎失去负向重力性而横向生长

横长

三重反应(triple response) 可以作为乙烯的鉴定方法。

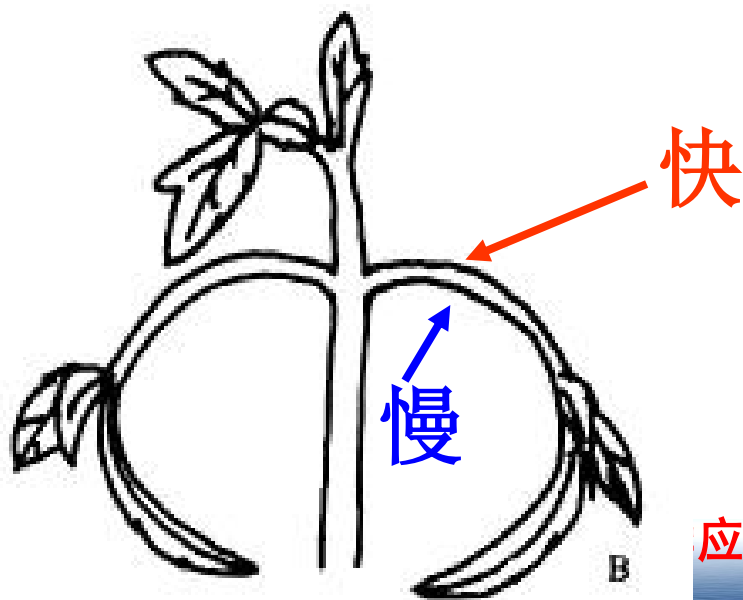




偏上生长： 器官的上部生长速度快于下部的现象。

乙烯促使**茎横向生长**是由于它引起偏上生长所造成的。

乙烯对叶柄也有偏上生长的效应,从而造成了**叶片下垂**。

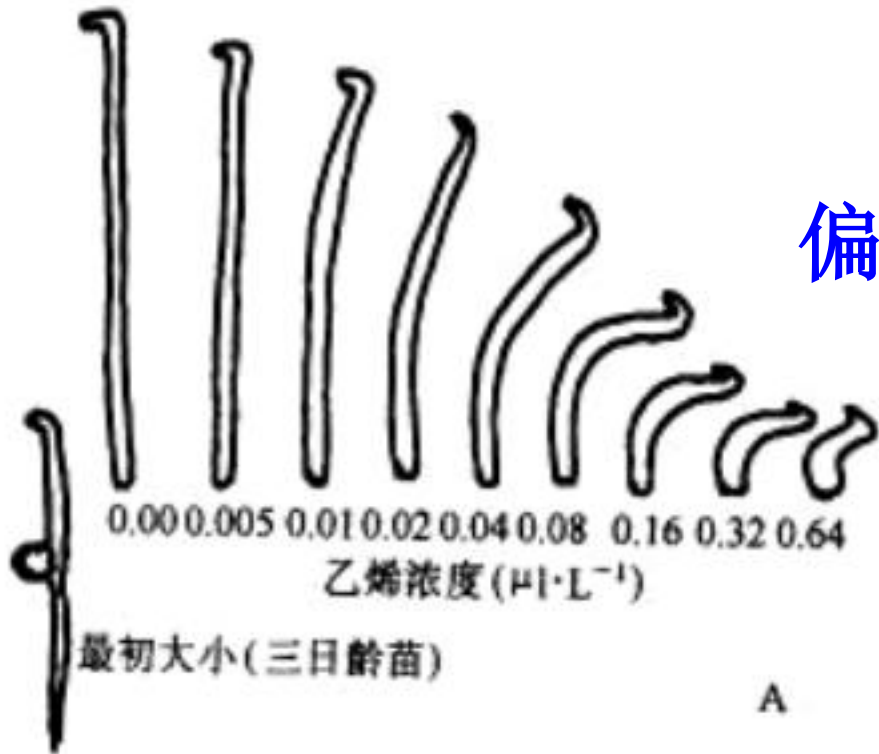


三重反应与偏上生长:

