

第九章 植物生长调整剂

绪论

第一节 植物生长增进剂

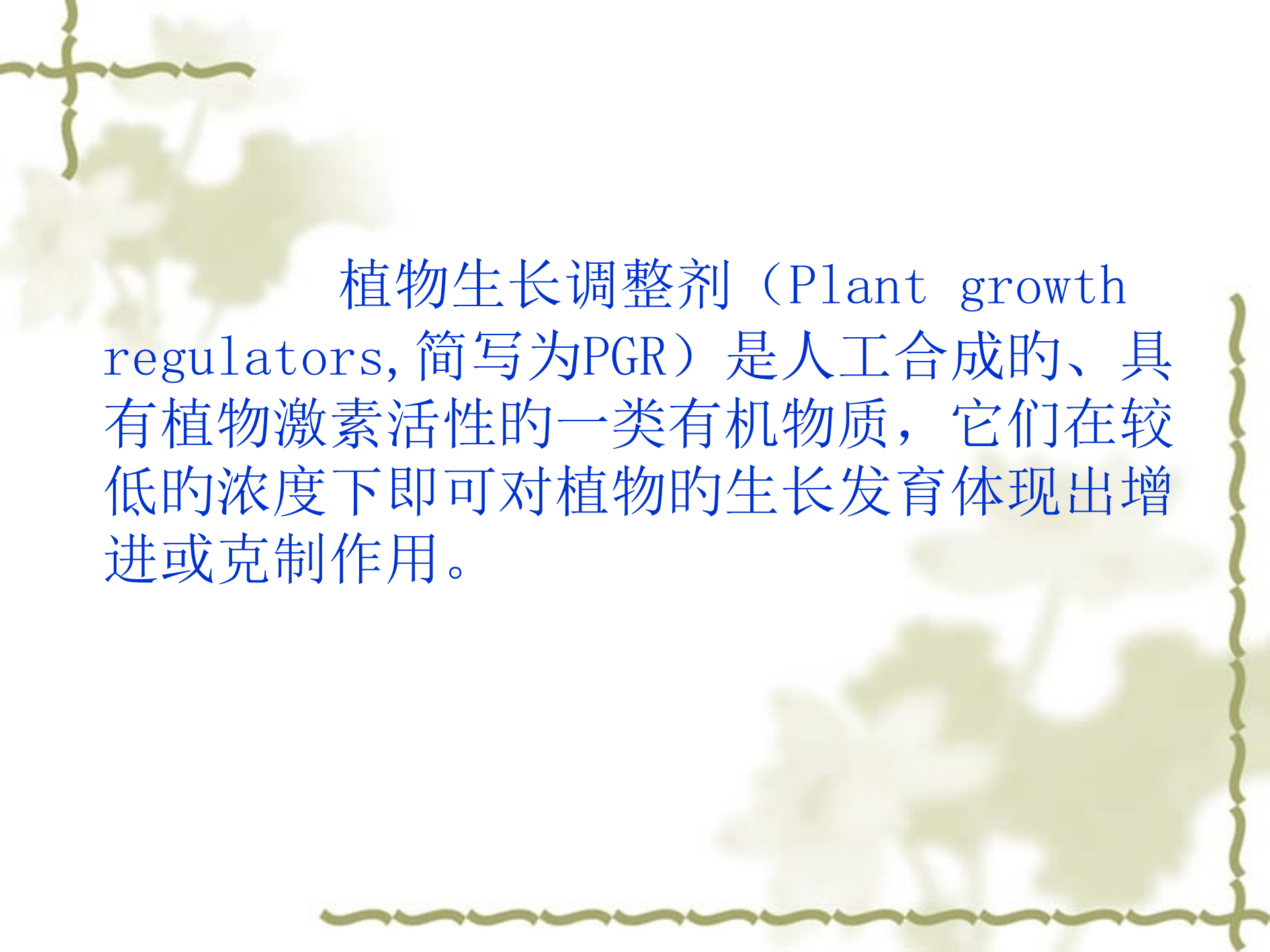
第二节 植物生长延缓剂

第三节 植物生长克制剂

绪论

植物的生长发育除需要水分、二氧化碳和多种营养物质外，还需要植物的生理活性物质——植物激素的调整和控制，同步，还受到外界条件的影响，如温度、光照、湿度等变化的影响。

植物激素是植物体内代谢产生的有机化合物，在低浓度下就能产生明显的生理效应，使植物产生明显的生理生化和形态反应。目前已发觉并公认的植物激素有五大类，即生长素、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸和乙烯。



植物生长调整剂 (Plant growth regulators, 简称为PGR) 是人工合成的、具有植物激素活性的一类有机物质, 它们在较低的浓度下即可对植物的生长发育体现出增进或克制作用。

植物生长调整剂的研究及其在生产上的应用，是近代植物生理学及农业科学的重大进展之一。

1928年荷兰植物学家温特 (P. W. Went) 发觉植物体内存在着生长活性物质，1934年柯格尔 (F. Kogl) 和哈根-史密斯 (A. T. Haagen-Smit)、1939年西曼 (K. V. Thimann) 分别从人尿和根霉菌培养基中提取出吲哚乙酸 (IAA)，后不久又人工合成了吲哚丁酸 (IBA) 和萘乙酸 (NAA)。

在第二次世界大战期间，美国“波尔斯—汤姆生植物研究所”的科学家从大量的苯氧类化合物中筛选出了2, 4-D，它具有比IAA、萘乙酸的生理活性大许多倍的效应。后来相继发觉了其他内源植物激素：乙烯（1962年），细胞分裂素（1964年），脱落酸（1965年）。

20世纪末，新发觉了诸多种植物生长物质，其中主要的有多胺（polyamine）、芸苔素内酯（brassinolide）、茉莉酸（jasmonic acid）等，均具有很强的生理活性及应用前景。Moore已把芸苔素内酯列为第六类激素。在此期间，也相继人工合成了具有相同活性的植物生长调整剂，而且在农业、林业、园艺上广泛应用。

