

2021年秋季学期《生命科学导论》

# 第10讲 化学生态学

沈显生

中国科学技术大学

生物学，其实是一种应用化学，而化学又是一种应用物理学。

——哈利利 《神秘的量子生命》 浙江人民出版社 2016

生命的语言不是普通算术和代数，生命的语言是化学。

——马古利斯 L. Margulis

玉米受二化螟幼虫啃咬后，玉米释放一种化学物质，把寄生蜂吸引过来，并在二化螟体内产卵，以控制害虫。 ----Science, 2000 ?

# 主要内容

- 一、化学生态学的研究历史
- 二、生物的信息化学物质
- 三、昆虫与植物的关系
- 四、他感作用与植物抗性



## 一、化学生态学的研究历史

### 1、化学生态学概念

- 化学生态学（Chemical Ecology）——研究生物之间，或生物界与无机界之间的化学联系及其分子机制的科学。化学生态学属于化学、生物学和生态学的交叉学科。
- 1970 美国的 Sondheimer 出版第一本《化学生态学》。1975 国际《化学生态学杂志》出版。



## 2、研究历史

- 中国、印度、埃及、希腊是世界文明发祥地。中医和中药都有自己的历史与成果。
- Dioskorides(公元 40-90) 《药物论》 6 卷，是西方草药学和药理学之父。——引自《伟大的博物学家》，2015，商务印书馆， P.33
- 1769-1785 从植物提取酒石酸、苹果酸等；
- 1786-1819 吗啡，奎宁等；
- 1820-1835 咖啡因，尼古丁，乌头碱等；
- 1836-1910 苦杏仁苷，长春碱等；

## 2、研究历史（续）

- 1931 年，M. Thomas 所著 Magic Mountain 中叙述经常有人在 *Anitaris toxicaria* 树下休息时，不经意地沉沉睡去。发现其叶子分泌毒雾含有**强心苷**。
- 20 世纪中期以来，研究植物**有毒物质**，或**挥发性物质**。在印度，美洲地锦 *Euphorbia maculata* 不仅果实有毒，枝条汁液有腐蚀性，灼伤皮肤，不易愈合。漆树过敏源物质是**漆酚**（卫矛可有效治理漆疮）。



### 3、国内化学生态学的发展

- 我国 20 世纪 80 年代中期，开展化学生态学研究领域：

(1) 棉铃虫防治，森林害虫防治等；

(2) 农药污染，海域污染，水体污染，土壤修复等；

阎凤鸣，《化学生态学》，科学出版社，2003



### 4、化学生态学所涉及的理论与学科

- 《生态学》和《进化论》是理论基础；
- 《植物化学》与《分析化学》是技术手段；
- 基础学科：动物学、植物学、微生物学、昆虫学等传统学科，以及生物化学、分子生物学、生理学、行为学、毒理学等。





## 二、生物的信息化学物质

- 信息化学物质是指同种或异种个体之间相互作用的化学次生物质，能影响生物的行为、习性、繁殖、捕食、生长发育和生理活动等。分为**信息素**和**他感物质**。
- **信息素**主要有：性信息素、聚集信息素、告警信息素、示踪信息素、标记信息素等。
- **他感物质**分为：利己素、利他素、拮抗素、同利素。

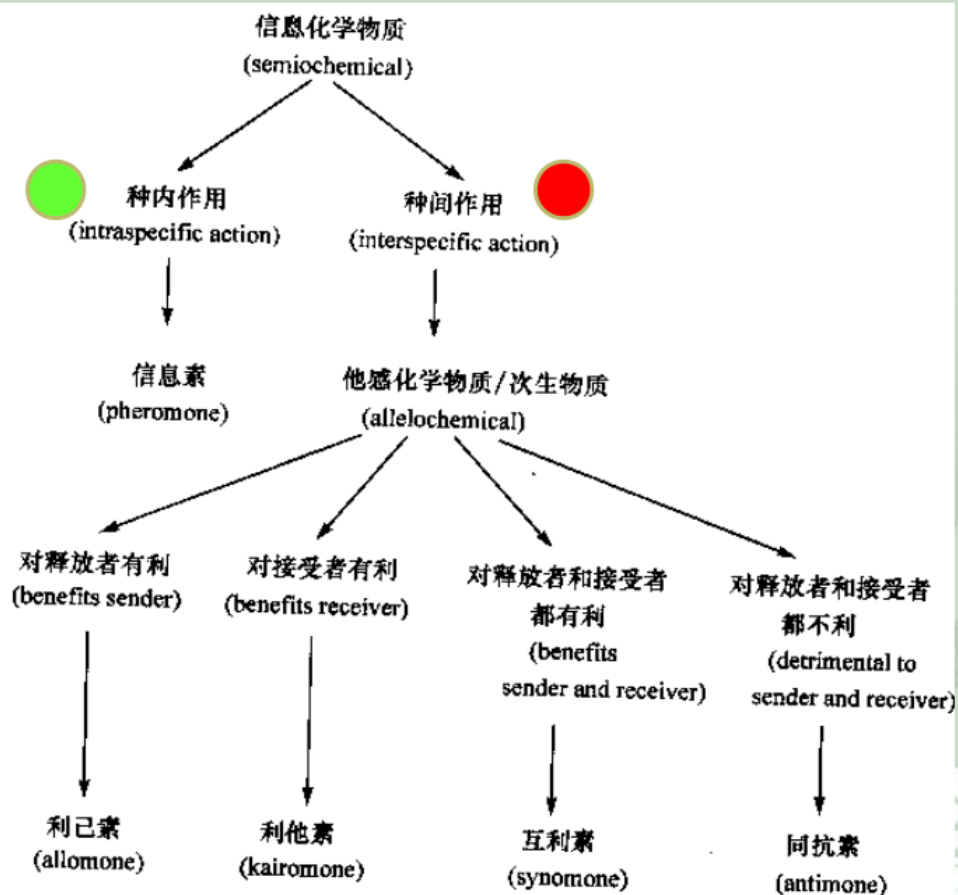


图 2.2 信息化学物质的分类

(据 Howse et al. 1998 改绘)