矮

胖

横长



偏上生长



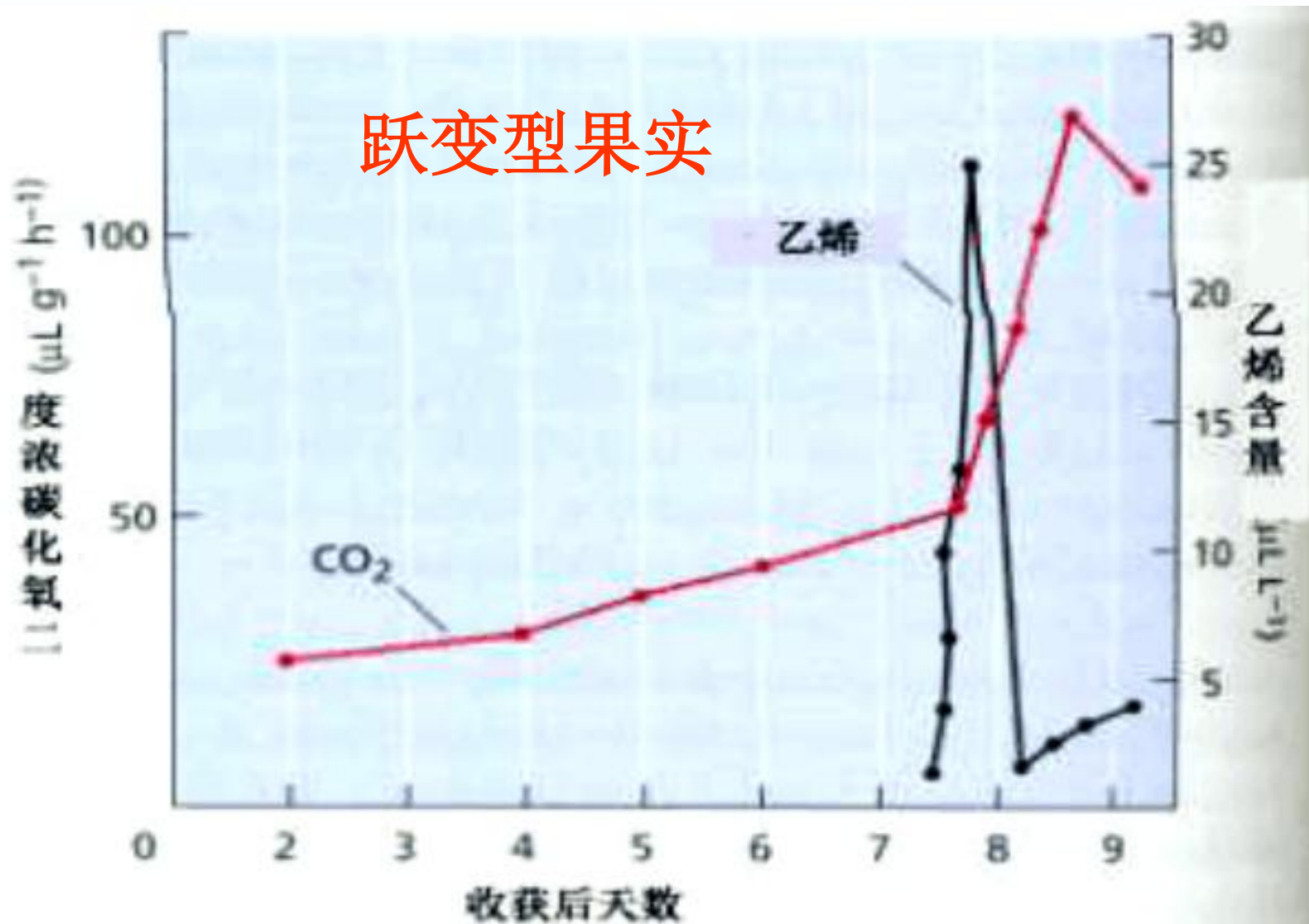
2. 促进果实成熟

催熟是乙烯**最主要**和**最显著**的效应

原因是：乙烯能增加细胞膜的透性，促使呼吸作用加强，引起果实内的各种有机物发生急剧的生化变化，趋于成熟。



乙烯的大量产生发生在呼吸跃变之前





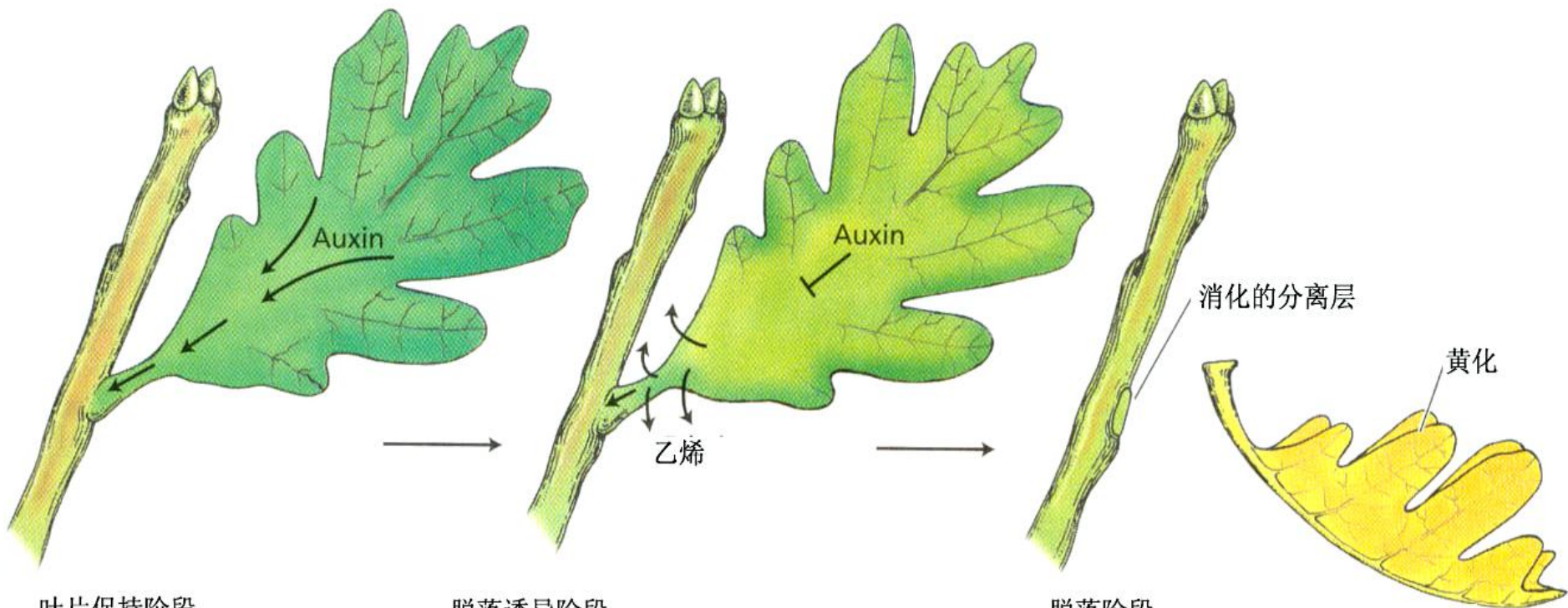
3. 促进脱落与衰老

乙烯是促进叶片脱落的主要激素

应用：

在果树栽培中,为防止大小年现象,常常采用乙烯利疏花疏果。





叶片保持阶段
 夹有叶片的高生长素降低了离区的乙烯敏感性并抑制了叶片的脱落。

脱落诱导阶段
 叶片中生长素的降低，提高了离区的乙烯产量与乙烯的敏感性，并启动了脱落的阶段。

脱落阶段
 水解细胞壁多糖酶的合成，导致了细胞的分离与叶片的脱落。

图 22.11 叶片脱落过程中生长素与乙烯作用的示意图。在脱落诱导阶段，生长素水平降低，乙烯的水平增加。激素平衡的这些变化提高了靶细胞对乙烯的敏感性。





在密闭容器中苹果产生的
乙烯使枝条上的果叶脱落



乙烯处理使野生
型枝条(左侧)上
的叶全部脱落

4. 促进某些植物的开花与雌花分化

乙烯促进菠萝开花,可使芒果的幼树提早进入开花期;可诱导瓜类作物的雌花分化。



5. 乙烯的其他效应

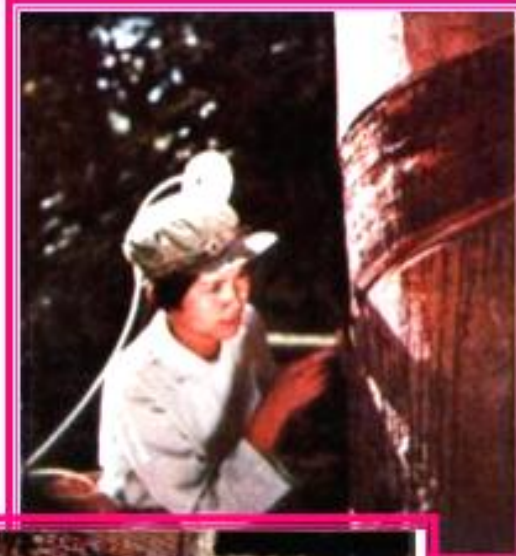
诱导插枝不定根的形成

促进根的生长和分化

打破种子和芽的休眠

诱导次生物质(如**橡胶树的乳胶**)的分泌





胶乳的采割与收集



乙烯可促进橡胶、漆树、松树等植物体内次生物质的分泌并提高产量，如橡胶树经乙烯利油剂涂抹，第2天产胶量就开始上升，总干胶产量可增加20%-40%以上。

四、乙烯的作用机理

(一) 乙烯效应的生理机制

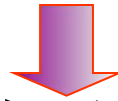
乙烯效应的特点：

乙烯处理对植物具有**短期**和**长期效应**，其**短期快速效应**是对膜透性的影响，而**长期效应**是对基因表达的调节。



乙烯促进果实成熟的生理机制：

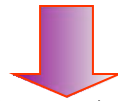
乙烯



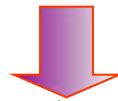
细胞膜透性增大



大量水解酶外渗



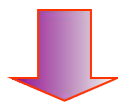
呼吸代谢加强



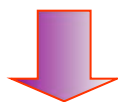
果实果肉内有机物的强烈转化，
从而达到可食状态

乙烯诱导植物器官脱落的生理机理：

乙烯