第一节 植物生长增进剂

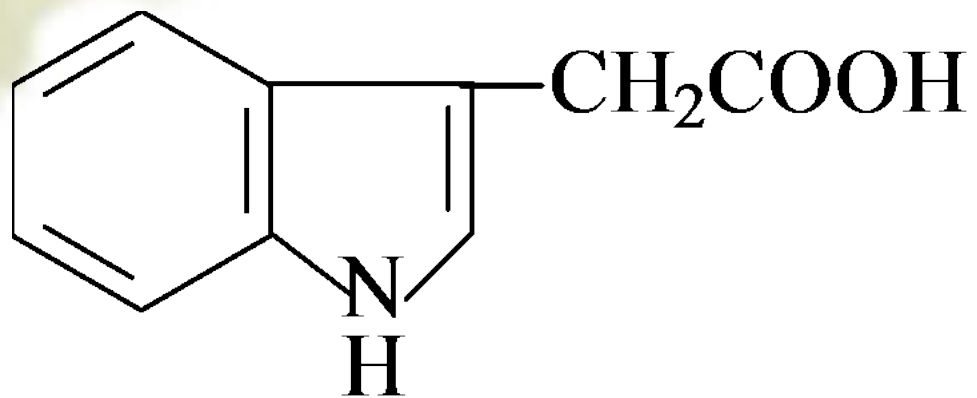
(Growth stimulators)

植物生长增进剂是指能增进植物细胞分裂、分化和伸长的化合物。根据其化学构造或活性的不同，又可分为生长素类、赤霉素类、细胞分裂素类、乙烯类和油菜素甾醇类等。

一、生长素类 (Auxins)

(一) 概述

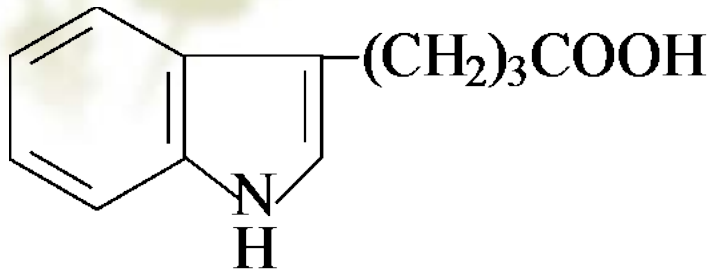
植物激素中最古老的是生长素。在达尔文等对燕麦胚芽鞘弯曲生长研究的基础上，荷兰科学家F. W. Went于1928年首次分离出生长素。后来科学家从孕妇的尿中提纯出生长素，并经检定出化学构造为3-吲哚乙酸 (IAA)。同步在酵母提取物和根霉 (*Rhizopus suinus*) 培养物中也提纯了IAA。今后大量的试验证明IAA是植物体内广泛存在的生长素。后来IAA已被人工合成。



3-吲哚乙酸 (indole -3-acetic acid, IAA)

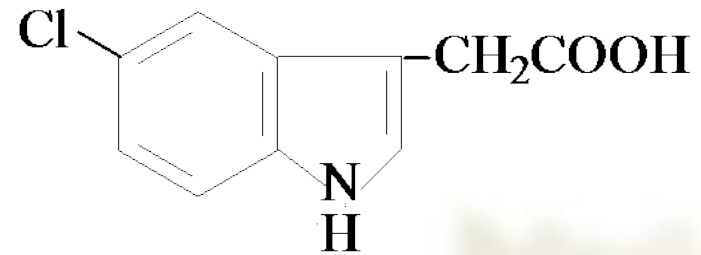
伴随IAA的发觉，人们从植物体内还发觉了与IAA构造相同的生长素类物质，这些物质多为IAA生物合成的前体或代谢中间物，其在体内转变为IAA而体现为生长素活性。如，吲哚-3-丁酸（IBA，存在于玉米叶片和种子中）、吲哚-3-乙醇、吲哚-3-乙醛、吲哚-3-乙腈、4-氯-吲哚-3-乙酸（4-chloroIAA，存在于莴苣种子中）。另外，Leuba等于1990年发觉了苯乙酸（PAA），证明一样具有生长素活性。

这些天然存在的生长素类物质的构造如下：



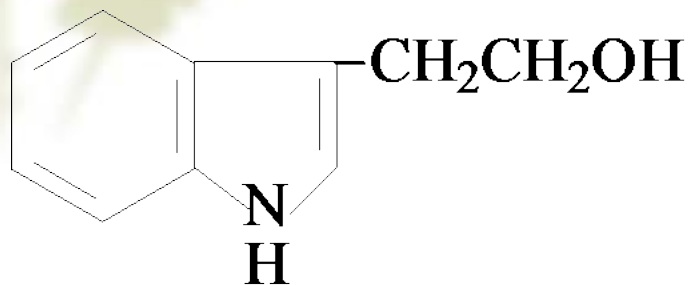
吲哚-3-丁酸

(indole-3- butyric acid,
IBA)