## (一) 生物群落中的信息网络

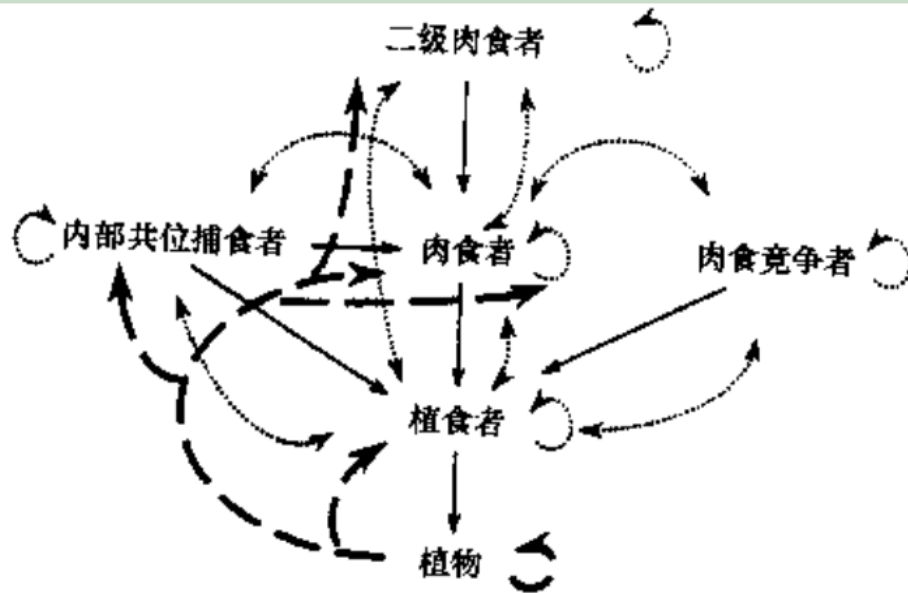


图 2.1 联系群落中各个层次的信息化学物质网  
直线代表食物网；曲线代表信息化学物质网；虚线代表通过取食诱导的植物挥发性气味的信息传递；点线代表其他信息化学物质的信息传递（引自 Vet 1999）

## 生物界的信息联系

### 1、植物与植物间的信息

- (1) 自毒作用
- (2) 他感作用
- (3) 诱导作用——寄生生物与宿主之

### 2、动物间信息联系

(例如，响蜜鸫和食蜜獾；寄生吸虫对宿主蜗牛的壳厚度可进行调节。最新研究，寄生蠕虫影响妇女生殖率，蛔虫

↑，钩虫 ↓ Science,2015-11-22)

## 生物界信息联系（续）

### 3、植物与动物间的信息

（1）机械防御（棘，刺，腺毛……）

（2）化学引诱      （3）色彩引诱      （4）味觉防御

### 4、神奇高效的化学信号——性需求、追踪、报警、谋杀（在北

非，桑氏小家蚁 *Monomorium santschii* 的蚁后入侵所罗门小家蚁 *M. salomonis* 巢穴后，指使所罗门小家工蚁自己动手杀蚁后，然后接纳新蚁后。在蚂蚁寄生关系中，像斩首穴臭蚁 *Bothriomyrmex decapitans* 和弑君穴臭蚁 *M. regicidus* 等入侵后都要杀死原来的蚁后。——（引自威尔逊《昆虫的社会》）

## （二）植物的次生化学物质

- 植物体产生的能够起到防御、刺激和吸引作用的各种化学物质。区别于基础代谢物质。
- 植物的化学组成，在**时间**上和**空间**上都是各不相同的，是异质的。植物具有物理的、化学的、发育上的有效抗性机制。（例如，枸杞的四季）
- 次生化学物质，又称次生代谢物质（过去误认为是代谢废物）：含氮化合物、萜类、酚类、炔类。  
或分为：鞣质、橡胶、树脂、香精油、生物碱。也可细分为**9**大类。



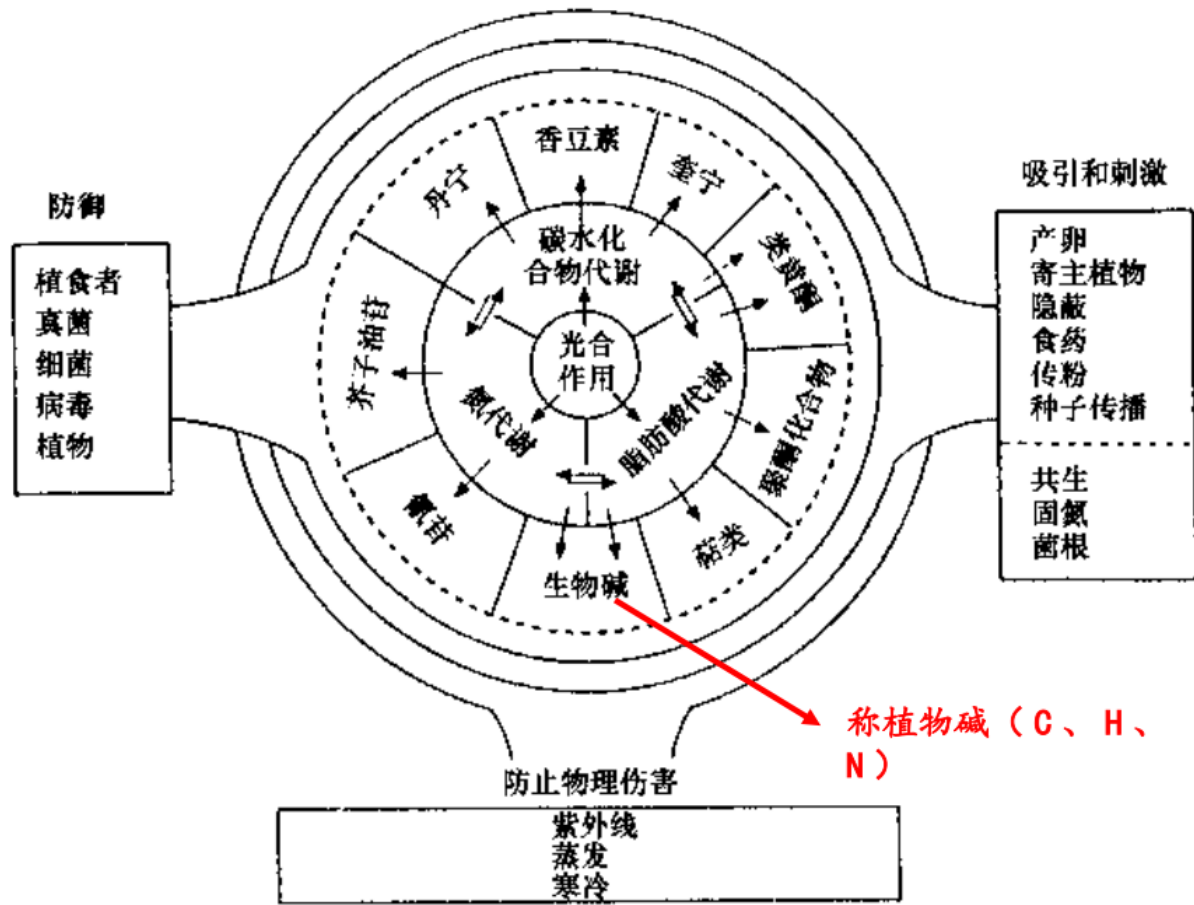
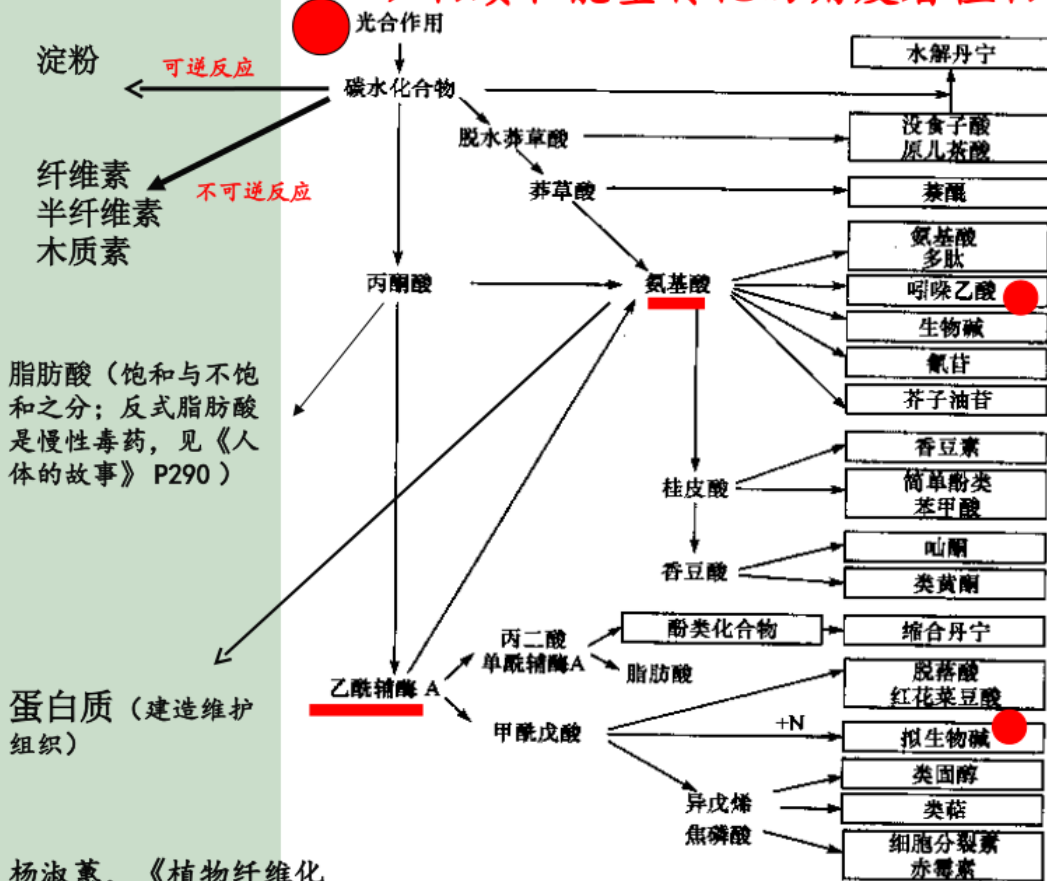