促进纤维素酶的合成与释放



促进细胞壁的分解



叶片、花或果实脱离母体



(二) 乙烯的信号转导途径

受体:

ETR1、ETR2、ERS1、ERS2、EIN4

乙烯调节的基因表达:

纤维素酶、几丁质酶、 β -1,3-葡聚糖酶、
过氧化物酶、许多病程相关蛋白、
成熟相关蛋白等。



第七节 其他植物内源生长物质

油菜素甾醇类

多胺

茉莉酸

水杨酸

其它



一、油菜素甾醇类 (BRs)

Brassinosteroid

From Wikipedia, the free encyclopedia

Brassinosteroids (BRs) are a class of polyhydroxysteroids that have been recognized as a sixth class of plant hormones. These were first explored nearly 40 years ago, when Mitchell et al. reported promotion in stem elongation and cell division by the treatment of organic extracts of rapeseed (*Brassica napus*) pollen.^[1] Brassinolide was the first isolated brassinosteroid in 1979, when pollen from *Brassica napus* was shown to promote stem elongation and cell divisions, and the biologically active molecule was isolated.^{[1][2]} The yield of brassinosteroids from 230 kg of *Brassica napus* pollen was only 10 mg. Since their discovery, over 70 BR compounds have been isolated from plants.^[3]

as a sixth class of plant hormones

was the first isolated brassinosteroid in 1979

from 230 kg of *Brassica napus* pollen was only 10 mg

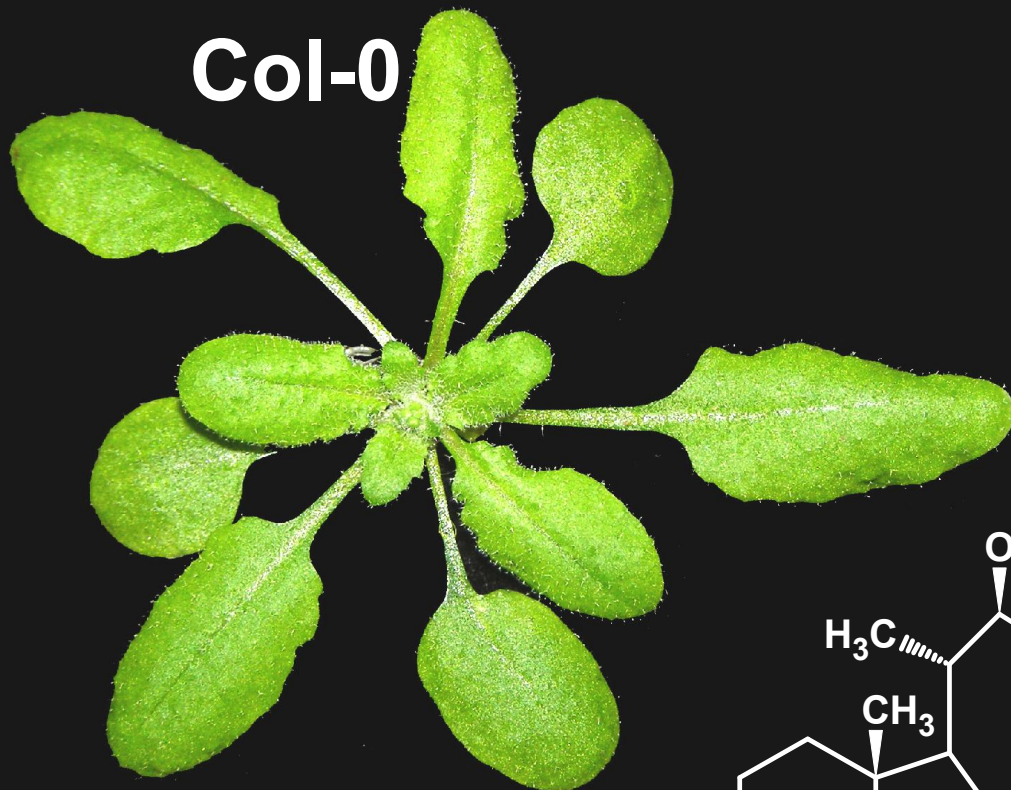
over 70 BR compounds have been isolated

请爱护荧光显微镜哦 ^v^ !!!