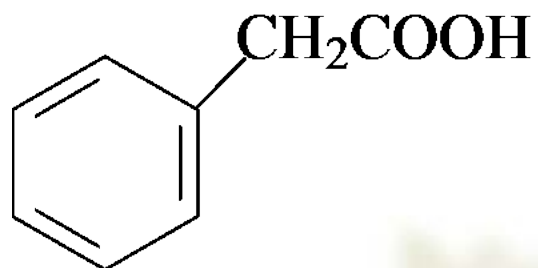


4-氯-吲哚-3-乙酸

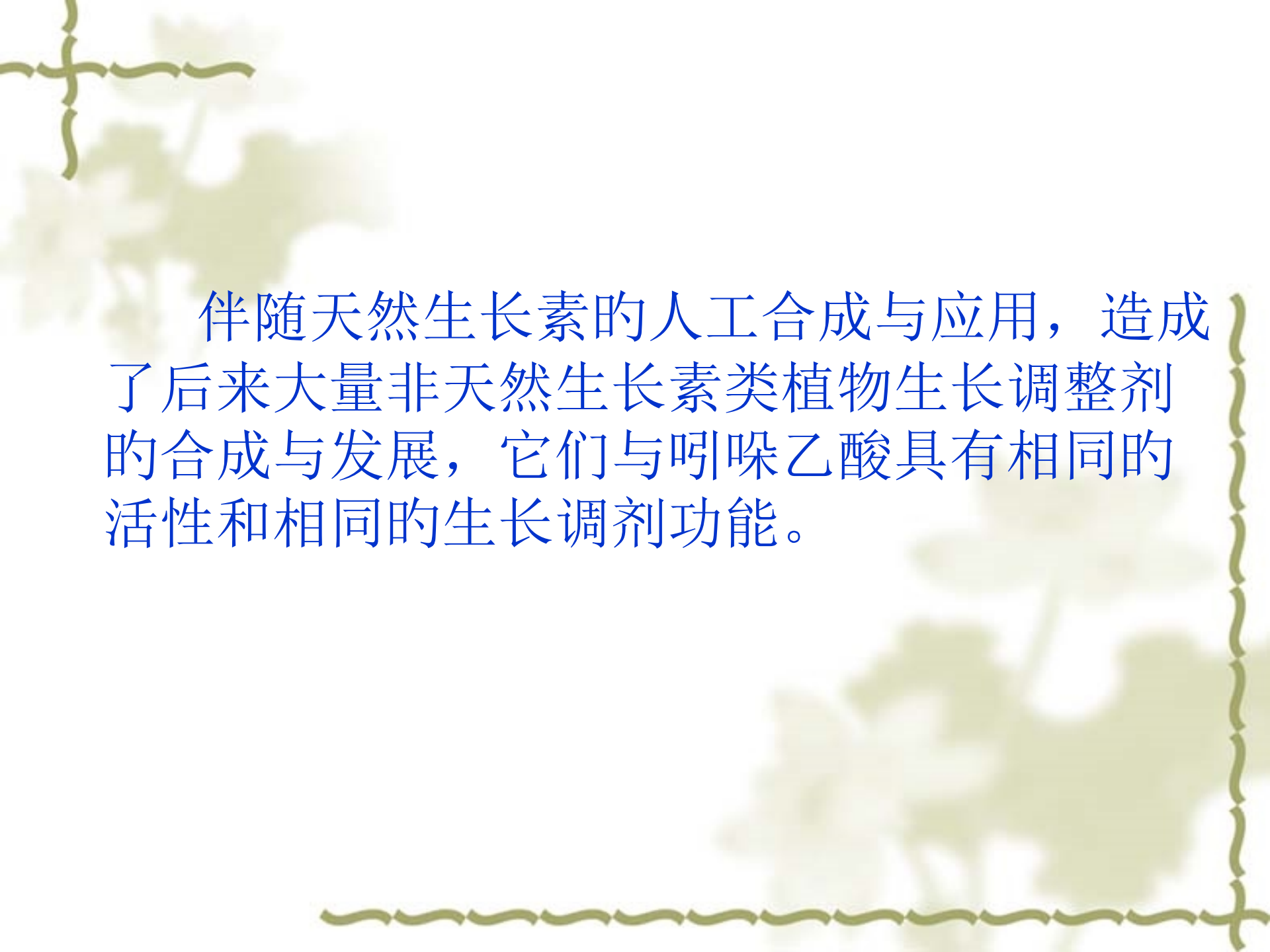
(4-chloro-indole -3-acetic acid, 4-Cl-
IAA)



吲哚-3-乙醇
(indole-3- alcohol)



苯乙酸
(phenyl acetic acid, PAA)



伴随天然生长素的人工合成与应用，造成了后来大量非天然生长素类植物生长调整剂的合成与发展，它们与吲哚乙酸具有相同的活性和相同的生长调剂功能。

(二) 生长素类的构造与活性

从化学构造看，具有生长素生物活性化合物的分子构造特征为：①具有一种芳香环（吲哚环、萘环、苯环）；②具有一种羧基侧链（乙酸、丁酸、丙酸、羧酸酯、酰胺等）；③有些物质在芳香环与羧基侧链之间有一种氧原子间隔。

生长素类植物生长调整剂可概括为三类：

一是芳香环为吲哚环，主要品种为：吲哚乙酸、吲哚丁酸、4-氯-吲哚-3-乙酸、吲哚-3-乙醇、吲哚酯；

二是芳香环为萘环，主要品种为：萘乙酸、萘乙酰胺、萘氧乙酸；

三是芳香环为苯环，该类品种也称为苯氧羧酸类植物生长调整剂，其占有主要的地位。主要构造为在苯环上连接氧基羧酸，品种之间的差别主要在苯环上取代基团和羧酸不同。经典代表为2, 4-D。