图 6.1 植物次生物质的来源和功能

(引自 Schoonhoven et al. 1998)

从物质和能量转化的角度看植物



何谓道地药材？  
是气候和土壤及水的缘故。如，  
阿胶必须是山东阿胶，东阿县的牛皮和阿井的水。  
是地道的道地药材！

杨淑蕙，《植物纤维化学》，2006，中国轻工业出版社

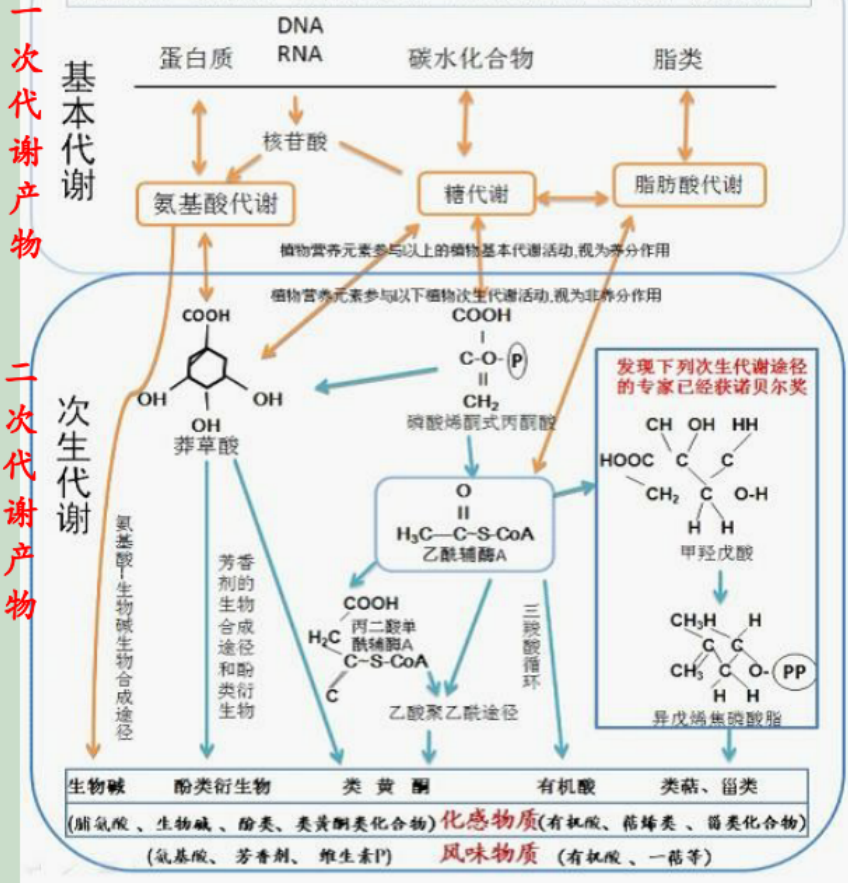
图 2.4 植物主要次生物质类别的生物合成途径

(引自 Schoonhoven et al. 1998)

# 植物的次生物质多样性

箭毒木

狼毒



有毒植物

曼陀罗



羊躑躅



8-9 枚蓇葖果

先端钝

果皮厚, 味甜, 香气

果柄弯曲



八角科八角属

八角 (茴香, 香料)

*Illicium verum* Hook. f.





8-13 蓇葖果  
先端尖锐  
果皮薄，味苦  
果柄微弯

Baidu百科

八角科八角属

红毒茴（莽草，具毒性）  
*Illicium lanceolatum* Smith



## 毒品大麻：四氢大麻酚

大麻在长江以北是经济（纤维，火麻）植物，在长江以南是毒品植物。

两个亚种：药用大麻 *Cannabis sativa* L. ssp. *indica* 印度大麻 hassen, hashish  
纤维大麻 *Cannabis sativa* L. ssp. *sativa* 驯化最早的

大麻雌雄异株。雌花序是最优质的部分（花蕾）。  
现在培育精育无籽大麻。

四氢大麻酚对大脑作用产生遗忘、引起陶醉与幻想。  
是美国警察逮捕最多的吸毒人员。

2002 科大外教吸毒  
巢湖农民种黄蜀葵被举报





# 从植物化学看烟草的危害

- 烟草属植物共 66 种，原产美洲。只有普通烟草（红花烟草）（*Nicotiana tabacum* L.）和黄花烟草（*N. glauca* L.）2 种被人们利用。
- 哥伦布发现新大陆把烟草带回欧洲。美洲印第安人采集烟草叶片咀嚼或放在火上烧，品其味，闻其香，具放松精神的效果。1558-1562 欧洲和北美大量人工种植。1876，纸包装的香烟在费城世界博览会亮相，香烟开始引起人们的兴趣。1880，发明卷烟机。日本天皇几次下令禁止民众和军人吸香烟，最终无效。
- 明清时期，烟草引入我国，作药用植物。在清朝，黄花烟草由俄国引入栽培。1900 台湾种植普通烟草，1910 江淮流域种植烟草。