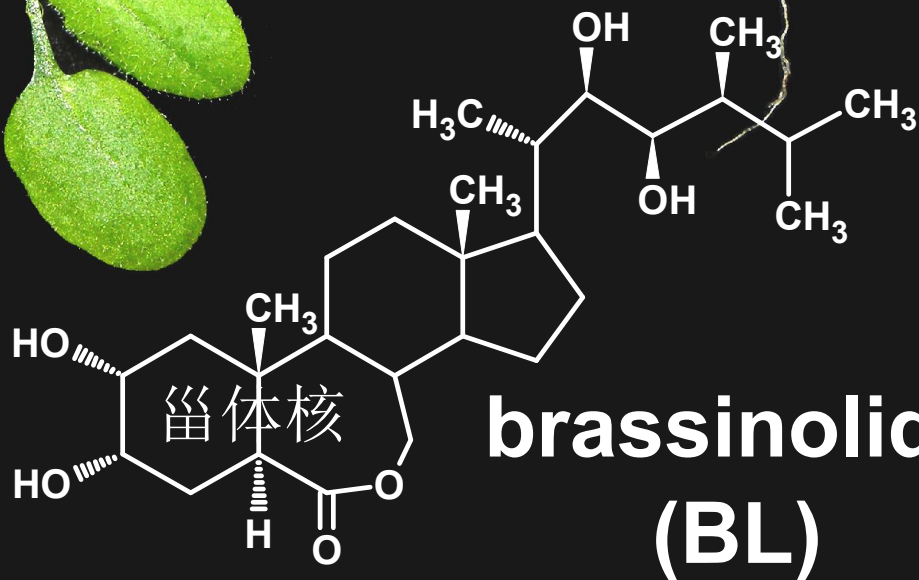


bri1 在光下的表型

Col-0

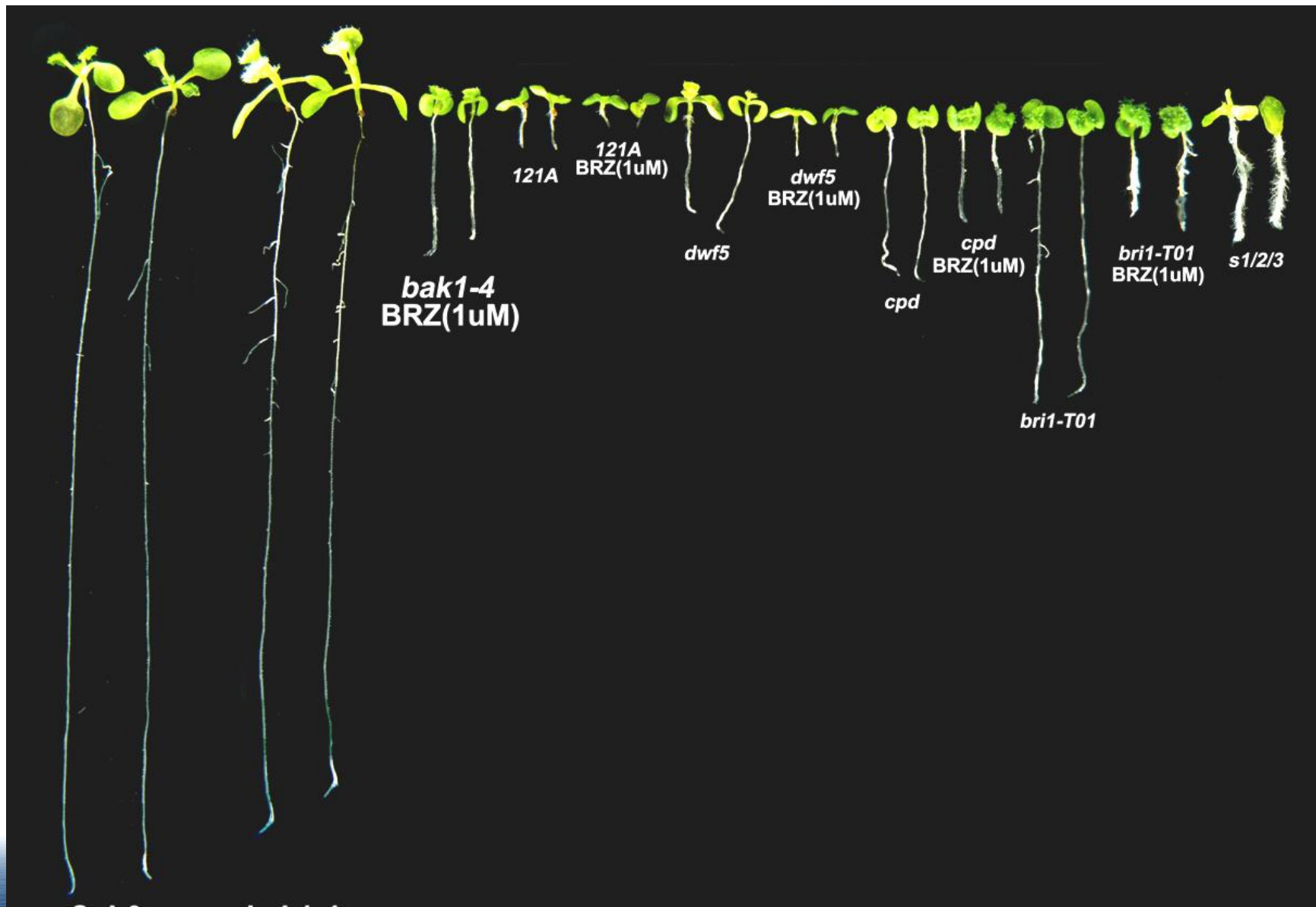


bri1-T01



(二) 油菜素甾醇类化合物的生理效应

1. 促进细胞伸长和分裂



2. 促进光合作用

BR可促进小麦叶RuBP羧化酶的活性，因此可提高光合速率。BR1处理花生幼苗后9d，叶绿素含量比对照高10%~12%，光合速率加快15%。



3. 提高抗逆性

水稻幼苗在低温阴雨条件下生长，若用 10^{-4}mg/L BR溶液浸根24h，则株高、叶数、叶面积、分蘖数和根数都比对照高，且幼苗成活率高、地上部干重显著增加。此外，BR也可使水稻、茄子和黄瓜幼苗等抗低温能力增强。

除此之外，BR还能增强植物对干旱、病害、盐害、除草剂和药害等逆境的抵抗力，因此有人将其称为“**逆境缓和激素**”。



二、多胺

(一) 多胺的种类和分布

多胺类化合物(polyamines , PAs)是一类生物体代谢过程中产生的具有生物活性的低分子量**脂肪族含氮碱**。根据所含**胺基的数目**分为**二胺、三胺、四胺**和其他胺类。通常胺基数目越多，生物活性越强。

高等植物中的多胺主要有**腐胺和尸胺(二胺)、亚精胺(三胺)、精胺和鲛精胺(四胺)**。



高等植物的多胺不但种类多，而且分布广泛。多胺的含量在不同植物间及同一植物不同器官间、不同发育状况下差异很大，可从每克鲜重几nmol到几百nmol。通常，细胞分裂素最旺盛的部位也是多胺生物合成最活跃的部位。



(二) 多胺的生理效应

1. 促进生长

多胺能促进植物的生长

例如，休眠菊芋的块茎不能进行细胞分裂，它的外植体中内源性多胺、生长素、细胞分裂素的含量都很低，但在培养基中只加入 $10\sim 100\mu\text{mol/L}$ 的多胺而不加其他生长物质，块茎细胞则能分裂和生长，同时，还能**诱导形成层于微管组织的分化**。



2. 延缓衰老

凡用多胺处理的燕麦、豌豆、菜豆、油菜、烟草和萝卜等植物的叶片，在暗中均有**延缓衰老**的作用。同时发现，**前期多胺能抑制蛋白酶与RNA酶活性的提高，减慢蛋白质降解速率；后期延缓叶绿体的分解，但对老叶则无效。**



3. 提高植物的抗性

高等植物中多胺代谢对各种环境十分敏感，当植物遭遇水分胁迫、寒冷、渗透胁迫和矿质元素缺乏等影响时，往往大量积累**腐胺**。

