

## 四、发展方向

粮食生产不能仅仅通过耕种新垦土地而大幅度地提高。在大多数国家，可耕地都已利用。在人口密集的发展中国家，扩大耕作区域需要巨额投资，并会危害当地的生态环境和野生动物。也不能靠滥施化肥来增产粮食。要增加世界的粮食供给，我们需要在粮食生产和储藏、土壤养分、水和燃料的保存以及通过光合作用更好地利用光能等方面有所改进。这种改进来自科学，并且在每一项改进中，化学都起着中心作用，它能日益清楚地阐明生物的生活史中的化学过程。我们正在分子水平上更好地了解那些能够受到控制的因素，以便有助于粮食增产。这些因素包括激素、信息素、自身防卫结构和在动物和作物体内起作用的养分，以及存在于它们的天敌中的各种因素。

最好能通过了解生物体系来讨论这些问题。例如，病虫害的防治就是有效增加粮食生产的一个必要条件。病虫害防治的重点曾经是使用化学药物（杀虫剂）以消灭害虫和其他有害物。这种方法的危险是破坏自然界的平衡，并将异源物质带入到环境中。我们的目的是控制害虫，而不是消灭昆虫。这样就能避免由于长期生态平衡的失调而引起的潜在危险。通过了解生物体自身的生物化学，我们就能通过一种不给自然界带来危险的途径，限制害虫对粮食生产的危害。生物体系中的这些基本问题越来越成为分子结构和化学反应方面的问题。在今后的几十年里，帮助我们供养和限制世界人口的种种研究探索中，化学将担任重要的角色。

下面几例生动地说明了在我们努力扩大世界粮食供应的过程中，化学所起着的 key 作用。

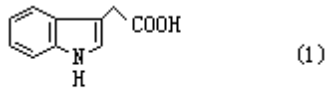
### （一）植物激素及生长调节剂

生长调节剂是低浓度条件下就能调节植物大小、外貌和形状的一类化合物。它包括机体内产生的天然化合物和来自外界环境的一些天然产物。在实验室中人们已合成了一些与生长调节剂功能相似的化合物（类似物）。这些类似物是模拟天然物质的原型而设计的，其中有些合成产物具有天然调节剂的功能，而避免了某些有害的副作用。在动物或植物体内行使调节作用的内源性物质称作激素（如生长激素和性激素），它是细胞间的化学信息。所谓植物激素包括生长物质（如植物生长素、赤霉素和细胞分裂素类）和生长抑制剂（如脱落酸和乙烯），它们在结构上似乎没有联系。

由于这些生长调节物对植物发育的每一个时期都有影响，所以对未来世界肯定有着巨大的社会和经济价值。遗憾的是，即使已知道了许多植物生长调节物质的结构，但对其活性的分子基础还是了解甚少，其中涉及不少化学反应和分子间的相互作用。因此，在开发这些知识时，化学起着不可缺少的中心作用。

科学家们在了解和控制这些被调节的生长过程方面已经取得了重要的进展。下面是几种典型的生长调节剂。要注意的是多种分子结构都能显示这类功能，通过确定这些结构的确切构成，才能取得如此重要的进展。

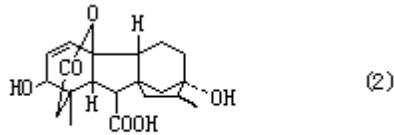
吲哚乙酸（IAA），一种植物生长素(1)



吲哚乙酸 ( IAA ) : 促进植物生物

这种化合物是第一个被鉴定的植物激素。它能促使植物生长、插枝生根，以及无受精结实。通过合成各种 IAA 类似物，便出现了第一种商品除草剂 2, 4-二氯苯氧基乙酸 ( 2, 4-D )。