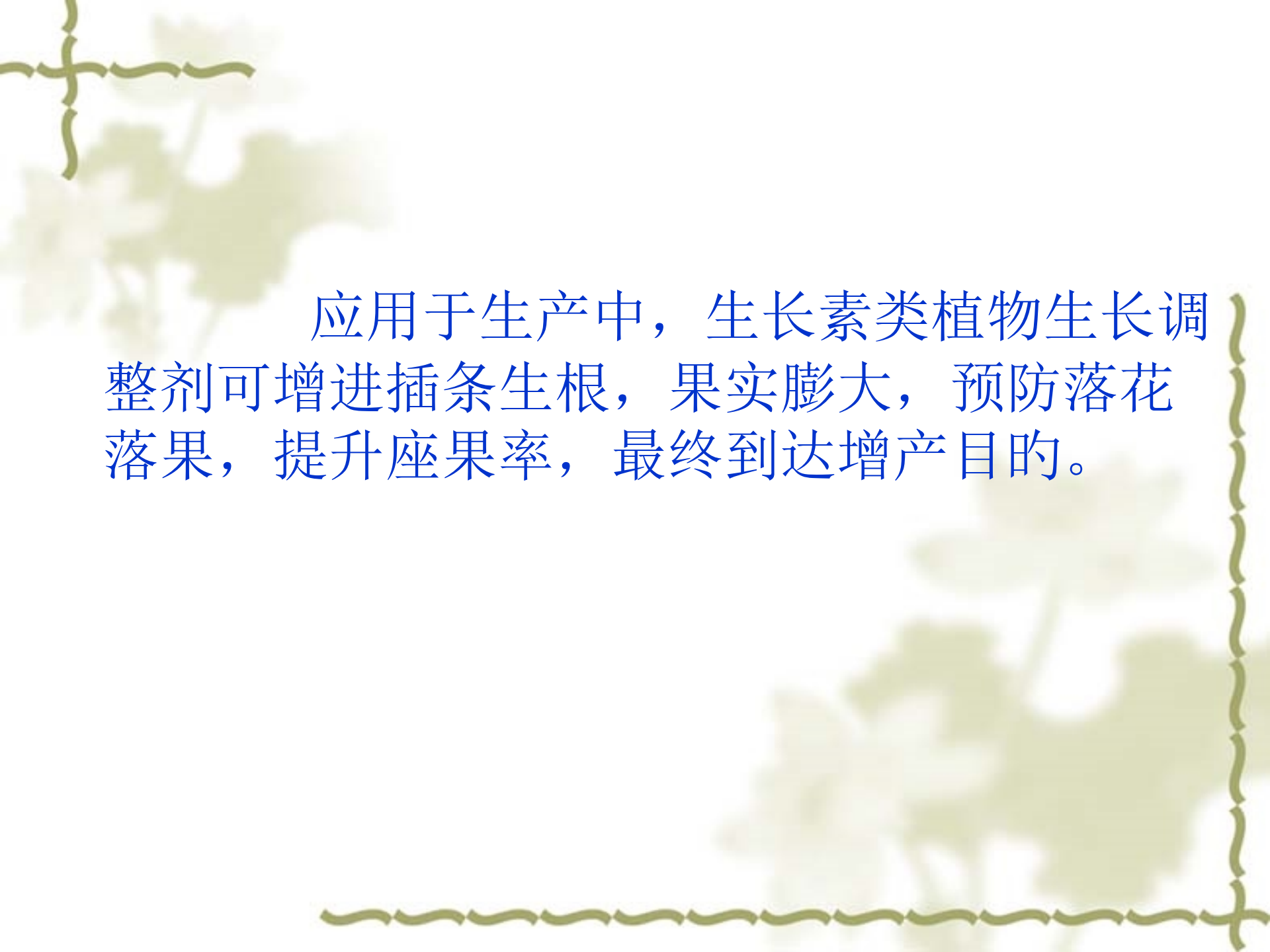
苯氧羧酸类植物生长调整剂在高浓度下对阔叶类植物有明显的克制作用，甚至可造成植物死亡，所以，某些品种可作为除草剂应用。如2, 4-D衍生物2, 4-D丁酯等就是常用的除草剂。

经过合成IAA与IAA受体结合试验取得的数据进一步揭示了IAA类化合物构造特征的化学和生物学本质。在中性pH条件下，IAA类化合物的酸性侧链上带有很强的负电性，而在距离该羧基侧链约0.5nm的芳香环上具有一种弱的正电区域。这种相距0.5nm的正负电区域构造特征可能就是具有IAA生物活性构造的化学本质所在。

生长素类化合物在水中溶解性差。吲哚乙酸在水溶液中不稳定，在酸性介质中极不稳定，已被强光破坏，在植物体内也易被吲哚乙酸氧化酶分解。而后来合成的吲哚丁酸（IBA）在光照下会慢慢分解，对酸稳定，也不易被植物中的氧化酶分解，而是代谢为吲哚乙酸。萘乙酸难溶于水，构造稳定，耐贮存性高。

(三) 生长素类的生理作用与应用

生长素类植物生长调整剂可被植物根、茎、叶、花、果吸收，并传导到作用部位，增进细胞伸长生长；诱导和增进植物细胞分化，尤其是增进植物维管组织的分化；增进侧根和不定根发生；调整开花和性别分化；调整坐果和果实发育；控制顶端优势。



应用于生产中，生长素类植物生长调整剂可增进插条生根，果实膨大，预防落花落果，提升座果率，最终到达增产目的。

生产中应用较为普遍的品种有吲哚丁酸、萘乙酸、2, 4-D、防落素等。

吲哚丁酸主要用于番茄、辣椒、黄瓜、茄子、草莓等，增进坐果和单性结实，还可增进多种植物插枝生根及某些移栽作物早生根、多生根。

萘乙酸可用于小麦、大豆、萝卜、烟草等作物浸渍处理，可促使发芽长根；用于棉花可降低自然落铃，用于果树可起到疏花作用，预防采前落果；能够作为柞树、水杉、茶、橡胶、水稻、番茄等苗木、作物的生根剂。

2, 4-D作为植物生长调整剂，主要用在番茄、冬瓜、西葫芦和黄瓜预防落花落果，但因为2, 4-D在高浓度下能够作为除草剂应用，所以，使用时一定掌握使用措施和剂量。

防落素较2, 4-D应用安全，不易产生药害，主要用于番茄预防落花落果，也可用于茄子、辣椒、葡萄、柑橘、苹果、水稻、小麦等多种作物增长产量。

二、赤霉素类 (Gibberellins)