## 烟草的危害（续）

- 烟草的烟叶类型：烤烟，晒烟，晒黄烟，晒红烟，捂烟，熏烟，晾烟（雪茄）。遗传品种：白肋烟，香料烟，黄花烟（物种差异，产生尼古丁，高纬度高海拔）。
- **烟草毒性**：除尼古丁外，含多种重金属和放射性同位素，烟雾中含近 4000 种化学物质。1932 《美国癌症杂志》报道肺癌与香烟有关。目前，**低焦油香烟**低危害是一场骗局！
- 《世界卫生组织烟草控制框架公约》2003.5.21  
监测烟草使用；警示烟草危害；保护人们免受烟草危害；禁止烟草广告与促销；提高烟税。  
我国已经明文规定，**公共场所禁止吸烟**！西安市做法。

宾馆的无烟房（合肥望江宾馆有）

蚂蟥怕香烟和盐。

## 植物次生物质生物碱——环巴胺



在美国西部犹他州的百合科加州藜芦 (*Veratrum californicum*) 植物体中含有具毒素环巴胺, 母羊在妊娠期 2 周前后如果误吃了加州藜芦, 会致胎儿畸形, 这种独眼畸形羔羊的鼻子和嘴巴也不正常。在 20 世纪早期的一段时间, 该州的新生羔羊约 5-7% 患病。后来, 人们研究发现, 是环巴胺影响胚胎早期发育, 引起畸形, 是前脑和眼睛不能够分为 2 个对称结构, 称前脑无裂畸形症。

像环巴胺一样的药物, 有沙利度胺 (俗称反应停, 一度用于治疗孕妇的妊娠期反应), 也会引起畸形“海豹型胎儿”。

[美] 卡罗尔著, 无尽之形最美——动物建造和演化的奥秘, 上海科学技术出版社, 2012

## 植物的信息化学物质主要 6 碳化合物

表 6.4 植物绿叶化学物质

醇 类	酯 类	醛 类
3-(E)-己烯醇(3-(E)-hexenol)		3-(E)-己烯醛(3-(E)-hexenal)
3-(Z)-己烯醇(3-(Z)-hexenol)		3-(Z)-己烯醛(3-(Z)-hexenal)
2-(E)-己烯醇(2-(E)-hexenol)	酯 类	2-(E)-己烯醛(2-(E)-hexenal)
己烯醇(hexenol)		正己烯醛( <i>n</i> -hexenal)

信息物质的功能不同:

例如, 植物花期的己烯醇, 吸引昆虫传粉; (醇具香味)

植物营养期的己烯醛, 驱赶昆虫。

当叶片受伤后, 向大气中释放经过氧化的脂类产物 (亚油酸)。



# 植物萜类的主要类别

萜类	通式	植物产物
半萜 hemiterpenoid	$C_5H_8$	精油
单萜 monoterpenoid	$C_{10}H_{16}$	精油
倍半萜 sesquiterpenoid	$C_{15}H_{24}$	精油、树脂
二萜 diterpenoid	$C_{20}H_{32}$	树脂、苦味提取物
三萜 triterpenoid	$C_{30}H_{48}$	树脂、乳液、角质
四萜 tetraterpenoid	$C_{40}H_{64}$	色素

萜类定义：由多个异戊二烯单元首尾相连形成的开链或环状化合物。

五萜以上为多萜  $(C_5H_8)_n$  ( $n > 8$ )

本人在 1986-1990 在大别山做植物芳香油提取工作，发现了樟树的化学型。

## 化学结构与气味的奥秘

柠檬烯与苦艾萜互为镜像分子，但气味不同。两者的不同仅仅在于底部化学基团的朝向，柠檬烯中基团指向纸面内（化学键尖端向下）而苦艾萜中基团朝向纸面外（化学键尖端向上）。当然，苦艾萜分子可以翻转 180° 使底部的化学基团向柠檬烯一样朝向纸面内，但如果这样，其碳碳双键将换到左侧而不再位于右侧，与柠檬烯依然不同。这对分子就像一双手或手套的左和右。

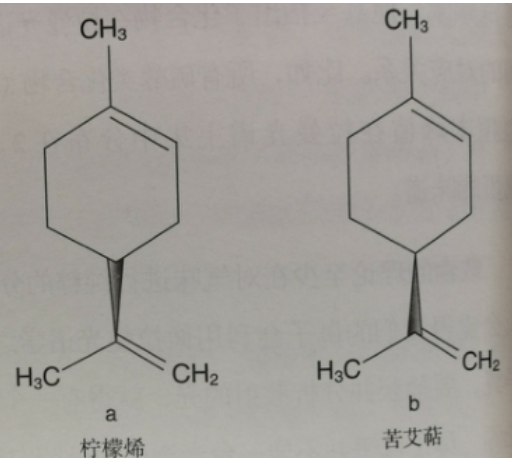
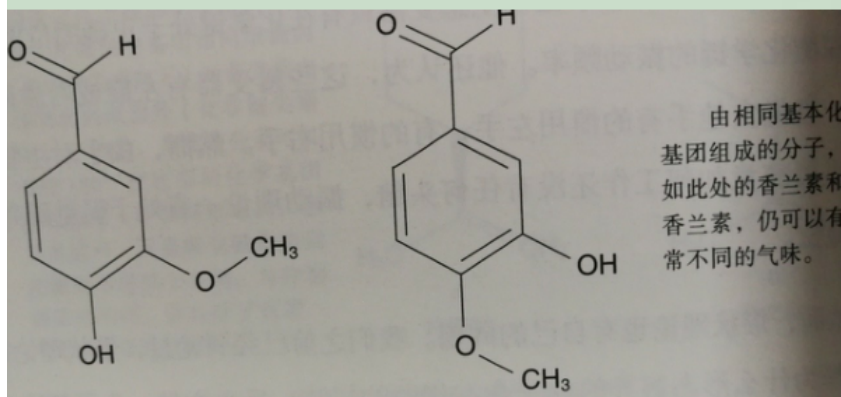