腐胺在逆境下增加的生理意义是：①作为pH的缓冲剂，或有助于H⁺和其他阴离子通过质膜；②能抑制酸性蛋白酶和RNA酶的活性，可稳定膜结构，使原生质不被分解破坏。



4. 其他

多胺还可调节与**光敏素**有关的生长和形态建成，以及植物的发育过程，参与光敏核不育水稻花粉的育性转换，并能提高种子活力和发芽力，促进根系对无机离子的吸收。



三、茉莉酸及甲酯

(一) 茉莉酸的分布和代谢

茉莉酸 (JA) 首先从**真菌培养滤液**中分离出来, 而茉莉酸甲酯 (JA-Me) 于1980年从蒿属植物苦艾中分离出来。

茉莉酸类 (JAs) 化合物广泛存在于植物体内, 现已发现30多种, 其中, **茉莉酸 (JA) 和茉莉酸甲酯 (JA-Me)** 是最重要的代表。



JA在茎端、嫩叶、未成熟果实和根尖等处含量较高，生殖器官特别是果实比营养器官（如叶、茎、芽）的含量丰富，如大豆种子中JA含量为1260ng/gFW，而其营养器官JA含量为10~100ng/gFW。

JAs通常在植物韧皮部系统中运输，也可在木质部及细胞间隙运输。



(二) 茉莉酸类的生理效应级应用

1. 抑制生长和萌发

JA能显著抑制水稻幼苗第二叶鞘长度、莴苣幼苗下胚轴和根的生长以及GA3对它们伸长的诱导作用，JA-Me可抑制珍珠稗幼苗生长、离体黄瓜子叶鲜重和叶绿体的形成以及细胞分裂素诱导的大豆愈伤组织的生长。

用10和100 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的JA处理莴苣种子，45h后萌发率分别只有对照的86%和63%。



2. 促进生根

JA-Me能显著促进绿豆下胚轴插条生根， $10^{-8}\sim 10^{-5}\text{mol/L}$ 处理对不定根数量无明显影响，但可增加不定根干重； $10^{-4}\sim 10^{-3}\text{mol/L}$ 处理则显著增加不定根数，但根干重未见增加。



3. 促进衰老

从苦艾中提取的JA-Me能加快燕麦叶片切段叶绿体的降解。用高浓度乙烯利处理后，JA-Me能促进豇豆叶片**离层的产生**。JA-Me还可使郁金香叶的叶绿素迅速降解，叶片黄化，叶形改变，加快衰老过程。



4. 抑制花芽分化

烟草培养基中加入JA或JA-Me则抑制外植体花芽形成。

5. 提高抗性

经JA-Me预处理的花生幼苗，在渗透逆境下，植物的外渗电导率降低，干旱对质膜的伤害减轻。JA-Me预处理也能提高水稻幼苗对低温（5~7℃，，3d）和高温（46℃，24h）的抵抗能力。