(一) 概述

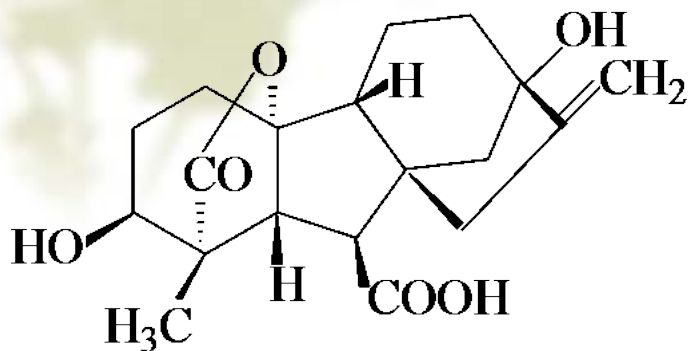
1926年日本人黑泽发觉水稻恶苗病可引起稻苗徒长，这是受赤霉菌 (*Gibberella kujikuroi*) 感染的缘故。

1935年日本东京大学农学部科学家菽田首次从水稻恶苗病菌中提取得到赤霉素 (Gibberellic Acid, GA) 晶体。

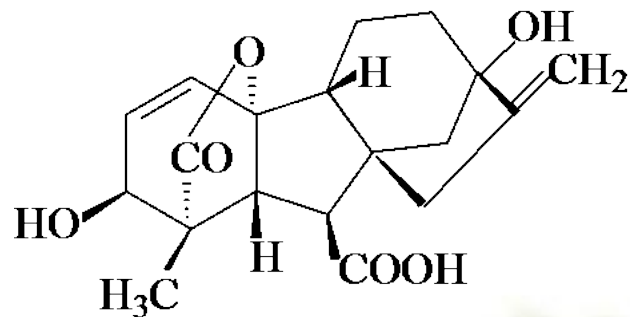
1938年菽田和住木又从赤霉菌培养物过滤液中分离纯化出两种活性物质，命名为赤霉素A和赤霉素B。

1955年Jake MacMillan首次从高等植物（未成熟的菜豆种子）中提纯出赤霉素GA₁。后来世界各国科学家在此方面开展了卓有成效的研究，从多种微生物和高等植物中分离出118种构造类似的赤霉素，分别被命名为GA_x，其中x是数字序号，按发觉的顺序命名。