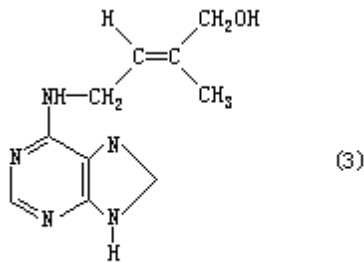
赤霉素 ( GA ) (2)



赤霉素 ( GA ) : 诱发开发

自从在水稻恶苗病菌 ( *Gibberella fujikuroi* ) 中首次发现赤霉素以来，科学家们已从植物和低等生物中鉴定出了 65 种与 GA 有关的化合物。商业上通过大量培养赤霉菌生产赤霉素。赤霉素在农业上有广泛的应用，从诱发花芽的形成到培养无籽葡萄以及啤酒工业中制造麦芽等。

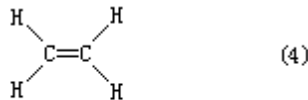
细胞分裂素 (3)



反型玉米素 : 促进种子萌发

人们分离得到的细胞分裂素是一种可以增进细胞分裂的化合物。后来又从 DNA、转移 RNA 和其它来源中分离到许多类似物，其中包括反型玉米素，并合成了许多类似物，它们能促进细胞分裂，增进开花和种子萌发，并抑制衰老。

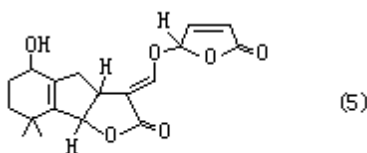
乙烯 (4)



乙烯 : 促进水果成熟

这种简单气体有像激素一样的性能。它能增进果实成熟、脱叶、发芽以及根和苗的生长等。有一种物质在 pH=4 以上能产生乙烯。现在已广泛地用它来作为果实催熟剂。人们认为乙烯可以调控植物生长素、GA 和细胞分裂素的作用。

独脚金酮 (5)

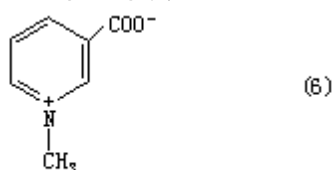


独脚金酮 : 促进杂草生长

独脚金是一种魔草。独脚金草 (*Striga*) 的种子可在土壤中休眠若干年，而当另一种植物根部释放出一种特殊的化学物质时，它就会发芽。然后这种寄生的杂草把自己附着到寄主植物的根部，靠寄主植物生存（是一种寄生植物）。近来已从棉株根部分离到这种活性物质独脚金酮，并进行了人工合成。独脚金酮和合成的类似物可以诱发寄生植物种子萌发。在谷物播种前，把这种物质撒在田里，就能诱发寄生植物发芽并因缺少寄主而死亡。因此它能有效地除去寄生植物。

#### G2 因子或 N-甲基烟酸内酯 (6)

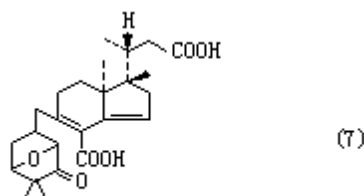
植物细胞以四个阶段的周期进行增殖。在其中的一个阶段中发现一种化合物 G2 因子。这一阶段叫作 G2 或“gapZ”期，它是生长活动的一个休止期。从 15,000 棵豌豆苗的子叶中，只能得到 1/4mg 的 G2 因子。由于 G2 因子是 G2 期和根瘤（称作固氮根瘤）形成之间的一个环节，所以它可能是一个特别重要的化合物。根瘤具有将土壤中元素氮转变成硝酸盐，起肥沃土壤的功能。



N-甲基烟酸内酯：影响固氮作用

#### Glycinoeclepin A (7)

线虫是一种微小的蠕虫，给大豆和马铃薯这些作物带来了巨大灾害。线虫卵能够在土壤中停留多年而无变化，一旦邻近的寄生植物根部释放出一种促使其孵化的物质时就孵化。第一个这种孵化启动物近来已被分离并阐明。在 17 年中在相当于 500 个足球场那么大面积耕地上种植了大豆，只获得了 1.5mg 活性物质 glycinoeclepin A，它的结构 (7) 是罕见的。人工合成的类似物将来也许能应用在农业上，迫使线虫卵在播种农作物前就开始孵化而除去。