茉莉酸类化合物与**脱落酸**在许多方面有类似的功能，如抑制根和茎的伸长生长、抑制种子和花粉的萌发、促进气孔关闭、促进器官衰老和脱落，以及提高植物的抗逆性等。

但**JA**和**ABA**也有**不同之处**，如JA促进叶片老化效果比ABA大；植物某些创伤诱导蛋白或JA诱导蛋白（JIPs）不能被外源ABA所诱导。



四、水杨酸

(一) 水杨酸的分布和代谢

SA在植物体中的分布一般以产热植物的花序较多，如天南星科的一种植物花序，含量达 $3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 。

在不产热植物的叶片等器官中也含有SA，在水稻、大麦、大豆中均检测到SA的存在。

水杨酸能溶于水，易溶于极性的有机溶剂。在植物组织中，非结合态SA能在韧皮部中运输。



(二) 水杨酸的生理效应

1. 生热效应

天南星科植物**佛焰花序**具有**生热现象**，引起生热的物质是**SA**，佛焰花序的温度比环境温度高很多（可高 14°C ）。其原因是佛焰花序开花前，雄花基部产生SA，激活编码交替氧化酶的核基因。诱导**抗氰呼吸途径活跃**，导致剧烈放热。

花序产热有利于**开花结实**，也有利花序产生具臭味的胺类和吲哚类物质蒸发，**吸引昆虫传粉**。

SA诱导的生热效应是植物对低温环境的一种适应。

生热现象实质上是与抗氰呼吸途径的电子传递系统有关。



2. 诱导开花

用 $5.6 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的SA处理可使长日植物浮萍*gibba G3*在非诱导光周期下开花。

有试验发现SA还可显著影响黄瓜的性别表达，抑制雌花分化，促进较低节位上分化雄花，并且显著抑制根系发育。

由于良好的根系可合成更多的有助于雌花分化的细胞分裂素，所以，SA抑制根系发育可能是其抑制雌花分化的部分原因。



3. 增加抗性

某些植物在受病毒、真菌或细菌侵染后，侵染部位的SA水平显著增加，同时出现坏死病斑，即过敏反应(HR)，并引起非感染部位SA含量的升高，从而使其对同一病原或其它病原的再侵染产生抗性。

SA能诱导抗病基因(编码病原相关蛋白 (PRs) 的基因)的活化而使植株产生抗性。



感病植物也含有有关的抗性基因，只是病原的侵染不能导致SA含量的增加，因而抗病基因不能被活化，这时施用外源SA可以达到类似的效果。

SA还可抑制大豆的顶端生长，促进侧生生长，增加分枝数量、单株结角数及单角重。

SA还被用于切花保鲜、水稻抗寒等方面。



四、其他植物内源生长物质

(一) 玉米赤霉烯酮

1962年Stob等从玉米赤霉菌的培养物中分离出一种活性物质，它具有动物雌激素的作用。1966年Urry等确定了该物质的化学结构属于二羟基苯甲酸内酯类化合物，并命名为玉米赤霉烯酮(zearalenone)。

玉米赤霉烯酮在生殖器官含量较高，在春化作用、花芽分化、营养生长及抗逆中具有重要作用。



(二) 寡糖素

细胞壁的降解产物——**寡糖**与激素相似，它们依赖糖链结构的不同，调控着植物的生长发育和对逆境防御等重要生理过程。这些有生物活性的一类寡糖分子统称为**寡糖素 (oligosaccharin)**。

寡糖素能诱导膜的快速去极化、促进蛋白磷酸化、促进RNA的合成和提高植物的抗逆性等作用。



(三) 三十烷醇

三十烷醇 (TRIA) 广泛存在于植物的蜡质层中，因为也可以从蜂蜡中获得，故也称为蜂蜡醇。

三十烷醇可以延缓燕麦离体叶圆片的衰老、增加黄瓜种子下胚轴的长度、抑制GA在黑暗中促进莴苣种子发芽的效应、促进细胞分裂、增加多种酶的活性等。



（四）系统素

系统素（systemin, SYS）是1991年Pearce首次从受伤番茄叶片中分离到的。**系统素**是一种由18个氨基酸组成的**多肽**，是植物感受创伤（wounding）的信号分子，**在植物防卫反应中起十分重要的作用。**

植物体抵御害虫和病原菌侵染的众多防卫分子中，最重要的是**蛋白酶抑制剂**家族，**系统素**是蛋白酶抑制剂最有效的诱导物，参与植物对病虫害侵染的防卫反应。



补充：植物激素间的相互关系

植物激素对生长发育和生理过程的调节作用，往往不是某一种植物激素的单独效果。由于植物体内各种内源激素间可以发生**增效**或**拮抗**作用，只有各种激素的协调配合，才能保证植物的正常生长发育。



一、 激素间的增效作用与拮抗作用

1、 增效作用

一种激素可加强另一种激素的效应，此种现象称为激素的**增效作用**

- ① IAA与GA 节间伸长。 GA降低IAA氧化酶的活性，促进束缚型IAA释放出游离型IAA，提高组织中的IAA的含量。促进植物节间的伸长生长，表现为相互增效作用。
- ② IAA与CTK 共同作用，完成细胞的分裂（ IAA促进细胞核的分裂，CTK促进细胞质的分裂）。



- ③CTK加强了IAA的极性运输；IAA使CTK的作用持续期延长。
- ④ABA和EtH在**促进器官脱落**方面表现出增效作用。
- ⑤IAA促进EtH产生作用，高浓度IAA下，产生较多的乙烯，而抑制生长。（IAA促进乙烯前体ACC合成酶的活性，促进乙烯的生物合成）。有人认为这是IAA对生长的双重作用原因（低浓度促进生长、高浓度抑制生长）。



2、拮抗作用

拮抗作用就是一种激素消弱或抵消另一种激素的生理效应。

- ① IAA维持顶端优势，而CTK减弱顶端优势。
- ② IAA促进插枝生根，GA则抑制不定根的形成。
- ③ IAA推迟器官脱落的效应，会被施用ABA所抵消。