图 4-3 柠檬烯与苦艾萜分子



由相同基本化学基团组成的分子，如此处的香兰素和异香兰素，仍可以有常不同的气味。

香兰素  
香兰素（香草味）

异香兰素  
异香兰素（难闻药味）

图 4-4 香兰素和异香兰素分子

柠檬烯 和 苦艾萜  
镜像关系，但气味不同

——引自哈利利《神秘的量子生命》浙江人民出版社 2016



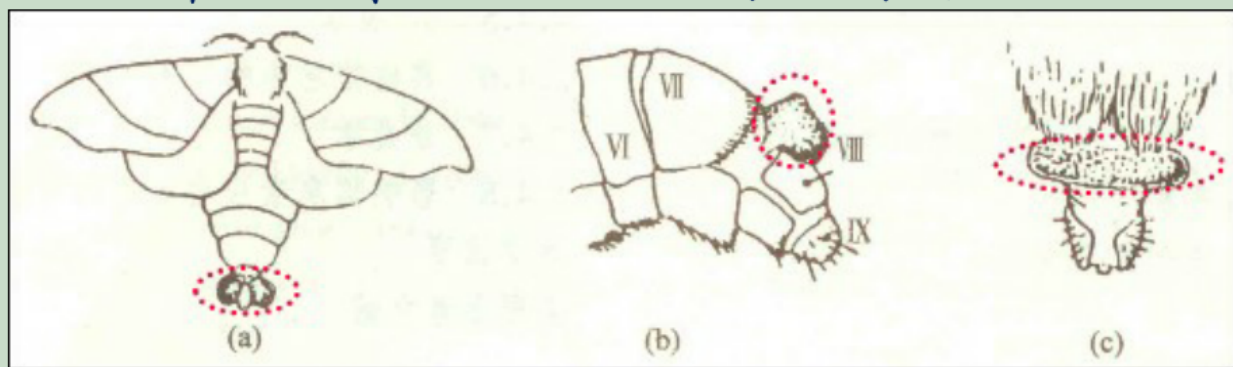
### (三) 动物的信息素

目前已经研究了 300 种昆虫的信息素

- 信息素组成：主要成分、次要成分、辅助成分；
- 信息素类型：醇类、酯类、醛类；
- 作用方式：功效取决于结构、活性、比例、浓度、抑制剂、促进剂的相关性。
- 发现雌性果蝇的信息素可以激活雄性果蝇大脑中的神经元，使得雄性果蝇相互之间的攻击性降低。（Nature Neuroscience, 2013.11.17）
- 动物也具有其他感物质。



#### 鳞翅目雌虫分泌信息素的腺体



家蚕

紫罗兰蛱蝶

动物的信息素功能<sup>冬夜蛾</sup>多样，成分复杂：气味标记；性吸引；猎物标记；同伴通讯；报警等。

动物的防御性（他感）物质有特殊功能，分泌量大，有储存器官（蚁酸；蛇毒；黄蜂的二庚酮；步甲虫的过氧化氢）。

动物闻气味的途径：形状模型；振动模型；刷卡模型（嗅觉的量子计算机）

### 三、昆虫与植物的关系

有花植物与昆虫的关系是复杂多样的，相互依存，互惠互利，协同进化，偏害或偏利。

孢子植物和裸子植物与昆虫的关系简单；这些植物是风媒植物或水媒植物。

昆虫可捕食这些植物（如松毛虫）；但有些植物却让昆虫望而生畏。



#### (一) 植食性昆虫的数量

表 5.1 不同昆虫目中植食性昆虫的种类数量

昆虫目	种类总数/种	植食性种类		昆虫目	种类总数/种	植食性种类	
		种数/种	所占比例/%			种数/种	所占比例/%
鞘翅目	349 000	122 000	35	半翅目*	59 000	53 000	91
鳞翅目	119 000	119 000	100	直翅目	20 000	19 900	100
双翅目	119 000	35 700	30	缨翅目	5 000	4 500	90
膜翅目	95 000	10 500	11	蜻 目	2 000	2 000	100

\* 指广义半翅目，包括通常意义上的半翅目和同翅目（引自 Schoonhoven et al. 1998）。



表 5.2 一些植食性昆虫类群的取食范围\*

昆虫类群	取食下列范围植物的昆虫种数比例/%		
	只 1 个植物属	只 1 个植物科	多于 1 个植物科
木虱科 (Psyllidae)	94	3	0
蚜亚科 (Aphidinae)	91	7	2
小蠹科 (Scolytidae)	59	38	3
盾蚧科 (Diaspididae)	58	8	34
缨翅目 (Thysanoptera)	56	15	29
蛱蝶科 (Nymphalidae)	56	11	33
灰蝶科 (Lycaenidae)	55	14	31
粉蝶科 (Pieridae)	33	53	14
凤蝶科 (Papilionidae)	25	21	54
其他大型鳞翅目昆虫 (other Macrolepidoptera)	17	23	60

\* 引自 Schoonhoven et al. 1998。

## 许多昆虫的食谱很宽

表 5.3 5 个典型的多食性昆虫的取食植物范围\*

昆虫种类	取食植物种数	昆虫种类	取食植物种数
烟粉虱 ( <i>Bemisia tabaci</i> ) (同翅目)	506	美国牧草盲蝻 ( <i>Lygus lineolaris</i> ) (半翅目)	385
舞毒蛾 ( <i>Lymantria dispar</i> ) (鳞翅目)	>500	日本弧丽拔 ( <i>Popillia japonica</i> ) (鞘翅目)	295
沙漠蝗 ( <i>Schistocera gregaria</i> ) (直翅目)	>400		

\* 引自 Schoonhoven et al. 1998。

昆虫的食谱是随环境资源而变化的，野外考察发现，如今的昆虫竟敢食用土农药植物博落迴，看来生物农药是没有发展前途了。



# 植物中各类次生物质的分布

表 6.1 在植物-昆虫关系中具有重要作用的植物次生物质的主要类别\* (到 1998 年)

类 别	已知数量	在微管植物中的分布	生理功能
<b>含氮化合物</b> (Nitrogen-containing compound)			
生物碱 (alkaloid)	10000	在被子植物中 (特别在根、叶和果中) 广泛存在	多数有毒、味苦
胺 (amine)	100	在被子植物 (通常在花) 中广泛存在	多数有拒斥作用
非蛋白质氨基酸 (amino acids, non-protein)	400	在豆科植物中, 但亦相对广泛存在	多数有毒
氰苷 (cyanogenic glycoside)	50	偶尔 (特别在果和叶中)	剧毒 (以 HCN)
芥子油苷 (glucosinolate)	100	十字花科和 10 个其他科	辛辣、味苦 (以 异硫氰酸盐)
<b>萜类 (terpenoid)</b>			
单萜 (monoterpene)	1000	精油中广泛存在	令人愉快的气味
倍半萜 (sesquiterpene)	3500	被子植物 (特别是菊科) 中, 精油和树脂中	有些有毒、味苦