Glycinoeclepin A：促进蠕虫卵孵化

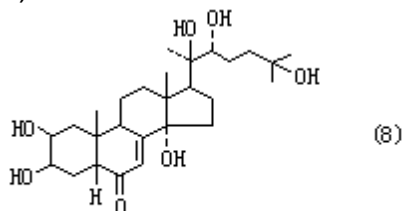
现在已经知道数百种天然的植物产物有这种或那种生长调节活性。这些化合物的结构类型极其多种多样。认识这些结构，是系统地利用它们来提高世界粮食供给的第一步。我们还处于这个重要征途的开端。

## (二) 昆虫激素和生长调节剂

作物产量经常是不稳定的，粮食收成也受到噬食粮食作物的昆虫群体的影响。认识和控制这些天敌的能力是增加全世界粮食供给的另一个因素。减少全世界营养不良和饥饿的愿望，与我们社会中对环境因素的关注并非是不相容的。我们是要控制害虫，而不是灭绝昆虫。此外，随着不断地改进检测方法灵敏度，我们相信，最终能对虫害控制进行监测，并早期预报这种控制所引起的副作用。要做到这些，我们就应当进一步了解关于昆虫的生长及其

群体的扩大等方面的基础化学知识，以便作出各种各样的选择，这些选择对维持人类的生存是必要的。

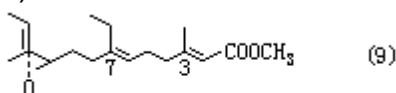
### 蜕皮激素 (MH) (8)



20-羟基蜕皮激素：引起昆虫蜕皮

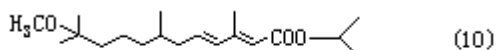
直接与昆虫的发育（通常叫做变态）有关的两类激素是蜕皮激素和保幼激素。蜕皮激素可使昆虫脱去外壳。代表性的 MH 是 20-羟基蜕皮激素(8)。从 1 吨蚕蛹（昆虫发育过程的作茧期）中可提取 9mg 该复杂物质（甾醇类）。从 1 吨小龙虾废弃物中可分离出 21mg 该物质，并证明它是甲壳动物的有活性的蜕皮激素。在植物中也发现蜕皮激素广泛存在，它们可能是植物防卫昆虫的一种物质，到目前为止，已证实有大约 50 种具有昆虫 MH 活性的甾族化合物。

### 保幼激素 (JH) (9)



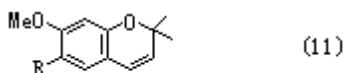
保幼激素 JH-1：延长幼虫期

这些激素具有使昆虫保持幼虫状态的倾向。第一个 JH(9)是从鳞翅目蝴蝶分离得到的。分离出 0.3mg 样品并进行了鉴定。现在已知道有几种 JH 类似物。最普遍的是 JH-1，它在 3, 7 和 11 位碳原子上带有三个甲基。它们的重要性促使人工合成了上千种有关的化合物，其中之一是蒙五一五 (methoprene) (10)。这种可被生物降解的化合物是天然激素的模拟物，所以昆虫不易对它产生抗性。它已被广泛地用作跳蚤、苍蝇和蚊子的杀幼虫剂。它可使蚕的幼虫期延长，产生较大的幼虫和蛹，在中国已被广泛用来提高蚕丝产量。



蒙五一五 (methoprene)：可被生物降解的杀虫剂

### 抗幼激素



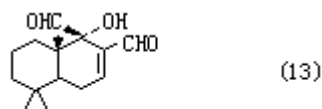
早熟素 (R代表H或OCH<sub>3</sub>)：引起早熟

这些天然的或人工合成的物质可以某种方式干扰幼虫的正常发育，对植物进行系统筛选，已鉴定出许多化合物具有 JH 活性。它们称为早熟素 (precocene) (11)。用早熟素处理某些幼虫后，它们就过早地发育成不育的小型成虫。