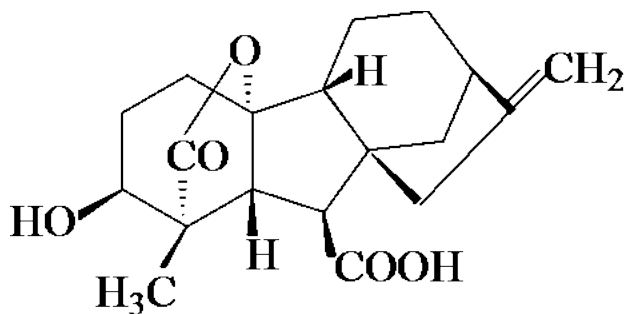
如：GA1、GA3、GA4、GA7等。



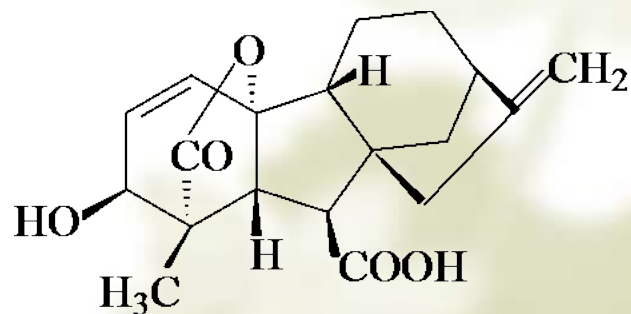
GA1



GA3



GA4



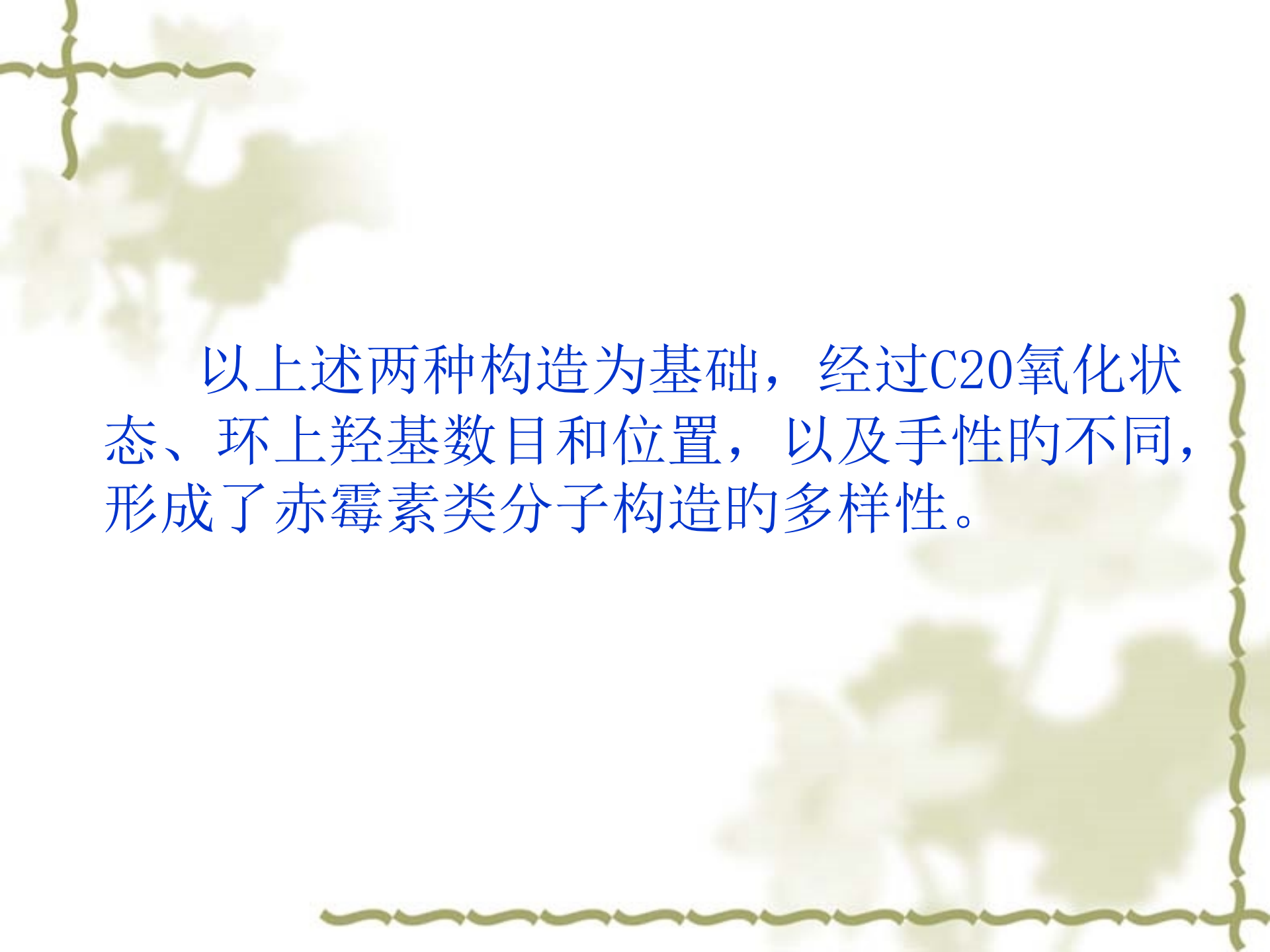
GA7

研究表白，在大量的赤霉素类物质中，只有少数几种赤霉素具有生物活性，其他都是活性赤霉素的代谢产物或中间产物。

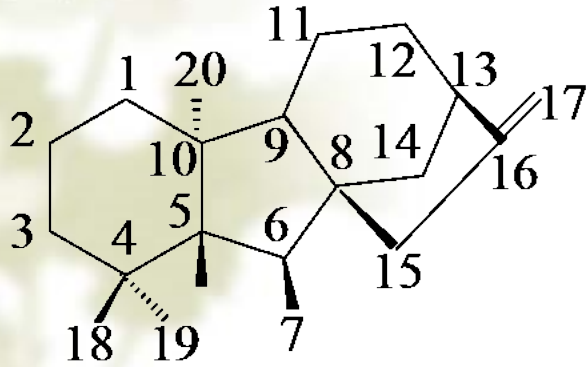
赤霉素主要经过发酵来生产，其中以GA3（赤霉酸，也称为九二0）为主，也有GA4、GA7的混合物，目前经过发酵法的改良，能够单一生产GA4。

(二) 赤霉素类的构造与活性

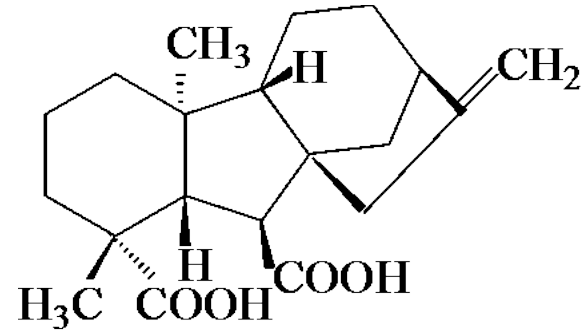
赤霉素是一类双萜酸化合物，其基本骨架为赤霉烷（ent-gibberellane），它有四个环构成，具有20个碳原子见图1。根据碳原子数量，赤霉素可分为两类：一类含20个碳原子的，称为C20赤霉素；另一类具有19个碳原子，称为C19赤霉素。C19赤霉素是在代谢反应过程中失去了第20位的碳，成果19位碳上的羧基与10位碳形成一种内酯桥。



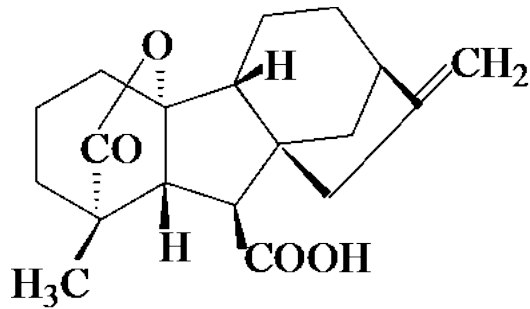
以上述两种构造为基础，经过C20氧化状态、环上羟基数目和位置，以及手性的不同，形成了赤霉素类分子构造的多样性。



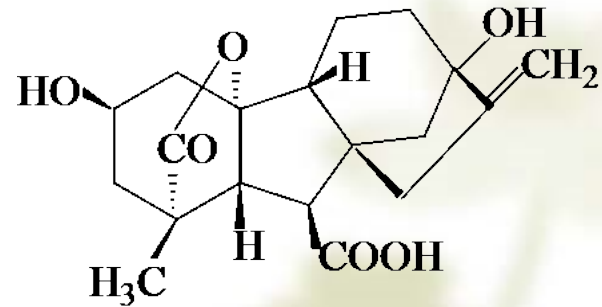
赤霉烷骨架构造



GA12 (一种C₂₀赤霉素)



GA9 (一种C₁₉赤霉素)



GA29 (C₂位羟化反应造成失活)

图1赤霉素的化学构造

具有活性的赤霉素有下列特征：①7位碳原子上均为羧基；②C19赤霉素的相对生物活性高于C20赤霉素；③ 3β -羟基、 $3\beta, 13$ -二羟基或1,2不饱和键是赤霉素具有最高生物活性的特征，如GA1、GA3、GA4、GA7等；④具有 2β -羟基的赤霉素不具有生物活性，如GA29。