请见续表



续表

类 别	已知数量	在微管植物中的分布	生理功能
双萜 (diterpene)	3000	广泛存在, 特别在乳液和树脂中	有些有毒
皂角苷 (saponin)	600	70 多科 (特别是 Liliiflorae、茄科、玄参科)	有毒 (溶血作用)
柠檬苦素类 (limonoid)	300	主要在芸香科、楝科	味苦
葫芦素 (cucurbitacin)	50	主要在葫芦科	味苦、有毒
卡烯内酯 (cardenolide)	150	12 个被子植物科 (特别是夹竹桃科、萝藦科)	有毒、味苦
类胡萝卜素 (carotenoid)	600	普遍存在于叶片, 也常在花、果中	色素
<b>酚类 (phenolic)</b>			
简单酚类 (simple phenol)	200	普遍存在于叶片, 也常在其他组织中	抗菌
类黄酮 (flavonoid)	8000	在被子、裸子和蕨类植物中普遍存在	常为色素
(包括丹宁 tannin)			
醌类 (quinone)	800	广泛存在, 特别在鼠李科中	色素
<b>聚乙酸酯 (polyacetate)</b>			
多炔	750	主要在菊科和伞形科中	有些有毒

\* 引自 Harborne 1993; Schoonhoven et al. 1998。



## (二) 昆虫对寄主植物的选择和利用

### ■ 1. 昆虫对植物的选择

选择过程3阶段：寻找-定向阶段；降落着陆阶段；接触评价阶段。

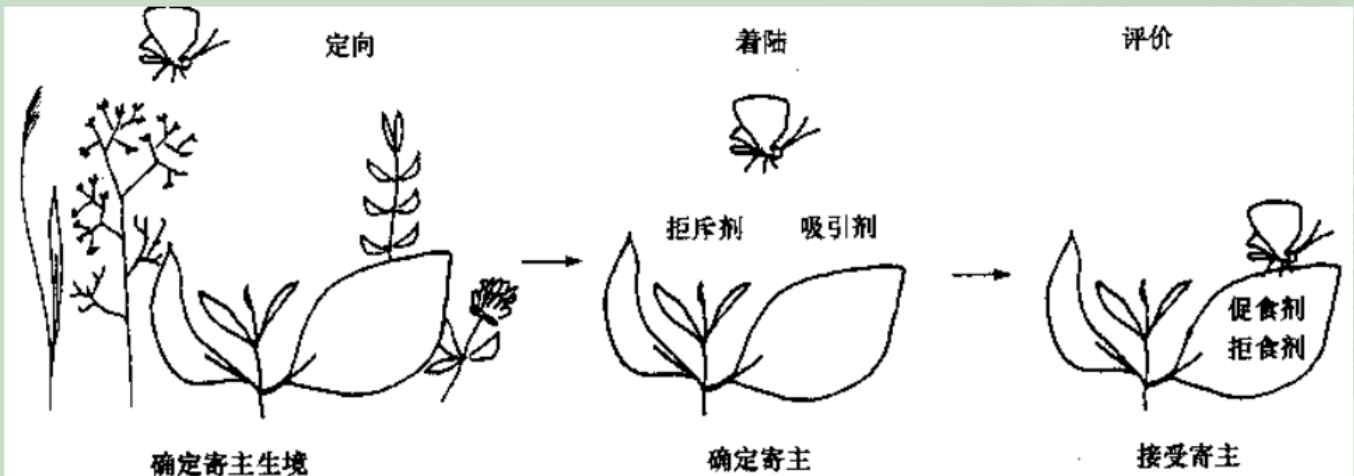


图 7.1 鳞翅目昆虫寄主选择和产卵的行为顺序及所涉及的信息化学物质  
(据 Ramaswamy 1988, Renwick 1989 改绘)

### 植物对动物选择：引诱或拒绝动物传播种子

- 诱惑手段：颜色；气味；味道；触觉；养分。
- 拒绝手段：
  - ① 涩味：单宁。保护幼果，避免种子浪费。
  - ② 酸味：苹果酸、酒石酸、柠檬酸。保护幼果。
  - ③ 苦味：生物碱（黄连碱、黄檗碱）。果实不需要动物帮忙。
  - ④ 下毒：夹竹桃科的海果 *Cerbera manghas* 全身具毒汁液，果皮含海果碱、苦味素、氰酸、生物碱。海果碱毒素会阻断心脏钙离子通道，导致动物或人死亡。



## 植物对捕食的响应：北美洲的例子

- 1981，舞毒蛾在美国东部的橡树林大面积暴发，可1982年，这些被危害的橡树生机盎然。原因是植物分泌丹宁酸，导致害虫死亡、食欲不振、行动呆滞。
- 1970，阿拉斯加的野兔泛滥，啃食植物嫩芽和根系，破坏非常严重。不久，发现大量野兔生病、死亡。发现是植物产生有毒的萜烯。



## 2. 昆虫对植物毒素的反应策略：

行为适应——避毒

结构适应——储毒

生理生化适应——解毒

植食性昆虫可算得上分类学家

鳞翅目完全变态：

成虫

----- 卵

----- 幼虫

----- 蛹

昆虫凭借形态记忆  
和味觉识别植物

寻找阶段

寄生阶段

啃食

拟态过冬



## 昆虫取食在叶片上的部位不同，避开毒

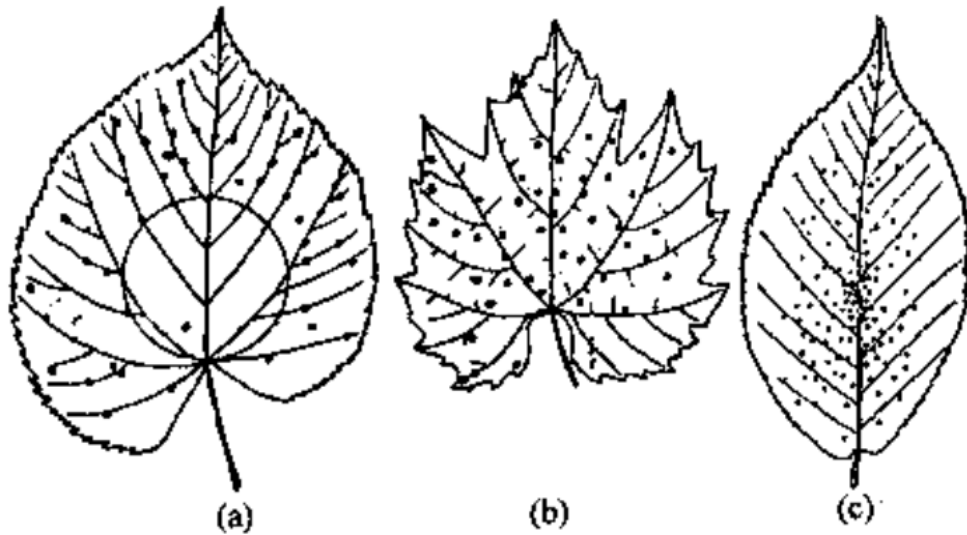


图 5.3 蛀孔在 3 种寄主植物上的分布

(a) *Brachys* 在椴树 (*Tilia* sp.) 上的 50 个蛀孔; (b) 一种日蛾 (*Antispila viti-cordifoliella*) 在葡萄 (*Vitis vinifera*) 上的 50 个蛀孔; (c) 一种细蛾 (*Lithocolletis ostryarella*) 在一种铁木 (*Ostrya* sp.) 上的 100 个蛀孔 (引自 Frost 1942)