### 天然的防御物——拒食剂 (Antifeedants)

植物能产生和贮藏许多化学物质用于防御昆虫、细菌、真菌和病毒。其中有一类防御物质是由干扰进食的化学物质组成的。科学家们已鉴定了许多

拒食剂。它们的结构多种多样，其中茛苦楝子素 (azadirachtin) (12)可能是目前分离到的最强的拒食剂。在民间药材楝树 (*Azadirachta indica*) 的种子中找到了茛苦楝子素，只要  $2\text{ng}/\text{cm}^2$  (即  $2 \times 10^{-9}\text{g}/\text{cm}^2$ ) 的量就足以阻止沙漠蝗进食。尽管茛苦楝子素对于商业上的合成来说太复杂了，但还是有可能从栽培的苦楝子树中分离得到可供使用的数量。现在已经知道茛苦楝素没有剧烈的毒性，因为楝树的嫩枝一般可用于刷牙，叶子用作抗疟剂，果实是鸟类很好的食物。



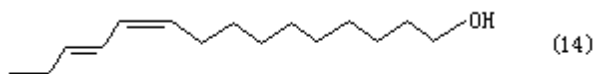
瓦尔伯醛：引起蠕虫停止进食

瓦尔伯醛 (Warburganal) 似乎对非洲陆军蠕虫具有专一活性。在喷洒过瓦尔伯醛(13)的玉米叶子上停留 30min 的昆虫将会永远失去进食能力。能分离到瓦尔伯醛的植物在东非也常被用作调味品，因而对人不会有强烈的毒性。虽然迄今还没有商品拒食剂问世，但它们却为害虫的综合防治提供了一种颇有兴趣的前景。

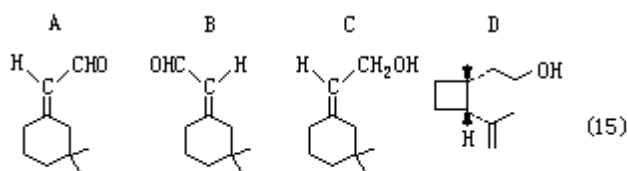
### (三) 昆虫信息素

信息素是生物体为了对同种生物的其他个体特定行为作出反应而释放出来的化学物质。它们的功能是作为交配、报警、区域性显示、攻击、巢栖交配识别以及标记等的通讯信号。近年来这些信息素作为检测或防治害虫的一种手段引起了人们的极大兴趣。

第一个被鉴定的昆虫信息素来自雌性家蚕。德国生物化学家布特南德 (Butenandt/Adolf Friedrich Johann, 1903—1995) 是结晶出昆虫激素蜕皮激素的第一人。1959 年起，经过 20 年的工作，从 50 万头雌性家蚕蛾中提取分离鉴定出其信息素结构。该信息素含有两个双键的不分枝  $\text{C}_{16}$  醇结构。此后，又鉴定了数百种信息素，其中包括农业和森林主要害虫的信息素。分离和全面地鉴定总是要处理极微量的物质。鉴定四种棉子象鼻虫信息素 (15A - D) 需要 400 万只象鼻虫和 215 磅的粪便物。

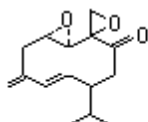


家蚕信息素：首次被鉴定的昆虫诱剂



四种棉子象鼻虫……  
(极微量……)

人们用了 30 多年时间才弄清了美国蟑螂信息素 (16) 的结构。在该工作中需要处理 75000 只雌蟑螂，最后得到的两种化合物分别只有 0.2mg 和 0.02mg。



(16)