④GA促进种子萌发，ABA促进休眠。

⑤CTK抑制叶绿素、核酸和蛋白质的降解，抑制叶片衰老；ABA抑制核糖、蛋白质的合成并提高核酸酶的活性，从而促进核酸降解，使叶片衰老。

⑥CTK促进气孔开放，ABA促进气孔关闭。



二、植物激素间的比例控制植物的发育

① IAA与CTK比值高，诱导根的分化；维持顶端优势；

IAA与CTK比值低，诱导侧芽的分化，减弱顶端优势；

IAA与CTK比值适宜，诱导根、芽的分化；只有IAA 则形成愈伤组织。

② IAA与GA比值高，促进木质部分化；IAA与GA比例低，促进韧皮部的分化。



③GA与CTK比值高，促进顶芽分化为雄花；GA与CTK比例低，促进顶芽分化为雌花。

在自然条件下，根部和叶子形成的激素间是保持平衡的，因此，雌雄植株的比例基本相同。用菠菜进行实验时发现：赤霉素与细胞分裂素的比值可影响雌雄异株植物的性别分化。

④CTK与ABA比值高，促进气孔开放；CTK与ABA比例低，促进气孔关闭。



⑤ **GA与ABA**比值高，打破种子休眠，促进萌发，还有利于有利于雄花分化；GA与ABA比例低，诱导种子休眠，抑制萌发，有利于雌花分化。（尤其影响黄瓜茎端的性别分化）

⑥ **ABA/GA**：比值影响切段生根

Eth/GA：比值影响雌花的分化

GA/IAA：比值**高**，影响形成层的韧皮部分化；**低**，木质部分化；



	生长素类 (Auxin)	赤霉素类 (GA)	细胞分裂素类 (CK)	乙烯	脱落酸 (ABA)
合成场所	叶原基、嫩叶和发育中的种子 (叶绿体, 胞质溶胶)	质体、内质网、胞质溶胶	微粒体 (内质网, 高尔基体)	液泡膜内表面	胞质溶胶
前体	色氨酸	甲瓦龙酸 (GGPP)	甲瓦龙酸 (iPP, 异戊烯基腺嘌呤)	甲硫氨酸	甲瓦龙酸 (iPP, 异戊烯基腺嘌呤)
关键酶	转氨酶 脱羧酶 脱氢酶	加氧酶	细胞分裂素合酶	ACC合酶 ACC氧化酶 ACC丙二酰基转移酶	
运输方式	极性运输	运输无极性	运输无极性	运输无极性	运输无极性
举例	IAA、IBA NAA、2, 4-D	GA ₃	Kinetin、6-BA、玉米素 玉米素核苷 异戊烯基腺苷	乙烯利	



植物生长物质的生理作用比较

生长素类	赤霉素类	细胞分裂素类	乙烯	脱落酸
抑制器官脱落	防止器官脱落	延缓叶片衰老	促进器官脱落	促进脱落
促进细胞伸长 (酸化作用) 插枝生根	促进细胞伸长 (Ca ²⁺ 、XET) 促进营养生长	促进细胞分裂 和扩大	促进细胞扩大 三重反应	抑制细胞分裂 和伸长
延长休眠	打破休眠	促进打破休眠	促进打破休眠	促进休眠
性别决定 单性结实	单性结实	促进果实生长	促进果实成熟	促进果实成熟
促进菠萝开花	代替长日照、 低温促进开花		促进开花	
维持顶端优势	诱导 α-淀粉酶 等水解酶形成	诱导芽的分化	促进次生物排 出	促进气孔关闭 提高抗逆性



在植物激素中，诱导黄瓜分化雌花的有（**IAA**）和（**ETH**），诱导分化雄花的有（**GA**）；

促进休眠的是（**ABA**），打破休眠的是（**GA**）；

维持顶端优势的是（**IAA**），打破顶端优势的是（**GA**）；

促进插条生根的是（**IAA**）；



促进器官脱落的是（ ABA ）和（ ETH ）；

促进果实成熟的是（ ETH ）；

延缓植物衰老的是（ CTK ）；

促进气孔关闭的是（ ABA ）；

诱导 α -淀粉酶形成的是（ GA ）；

促进细胞分裂的是（ CTK ）。 _____



第八节 植物生长物质的应用

人们利用化学合成法，合成许多与天然激素具有类似生理功能的有机化合物，即**植物生长调节剂**。

用植物生长调节剂去调节和控制植物生长发育的手段，简称为**植物化学调控**或**化学调控**。



一、植物生长促进剂

植物生长促进剂(plant growth stimulators)的基本特征是促进细胞分裂、分化和伸长生长，也能促进植物营养器官生长和生殖器官发育。

(1) **生长素类调节剂**：如IBA、NAA和2, 4-D。

(2) **赤霉素类**：GA3

(3) **细胞分裂素类调节剂**：如6-BA, KT和CPPU。



二、植物生长抑制剂

植物生长抑制剂（plant growth inhibitors）的基本特征是抑制顶端分生组织细胞伸长和分化，促进侧枝的分化和生长，使植物丧失顶端优势。外施生长素可以逆转这种抑制效应，而外施赤霉素无效。

常用的植物生长抑制剂有三碘苯甲酸、青鲜素、整形素和增甘磷。



(一) 三碘苯甲酸

三碘苯甲酸（2,3,5-triiodobenzoic acid, **TIBA**）的分子式为 $C_7H_3O_2I_3$ ，相对分子量为500.92。纯品为白色粉末，不溶于水，易溶于乙醇、乙醚和苯等。

TIBA是一种阻碍生长素运输的物质，它能抑制顶端分生组织细胞分裂，使植株矮化，消除顶端优势，促进腋芽发育，促进花芽的形成。

在大豆开花期喷施TIBA，植株变矮，分枝增加，提高结荚率，提早成熟，防止倒伏，增加产量。



(二) 整形素

整形素化学名称是**9-羟基芴-9-羧酸**，分子式为 $C_{15}H_{11}ClO_3$ ，相对分子质量为228.7。纯品为无色结晶，微溶于水，可溶于乙醇、丙酮等。