### (三) 传粉昆虫与花的关系 (自学)

- 共生关系
- 花的恒定性
- 花的识别 (昆虫独特的识别方法)
- 传粉的能量消耗
- 植物的“奖励”策略
- 信息物质 (膜翅目昆虫对花的信息物质反应敏感; 自己留下信息物质告诉同伴)
- 昆虫在花 (簇) 中的运动
- 植物个体间的竞争
- 协同进化——两种生物之间的军备竞赛或相互适应的过程



## (四) 次生物质在 3 级营养关系中的作用

- 三级营养关系——①寄主植物—植食性昆虫—天敌；  
② 微生物—植物—昆虫。

- 次生物质在植物—植食者—天敌关系中的关系

(1) 互利素 *synomone* 对释放者和接受者都有利；植物产生互利素，植食者产生互利素。(植物蜜腺)

(2) 同抗素 *antimone* 该物质对接受者产生的反应，对释放者和接受者都不利；(病原微生物与植物)

(3) 利他素 *kairomone* 对释放者不利，而对接受者有利；分为：植物产生的，植食者产生的，捕食者产生的。  
(松小蠹；蚊母树；露兜树)

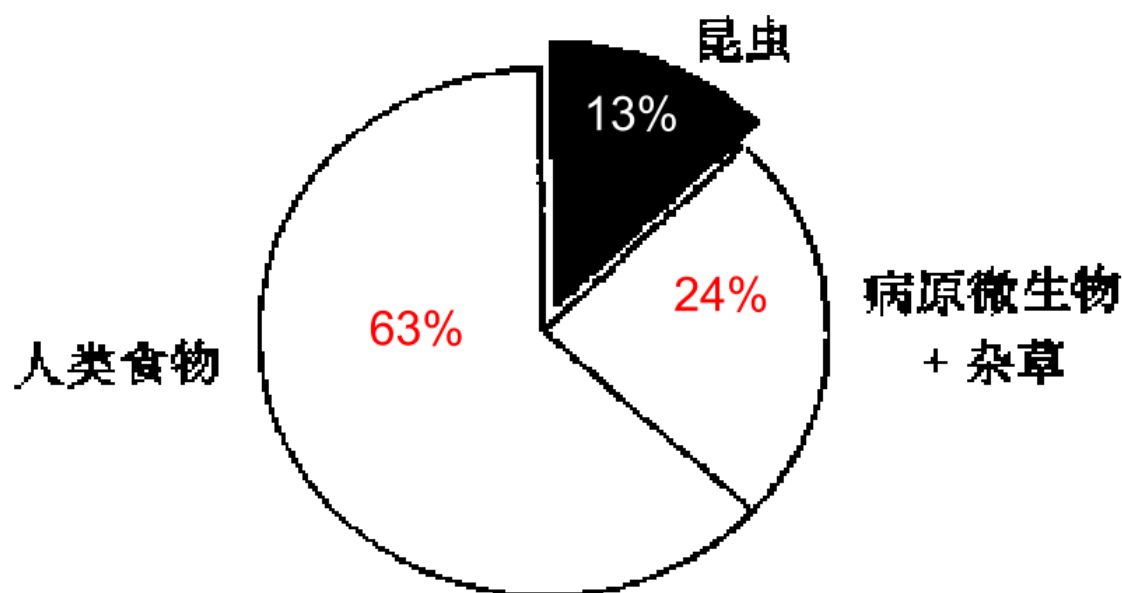
(4) 利己素 *allomone* 对释放者有利，对接受者不利。  
分为：植物产生的，植食者产生的，捕食者产生的。

(沈佐锐，昆虫生态学及其害虫防治的生态学原理，2009，中国农业大学出版社)

表 3 植物-食植性昆虫-天敌昆虫间的相互关系

植物(Plant)	植食性昆虫(Phytophagous Insect)	天敌(Insect Enemy)
水稻(Rice)	褐飞虱( <i>Nilaparvata lugens</i> )	稻虱缨小蜂( <i>Anagyrus nilaparvataeo</i> )
水稻(Rice)	褐飞虱( <i>Nilaparvata lugens</i> )	黑肩绿盲蝽( <i>Hinus lividipennis</i> )
水稻(Rice)	白背飞虱( <i>Sogatella furcifera</i> )	稻虱缨小蜂( <i>Anagyrus nilaparvataeo</i> )
水稻(Rice)	白背飞虱( <i>Sogatella furcifera</i> )	黑肩绿盲蝽( <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> )
茶(Tea)	茶尺蠖( <i>Ectropis oblique</i> )	绒茧蜂( <i>Apanteles sp</i> )
茶(Tea)	茶蚜( <i>Toxoptera aurantii</i> )	蚜茧蜂( <i>Aphidius sp</i> )
茶(Tea)	茶蚜( <i>Toxoptera aurantii</i> )	中华草蛉( <i>Chrysopa sinica</i> )
茶(Tea)	茶蚜( <i>Toxoptera aurantii</i> )	七星瓢虫( <i>Coccinella septempunctata</i> )
茶(Tea)	茶蚜( <i>Toxoptera aurantii</i> )	异色瓢虫( <i>Leis axyridis</i> )
茶(Tea)	假眼小绿叶蝉( <i>Empoasca vitis</i> )	白斑猎蛛( <i>Evarcha albaria</i> )
棉花(Cotton)	棉蚜( <i>Aphis gossypii</i> )	棉平突蚜茧蜂( <i>Lysiphlebia japonica</i> )
木薯(Cassava)	<i>Phenacoccus manihoti</i>	<i>Apoanagyrus lopezi</i>
棉花(Cotton)	棉铃虫( <i>H. armigera</i> )	中红侧沟茧蜂( <i>Microplitis mediator</i> )
烟草(Tobacco)	棉铃虫( <i>H. armigera</i> )	中红侧沟茧蜂( <i>Microplitis mediator</i> )
蕃茄(Tomato)	棉铃虫( <i>H. armigera</i> )	中红侧沟茧蜂( <i>Microplitis mediator</i> )
辣椒(Hot pepper)	棉铃虫( <i>H. armigera</i> )	中红侧沟茧蜂( <i>Microplitis mediator</i> )
十字花科蔬菜(Brassica plants)	小菜蛾( <i>Plutella xylostella</i> )	菜蛾绒茧蜂( <i>Cotesia plutellae</i> )

### (五) 昆虫对植物危害程度到底有多大?



2020-8-12 Nature 从蝗虫粪便中分离 35 种挥发性化合物, 发现 4- 甲氧基苯乙烯是蝗虫聚激素。

图 5.2 美国收获前昆虫 (13%), 病害和杂草 (24%) 造成的作物损失估计

(引自 Pimentetl et al. 1991)



## (六) 微生物—植物—昆虫关系

### ■ 次生物质在植物—昆虫—微生物关系中的作用

(1) 微生物在三级关系中的重要性;