美国蟑螂信息素性引诱剂

必须发展一些微量收集方法和分析方法，以适应微量样品的研究。现在有可能提取单个雌蛾的腺体，取出单个甲虫的肠，或直接在玻璃棉上收集在空气中传播的信息素，以及分析一个昆虫个体释放出来的信息素等。在这个领域内最重要的发展之一是触角电图技术。研究工作者用该技术从嗅觉触毛（昆虫的嗅觉器官）的单个感受器中鉴定出了这类化合物。

除了天然的信息素外，化学家也在继续合成人工信息素。带有信息素的诱饵已在世界范围内用于监视和测定害虫的群体，以便适时投用杀虫剂，减少喷药量，有效地捕杀害虫。例如，在挪威和瑞典的森林里，曾在4年里共布置了100万个以上的诱饵点，结果一年就捕捉了40亿个云杉蛀虫。信息素的另一个商业应用是把它散布在一个区域里去迷惑扰乱昆虫。1982年，美国将信息素分别施用于13万英亩棉田来控制棉红铃虫，2000英亩菊芋来控制羽蛾和6000英亩番茄来抵抗蛴虫。

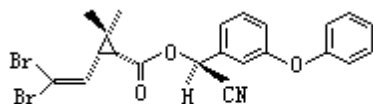
信息素的许多基本化学和生物学问题还有待回答。从长远看，信息素的研究显然会对农业和人类健康带来益处。

#### (四) 新农药

包括杀虫剂、除草剂和杀真菌剂在内的农药，是我们试图增加粮食和纤维生产以及控制昆虫传播入畜疾病所必需的。尽管近来在农药使用中已出现了较大变化，但考虑到对环境的影响使美国这样工业先进的国家，越来越难把较好的农药投入到实际应用中。开发一种新的化合物大约需时10年，耗资3000万美元。在找到一种安全性能可被接受、可以投放市场的农药以前，一般需要合成和试验1万种以上的新化合物。

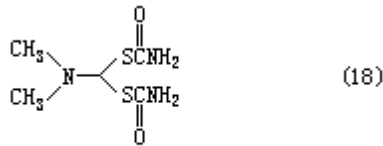
##### 杀虫剂

近来发现的最烈性杀虫剂是模仿天然产物制成的，它们作用于昆虫的神经系统。其中包括根据菊花除虫菊酯得到的Deltamethrin(17)，模仿海螺毒素的杀螟丹(cartap)(18)。此外，还有一种人工合成的Pipericide(19)。它的功能尚待进一步弄清，它具有一个少见的环状双醚结构。通过化学合成和试验已得到了其它一些结构特殊的物质，它们可以作为神经毒物、壳质合成的抑制物以及生长中断剂，例如结构式(20)等。杀虫剂化合物的日益多样性，将有助于害虫的防治。

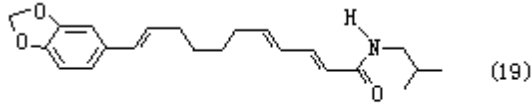


(17)

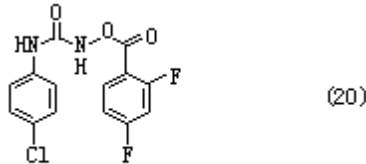
一种来自菊花的杀虫剂



杀螟丹：来自海螺的杀虫剂



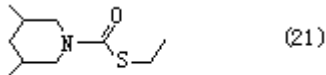
人工合成杀虫剂



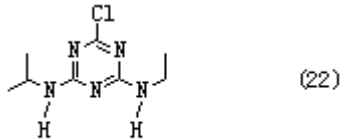
生长中断剂

### 除草剂

这是一些能够控制杂草危害的物质。80年代，化学合成得到了非常新奇的结构，并已提供了各种各样新的除草剂。如苏达灭（21）能在杂草幼苗露出地面之前起作用，莠去津（22）则能阻断杂草的光合作用。还有一些能干扰种子发芽或阻碍叶绿体形成的除草剂。