(三) 赤霉素类的生理作用与应用

赤霉素的作用方式之一是提升多种水解酶的活性，其中 α -淀粉酶、核糖核酸酶、脂肪酶等，都能经过赤霉素的诱导重新形成；另一方面赤霉素也能增进溶酶体等释放出贮藏的酶类，以提升水解酶的活性，使贮藏物质大量分解，输送到新生器官共生长用。

所以，应用赤霉素可打破种子、块茎、鳞茎等植物器官的休眠，增进发芽。赤霉素的另一生理功能是增进细胞伸长和分裂，可增进植物茎节的伸长和生长。另外，赤霉素还可增进花芽分化和开花，变化雌、雄花百分比。

赤霉素的主要用途之一是种植无核葡萄、增进成熟及果实肥大，在盛花期两周前，开花后10天，用100mg/L溶液浸渍处理两次，即可使葡萄无核，成熟期提前2~3周。

赤霉素对谷物种子的 α -淀粉酶的生物合成有增进作用，所以在啤酒工业制备麦芽时，用赤霉素处理，能够提升麦芽的 α -淀粉酶的活性。

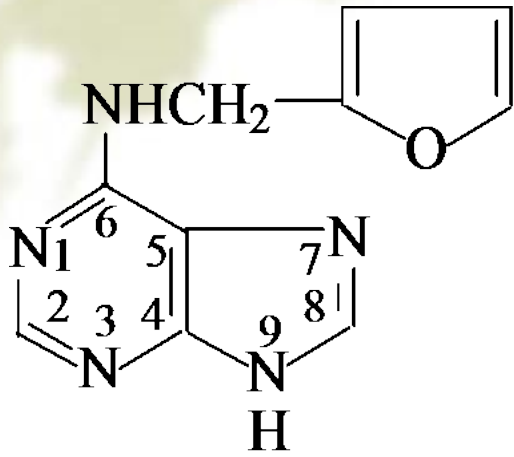
赤霉酸（GA3、九二0）用于水稻、芹菜，增产作用明显。苜氨基嘌呤与GA4、GA7混用可增进坐果、调整果型。GA4、GA7混用可使黄瓜雄花比率大大提升。

三、细胞分裂素类 (Cytokinins)

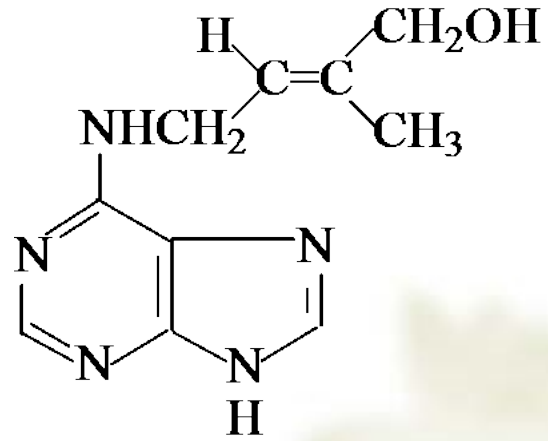
(一) 概述

1955, Miller在加热灭过菌的鲑鱼精子DNA提取物中发觉了一种具有增进细胞分裂活性的小分子化合物, 将其命名为激动素 (Kinetin, KT), 1956年经提取、纯化后, 发觉是一种腺嘌呤衍生物, 即为6-呋喃氨基腺嘌呤 (N⁶-furfurylamino-purine)。试验证明KT能够增进不含维管束组织的烟草茎髓部外植体在具有IAA的培养基上分裂增殖。

1963年，Miller和澳大利亚科学家D. S. Letham各自独立证明在未成熟的玉米籽粒胚乳中具有类似激动素活性的物质，经鉴定其构造为6-(4-羟基-3-甲基-反式-2-丁烯基氨基) 嘌呤，并将其命名为玉米素（zeatin, Z）。1965年，美国著名生理学家F. Skoog等提议使用“cytokinin”（细胞分裂素，CTK）命名植物中具有刺激细胞分裂活性的物质。



激动素 (Kinetin)



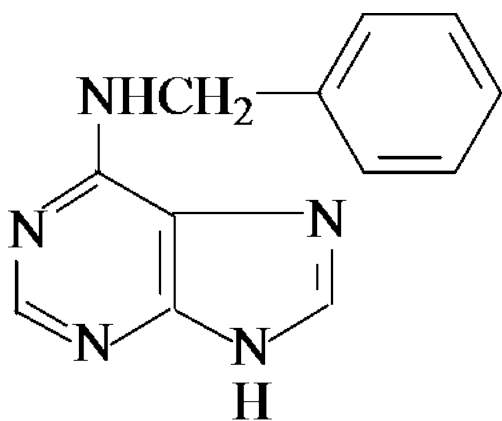
玉米素 (Zeatin)

(二) 细胞分裂素类的构造与活性

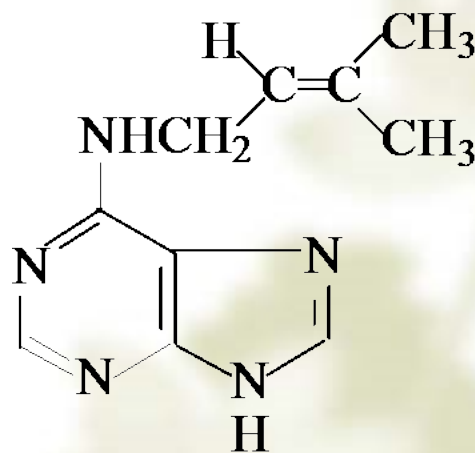
玉米素发觉后，科学家陆续分离出了其他天然的细胞分裂素。这些天然的CTK具有相同的构造，都是N-6-取代氨基腺嘌呤，不同CTK之间的差别在于腺嘌呤6位、9位上和2位上取代基的不同。其中游离态是主要的活性形式，常见的有玉米素、二氢玉米素（dihydrozeatin, DHZ）和异戊烯基腺嘌呤