(2) 次生物质对微生物—植物—昆虫关系的影响

a 微生物和昆虫的关系——共生（蟑螂的脂肪体）；致病（昆虫寄生菌-虫草）

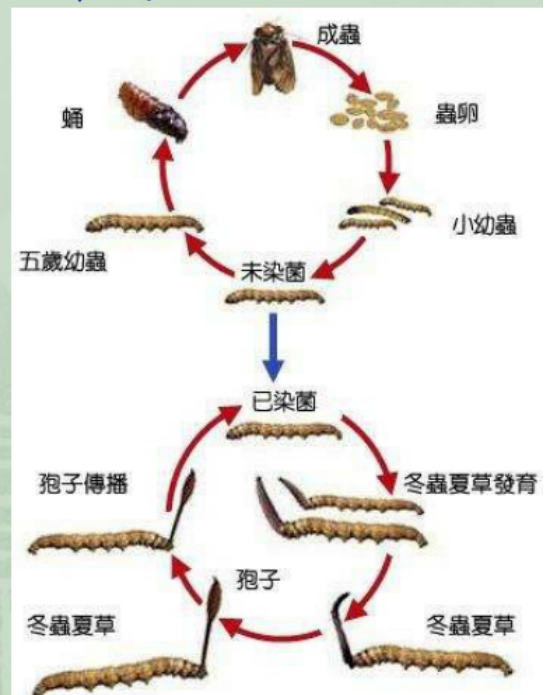
b 植物和微生物的关系——共生（根瘤菌；松与菌）；致病（禾锈菌；稻瘟病；马利筋和金斑蝶）

### 微生物—植物—昆虫关系例子：

- 杨树、柳树——蚜虫——土壤微生物（春天的公园）
- 胡杨、重阳木、桉木——尺蠖——土壤微生物
- 槲栎（栎树等）——蛾幼虫——虫草菌



虫草菌属约 90 种，拟寄生在蝙蝠蛾幼虫体内。在海拔 3000 米以上分布。这是虫草的道地药材。大别山金寨县 1985 出现过虫草。



## 四、他感作用与植物抗性

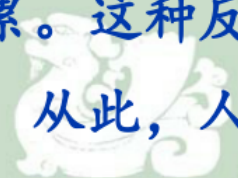
### (一) 植物他感作用 ( allelopathy )

- 定义: Rice(1984): 一种植物产生的化学物质, 释放到环境中, 对另一种植物产生了直接或间接的影响。
- 他感作用的机制: 苯丙烷、多聚乙酰、类萜类、甾类、生物碱。
- 他感作用在自然与人工生态系统中的意义: (1) 农业; (2) 林业; (3) 农林系统; (4) 植被模式; (5) 植被演替。



### (二) 植物的抗性功能

- 1962年, 美国的 Ryan 和 Kent 发现马铃薯提取液, 可以抑制胰蛋白酶的活性, 但是不稳定, 这些物质在马铃薯中有时存在, 而有时则无。无法解释。
- 1972年, 他们推测, 这些物质是受到环境调节的, 并且对植物防御系统有作用。
- 1972年, Ryan 在《科学》报道: 马铃薯甲虫伤害马铃薯叶片, 可以引起蛋白酶抑制剂的快速积累。这种反应结果, 可通过刀或锥子破坏叶片来获得。从此, 人们关注植物的抗性问题的。





## 植物抗性的类型

- 植物的化学成分和组成，不但受无机环境的影响，而且受机械损伤和取食者伤害的影响，从而诱导产生出一些**抗性物质**。
- 植物除了具有“**常规抗性系统**”外，还具有“**诱导抗性系统**”，诱导出的次生物质主要是碳氢化合物、蛋白酶抑制剂、与抗性有关的植物激素。桦树被啃食后酚的含量急剧上升。虫害结束，酚含量下降。



## 请看 2 个例子

- **常规抗性**：南美洲的野生马铃薯，叶生 2 种毛，当蚜虫触及一种毛，会分泌粘液，粘住蚜虫。另一种毛，一触即断，释放化学物质，该气体与蚜虫遭到天敌时释放的报警素一样，结果其他蚜虫逃之夭夭。
- **诱导抗性**：有些植物受到害虫啃食后，植物体合成吡咯烷化合物，其结构类似果糖。当害虫把它吃进体内，立即与糖苷酶结合，非常牢固。使得害虫不能消化纤维素，不能形成单糖，最终胀死或饿死。
- 姜永根等，2000，虫害诱导的植物挥发物：基本特性、生态功能及释放机制，生态学报，20（6）：1097-1106



## 植物诱导抗性的特异性

- 信息的特异性——桦树叶产生酚，根据信息种类有变化。幼虫咬后酚最高；蘸虫唾液的刀伤后，含量次之；洁净刀刺激后最少。
- 效果的特异性——一种诱导产物只一种刺激物有效果；抗病原微生物的，对昆虫无效。
- 植食者对其适应性的特异性——昆虫对诱导反应的反适应机制。特异行为：切断叶脉；远离叶脉；先放出汁液；储存毒物（金斑蝶—马利筋的强心苷）；解毒转化（凤蝶—花椒毒素—通过细胞色素 P450 解毒）等。

## 植物诱导抗性的作用

- 1. 通过昆虫“搜寻 / 识别”有关的诱导抗性——植物通过改变形态、生殖器官性别比例、挥发性物质的量、机械干扰等，主动逃避伤害。
- 2. 通过昆虫“接触 / 评价”有关的诱导抗性——在接触、摄取、消化的过程中，最终迫使昆虫放弃。
- 3. 间接诱导抗性——受伤植物把植食者的天敌吸引来。黄金树叶片受蚜虫啃伤后，增加花蜜的分泌，引来蚜虫天敌。

另外，非洲瞪羚捕食金合欢，在顺风啃食情况下植物会提前合成单宁酸，可现在，瞪羚学会了逆风吃树叶。



## 植物诱导抗性的代价

- 植物防御是有代价的，直接代价—指用于防御物质的合成、储存的能量消耗；间接代价—指用于防御的物质分配。
- 植物必需将有限的资源分配给生长、繁殖、防御。常规防御是正常的耗能，而诱导防御是需要时才耗用能量。

讨论：你对夏季的两份分别有农药残留和虫眼的小白菜将如何选择？

## 化学生态学的研究热点

- 1. 化学感受机制
- 2. 昆虫信息素
- 3. 植物与昆虫的关系
- 4. 植物他感作用
- 5. 植物诱导抗性（除草剂？）
- 6. 三级营养关系
- 7. 海洋生态系统化学生态学（海藻化学）
- 8. 转基因植物化学生态学

## 次生物质是生物适应环境的化学进化产物

- 生物的信息素和他感物质，均直接或间接地来自于基础代谢物质。
- 生物的信息通讯和防御，是要消耗能量的。
- 生物的次生物质是长期进化的产物，是对生存环境、合作者和天敌的化学响应。
- 同一种生物对次生化学物质的产生和使用，具有相同的生物学遗传法则。

## 主要内容回顾

- 一、化学生态学的研究历史
- 二、生物的信息化学物质
- 三、昆虫与植物的关系
- 四、他感作用与植物抗性