苏达灭：一种除草剂

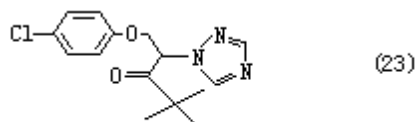


莠去津：阻断光合作用

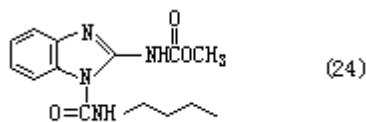
杂草对除草剂的抗药性是个越来越严重的问题。近来针对改进作物耐受性的遗传学研究使人们正在设想，把造成杂草对该除草剂产生抗药性的基因转入到作物中去。

### 抗真菌剂

能够控制由真菌和细菌引起植物疾病的抗真菌剂和抗菌素都已有了很大的进展。有些抗真菌剂，如三唑二甲酮（23）能够减慢 RNA 的合成。另外一些化合物，如苯并咪唑（24）则能阻止细胞分裂或阻碍细胞壁的形成。现在需要一些新的抗真菌剂，不仅要求它们具有高度选择性，而且还要求它们至少能够破坏一个生物学功能，使得真菌抗药性不太容易形成。



三唑二甲酮：减缓真菌生长



苯并咪唑：阻断真菌分裂

### 专门技术

在杀虫剂化学中所遇到的往往是多学科问题，因此要解决它们就需要有专门的技术、仪器和设备。杀虫剂的用量必须严格限制，以保证农作物不含有害的残留物。目前正在对一些杀虫剂残留物对环境的影响，以及安全值进行评价，某些有危害性的杂质已处于严格的控制之下，如四氯二苯噁英（除草剂 2,4,5,-T 中的杂质“二噁肟”）和其它一些除草剂中的亚硝胺（25）。杀虫剂的研究涉及许多学科，这就要求在工业、政府和大学中的科学家们加强地区、国家和国际方面的合作。



二丙基亚硝胺：一种除草剂的杂质

深入研究杀虫剂化学可以为农场主和公共卫生官员提供安全有效的手段来防治害虫。这些研究将提供一些更好的和对环境更安全的杀虫剂，替代那些剧毒或低毒的化合物。因为害虫防治是复杂的，而且对社会生活的安宁极为重要，所以长期赞助杀虫剂的研究是必要的，而且也是有益的。

## （五）固氮和光合作用

我们所有的食物供应，最终都是依赖于植物的生长。因此，增加世界食物供应的基本问题是要深化我们对植物化学的认识。由于这种特殊的需要，固氮和光合作用这两个前沿领域应特别予以重视。

### 固氮

氮是所有生命体系化学过程中的一个重要元素，也是粮食生产的限制因子。植物从土壤中吸收了氮就能生长，所以土壤中氮含量的补充就成为农业中十分关心的事，这就说明了实践了几个世纪之久的作物轮作制，以及农民在肥料选用和施肥量上氮占重要地位的原因。令人啼笑皆非的是，氮丰富得可以要多少有多少——空气中含 80% 的氮，但以单质状态存在的氮很难转变为有用的化合物。不过有些植物却知道如何将这种单质氮转变为它们能够使用的化合物。我们希望知道植物是如何进行这种化学过程的。

有些细菌和藻类能够把空气中的氮还原成氨（固氮），然后它再被植物转变成氨基酸、蛋白质以及其它含氮化合物。很多生物体具有还原氮的能力。豆科植物，包括大豆、三叶草和紫花苜蓿等，由于有生活在它们根部的细菌的帮助，所以具有固氮的能力。大约有 170 种非豆科植物也以这种方式固氮。自然界中其它的固氮者无疑是一些非共生菌和蓝绿藻。