（isopentenyl adenine）。玉米素侧链有一种不对称的不饱和键，所以有顺式和反式两种构型。天然玉米素都是反式的，但是顺式玉米素也体现细胞分裂素活性。多数植物中以反式玉米素为主，兼有少许的二氢玉米素和异戊烯基腺嘌呤。

基于CTK构造与活性的关系，人工合成了6-苄氨基嘌呤（6-benzylamino-purine, 6-BA）等。另外，已经人工合成了玉米素（命名为羟烯腺嘌呤，oxyadenine）、激动素（命名为糠氨基嘌呤）和异戊烯基腺嘌呤。

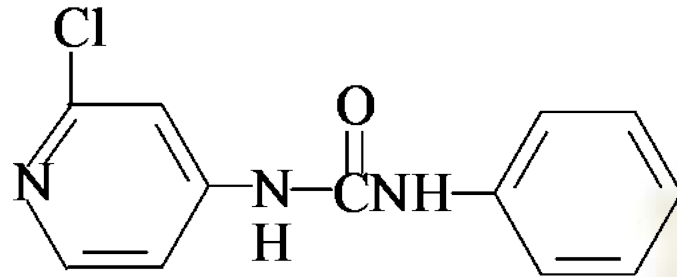


6-苄基腺嘌呤（6-benzylamino-purine）



异戊烯基腺嘌呤（isopentenyl adenine）

1977年，人们合成了具有细胞分裂素活性的化合物氯吡脌（调吡脌，脌动素，Forchlorfenuron），虽然其构造与其他细胞分裂素差别较大，但其活性比6-苄氨基嘌呤强，是目前增进细胞分裂活性最高的人工合成细胞分裂素。



氯吡脌 (forchlorfenuron)

(三) 细胞分裂素类的生理作用与应用

细胞分裂素类植物生长调整剂可被植物发芽的种子、根、茎、叶吸收，增进植物的细胞分裂、增进细胞扩大、增进芽的分化、增进侧芽发育和消除顶端优势、延缓叶片衰老。

细胞分裂素常用于组织培养中，与一定百分比的生长素混合，以增进愈伤组织细胞分裂、增大与伸长，诱导组织（形成层）的分化和器官（芽和根）的分化。在生产实践中能够延缓花卉与果实的衰老，预防离层形成，提升座果率，还可用于蔬菜保鲜等。

糠氨基嘌呤20mg/L喷洒增进多种作物幼苗生长；20mg/L喷洒芹菜、菠菜、莴苣叶片，40mg/L喷洒白菜、结球甘蓝叶片，可保绿，延长存储期。

苜氨基嘌呤在开花前后50~100mg/L浸或喷花，可增进葡萄、瓜坐果。采收前后用10~20mg/L喷洒，可延长菠菜、芹菜、莴苣等叶菜类蔬菜存储期。10~20mg/L处理作物块根、块茎可刺激膨大。

氯吡脞经根、茎、叶、花、果吸收并运送。能够增进细胞分裂，增长细胞数量，增大果实，提升花粉可育性，诱导果树单性结实，增进坐果，改善果实品质。可用于猕猴桃、桃树、葡萄果实膨大。在桃开花后30天以20mg/L喷幼果，在中华猕猴桃开花后20~30天以5~10mg/L浸果，可增进果实增大。

四、乙烯类 (Ethylenes)

(一) 概述

乙烯类植物生长调整剂可分为乙烯释放剂和乙烯合成或作用克制剂。

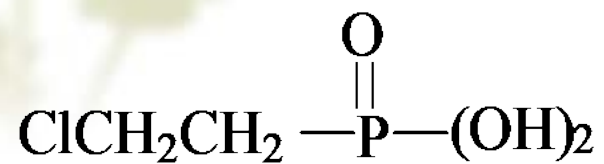
乙烯释放剂是指在植物体内释放出乙烯或增进植物产生乙烯的植物生长调整剂。乙烯合成克制剂是指在植物体内经过克制乙烯的合成，而到达调整植物生长发育的作用。

实际上，乙烯类植物生长调整剂不但增进果实的成熟、叶片的衰老、离层的形成、诱导不定根和根毛的发生，而且还具有生长延缓作用。所以，有人也将乙烯类植物生长调整剂分类于植物生长延缓剂中。

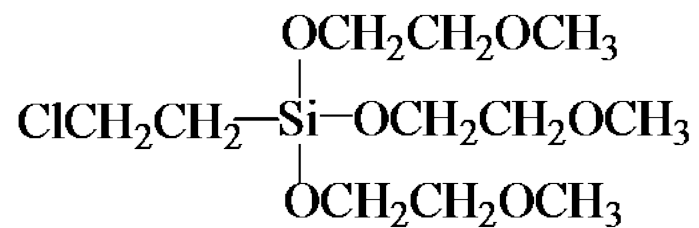
乙烯（ethylene）是构造最简朴的植物激素，普遍存在于植物的根、茎、叶、花、果实中，是植物的代谢产物。

20世纪初，人们就观察到乙烯催熟的现象，而且在1934年由R. Gane等人证明植物组织能产生乙烯。1959年，因为气相色谱技术的应用，S. P. Burg等测到果实成熟过程中乙烯产生量的变化，随即证明多种植物器官和组织能产生乙烯，并发觉乙烯的多种生理效应，乙烯的主要地位才被人们重新认识。1965年才被公以为植物激素。

乙烯因为是气体，难以在生产中应用，所以，人们合成了能够在植物体内能够释放出乙烯的化合物。如乙烯利、吲熟酯、乙烯硅和脱果硅等植物生长调整剂。这些乙烯释放剂在构造上均具有“ $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$ ”，当被植物吸收后，在植物体内两边的键断裂，生成 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ 。



乙烯利 (ethephon)



乙烯硅 (etacelasil)

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/908113067041006131>