整形素是一种抗生长素物质，它能阻碍生长素从顶芽向下转运，提高吲哚乙酸氧化酶活性，使生长素含量下降。

整形素抑制顶芽生长，促进侧芽发生。经整形素处理的植株表现出矮化或成丛生状，这已在塑造木本盆景生产上得到应用。



(三) 青鲜素

青鲜素也称马来酰肼，化学名称是**顺丁烯二酰肼**，分子式为 $C_4H_4O_2N_2$ ，相对分子质量为112.09。难溶于水，易溶于冰醋酸、二乙醇胺。

MH主要传导至生长点，其作用正好与生长素相反，**能抑制芽的生长和茎的伸长**。主要用于防止鳞茎和块茎植物如洋葱、大蒜和马铃薯等在储藏期的发芽，还可控制树木和灌木（行道树和树篱）的过度生长。



(四) 增甘磷

增甘磷的化学名称是N, N-双（磷酰基甲基）甘氨酸，分子式为 $C_4H_{11}NO_8P_2$ ，溶于水，难溶于苯等非极性溶剂。增甘磷抑制植物生长，也能抑制酸性转化酶活性，增加糖分的积累和贮藏，主要用于甘蔗和甜菜的催熟增糖作用。



三、植物生长延缓剂

植物生长延缓剂的基本特征是抑制内源赤霉素的生物合成，从而抑制近顶端分生组织细胞的延长，使节间缩短，但叶数和节数不变，生殖器官不受影响或影响不大，外施赤霉素可逆转生长延缓剂的抑制作用。



不同种类的生长延缓剂抑制赤霉素生物合成过程的不同环节。所以生长延缓剂都是抗赤霉素物质。

施用生长延缓剂后植株矮小、茎粗、节间短、叶面积小、叶厚和叶色深绿。农业生产上常用于培育壮苗和矮化防倒伏等。



(一) 矮壮素 (CCC)

矮壮素化学名称是**2-氯乙基三甲基氯化铵**，分子式为 $C_5H_{13}ClN$ ，相对分子质量为158.08，是胆碱的衍生物，易溶于水，吸湿性强，**遇碱易分解，不可与碱性农药混用。**

CCC在许多方面表现出与赤霉素相反的作用，CCC的作用机理是阻碍赤霉素的生物合成，抑制贝壳杉烯之后的转变。

CCC是一种生产上常用的生长延缓剂，它不易被土壤所固定或被土壤微生物分解，一般作土壤施用效果较好。生产上用于防止小麦、水稻和棉花等植物的徒长和倒伏。



(二) 缩节胺 (Pix)

缩节胺 (Pix) 又名皮克斯、助壮素等。分子式为 $C_7H_{18}ClN$ ，相对分子质量为149.7。纯品为白色结晶，易溶于水。在土壤中容易分解，半衰期约为2周。

Pix在生产上用于控制棉花徒长，使植株矮化，并提高同化能力，促进成熟，增加产量。



(三) 比久 (B₉)

B₉化学名称**二甲基氨基琥珀酰胺酸**，B₉的分子式为C₆H₁₂N₂O₃，

B₉能够抑制生长素运输和赤霉素生物合成，常用于**果树**生产上。它可使植株矮化，促进花芽分化和提高坐果率，促进果实着色和延长储藏期等。B₉在土壤中稳定，残效达1~2年，所以一般不作土壤施用。

B₉对人体有致癌作用，因此不应在植物的食用部分上施用。



(四) 多效唑 (PP₃₃₃)

多效唑又名**氯丁唑**，是英国ZCJ公司20世纪70年代推出的一种新型高效生物延缓剂。PP₃₃₃不仅阻碍赤霉素的生物合成，同时加速生长素的分解，从而延缓和抑制植物的营养生长。

PP₃₃₃广泛应用于果树、花卉、蔬菜和大田作物，如：**PP₃₃₃**应用于稻田能改善株型，增加有效穗数，减少倒伏，有显著的经济效益；应用于多种果树能增加花芽，提高座果率，改善品质；应用于多种花卉，能矮化株型，增加花数。



(五) 优康唑 (S₃₃₀₇)

优康唑S-3307 (uniconazol) 在国内商品名为**烯效唑**或**高效唑**，它的分子式为 $C_{15}H_{18}ClN_3O$ ，相对分子质量为291.5。纯品为白色结晶，水溶解度为14.3 mg/L (24°C)，可溶于丙酮、甲醇和氯仿等有机溶剂中。

在生产上应用有**矮化植株**，**抗倒伏增产**，**除杂草**和**杀菌**等作用，**土壤施用**效果好于叶片。



植物生长调节剂施用技术

植物生长调节剂种类繁多，生理作用也很广泛。有的促进生长发育，也有的抑制生长发育，即使同一种植物生长调节剂，也会因其使用**浓度、部位、方法和时期**等不同，而产生不同甚至相反的效果。因此，在实际应用中，除了熟悉各种调节剂的基本知识和性能外，还需要掌握生长调节剂的应用策略，达到合理地利用植物生长调节剂。（**适法、适量、适时**）



- 1、分析生产存在问题的实质
- 2、拟定解决问题的方案
 - (1) 选择合适的生长调节剂
 - (2) 决定施用时期
 - (3) 确定处理部位
 - (4) 选择施用方式
 - (5) 拟定施用浓度和次数
- 3、进行预备试验
- 4、配合其他农业技术措施
- 5、植物生长调节剂的残留



植物生长调节剂对农林业等生产有着不可低估的贡献，未来仍将具有广阔的应用前景。今后的研究仍然应该是基础研究和应用研究相结合，既要注重内源激素的代谢及机理的研究，又要注重各种生长调节剂形态生理效应。还要研究各种药剂的**吸收、运转，药剂浓度、环境因素与药效的关系以及残毒和环境保护**等问题。