固氮作用与固氮酶有关。固氮酶由两种蛋白质组成。一种蛋白质（二氮酶）的分子量约 22 万，含有 2 个钼原子和 32 个铁原子和 32 个活性硫原子。另一种蛋白质（二氮还原酶）是由 2 个分子量为 29,000 的相同亚基构成的，每个亚基含 4 个铁原子和 4 个硫原子。

在单质氮还原成氨的过程中，涉及到该酶复合物的各步骤，已用光谱法和纯化技术进行了部分的分析，但许多关键问题还不明了，对其它一些用这



类酶也能进行还原的化合物（如乙炔、氰化物、氢离子和环丙烷）进行研究，也许能提供一些线索。另外，一些新奇的金属有机化合物有可能作为可溶性的固氮催化剂。

在另一个活跃的前沿中，正在把遗传学的研究应用到植物的固氮中。DNA重组技术也许能控制植物的衰老，延长固氮作用的周期，或开发一些更有效的固氮菌株。更加大胆的目标是把遗传性的固氮能力转移到粮食作物上，使它们成为自养型植物。

### 光合作用

既然我们所有的粮食供给主要是依赖于植物的生长，那么，我们就会明白光合作用也是世界粮食供给的关键。在自然界中，光合作用是绿色植物、藻类和光合细菌利用太阳能驱动植物体内的化学反应的过程。这些反应把二氧化碳和水转变成可供植物细胞（其作用像化学工厂）使用的有机建筑原件，以满足植物的需要。因为每年光合作用可把  $10^{11}$  吨的碳转变成有机化合物，所以阐明光合作用的机理仍是个重要的目标。不管在本书第十五章中讨论的该领域的进展是多么迅速，但我们离在实验室中模拟天然光合作用还相差很远。尽管这样，化学家们还是期望发展利用太阳能的人工光合系统，生产出安全的、丰富的动物饲料，以增加世界食物的供给。

## （六）来自海洋的食物

地球表面 71% 是由水覆盖，所以可能用于光合作用的太阳能的三分之二被海洋吸收了。从全球来说，来自水域的食物还不像来自陆地那样重要。在 1975 年总共收获的 33 亿吨食物中，仅仅 2% 来自海洋和陆地水域。而且近年来鱼类、软体动物和甲壳类动物的收获量并没有明显增加。水产养殖和藻类、鱼类和甲壳类动物的人工养殖能取得重大进展。关于海洋生物的生命周期的化学知识对取得这种进展则是非常重要的。

## （七）生物活性分子的分离和鉴定技术

由于可供分离和鉴定的复杂分子化合物都是极微量的，所以上述那些进展就显得更加重要了。尽管一项成功的纯化工作要花费几年时间，但它却是根据分子结构解释生物行为必不可少的第一步。此外，正在建立一些新的、更好的方法，以便正确地测定出已被分离的化学物质的数量和种类。在测定生物活性分子时，这些方法本身常常是属于生物学范畴的，而化学家却能利用极微量（ $10^{-9}$ g）的材料有效地进行工作。

这些分离技术是遗传工程兴起的一个主要原因。遗传工程的一个关键工序就是能在 DNA 的特定位置进行切割，这种切割叫做“裂解”。若想知道裂解产物是什么，就要把它们分离到适当的纯度，用层析和电泳技术以满足需要。

## （八）结论

食物供应和能量的有效利用，作为未来世界的一个令人担心的问题，正

迅速地显露出来。“增产粮食”这个主题要求我们去认识自然界的基本原理，以便作出明智的选择。生物学、化学、生物化学和医学的传统学科分类正在起变化，其界限越来越模糊，随着研究深入到与生命本质有关的主题时，广泛而又交叉的研究兴趣促使科学家之间进行通力合作，则正变成普遍现象。在这些交叉的合作中，化学家起着必不可少的作用，因为我们需要知道分子的结构和形状、它们的反应性能以及怎样合成生物学上重要的分子等等。在今后的岁月里，帮助我们供养和限制世界人口的种种研究探索中，化学将担任重要的角色。