

# 植物的物理（形态）与化学防御机制

Автор(и): проф. д-р Вили Харизанова, от Аграрен университет в Пловдив

Дата: 08.04.2021 Брой: 4/2021



**形态（物理）** 抗虫性依赖于植物结构，这些结构能物理性地影响昆虫的选择、移动、取食、交配或产卵。这些结构可能包括颜色、毛状体（茸毛）、表面蜡质、含有硅的石细胞（硬化细胞）等。

叶片、花朵、果实和其他植物器官的颜色并非随机形成，其产生至少部分是为了减少特定昆虫物种的侵害。

毛状体（茸毛）通过其形状、密度、长度等影响昆虫的移动、取食和产卵。

叶片和其他器官角质层上的蜡质层，除了防止过度蒸发外，还对多种病原体起到物理屏障作用，并能驱避害虫。

果实和其他器官中的石细胞也在植物抵抗昆虫侵害中发挥作用。

## 植物的化学防御机制

自17世纪末以来，人们就知道植物含有昆虫会避开的毒性物质。早在1690年，尼古丁就从烟草中被提取出来并用作接触性杀虫剂，后来又从除虫菊（一种菊花）的花朵中提取出除虫菊酯。其他显著的例子包括印楝素（来自印楝树）、柑橘中的d-柠檬烯、毛鱼藤中的鱼藤酮、辣椒中的辣椒素等。

如今，已知的植物化学防御物质种类极其繁多，超过数万种，但总体上可分为5大类：含氮化合物（主要是生物碱）、萜类化合物、酚类化合物、蛋白酶抑制剂以及影响昆虫内分泌系统的物质。

### 含氮化合物

一些含氮化合物，如**非蛋白质氨基酸**，作为**抗代谢物**起作用。当被昆虫摄入后，它们会导致代谢紊乱。更常见的是，非蛋白质氨基酸作为取食威慑剂（它们阻碍从摄入的植物中吸收营养物质）。它们常见于种子中，而种子通常是植食性物种丰富的营养来源。

**生物碱**是复杂的含氮碱基，具有多样的分子结构，存在于许多植物中。生物碱是已知的用于防御昆虫的最著名的毒素之一。其中之一——**尼古丁**——作为杀虫剂有着悠久的历史。另一种——**番茄碱**——是番茄中的主要生物碱。含有番茄碱的组织会驱避科罗拉多马铃薯甲虫，如果甲虫取食这些组织，则会导致其死亡。科罗拉多马铃薯甲虫通常不攻击番茄，但会严重攻击亲缘关系密切的马铃薯，然而马铃薯并不含番茄碱。

### 萜类化合物

萜类化合物分布广泛，在结构和功能上极其多样。它们既可以作为传粉者的引诱剂，也可以作为取食威慑剂和毒素。例如，天竺葵（Pelargonium）在花瓣中产生**香叶醇**以保护自己免受甲虫侵害。甲虫摄入后约30分钟即被麻痹，并持续数小时，在此期间成为捕食者的猎物。

对夜蛾科棉铃虫属（棉铃虫等）的抗性与**棉酚**的含量直接相关。

棉叶蝉在易感棉花品种上的存活率高出50%，且发育更快。尽管已经培育出用于食品的低棉酚棉花品种，但在昆虫严重侵扰的地区，仍应优先选择高棉酚含量的品种。

**葫芦素**是三萜类化合物，存在于葫芦科植物中，赋予苦味，并对大量植食性昆虫起到取食威慑作用，但同时又是黄瓜甲虫的引诱剂。

其他单萜（蒎烯）为针叶树种提供了抵御钻木昆虫和小蠹虫的保护。当树木受到攻击时，树脂中有毒或驱避性单萜的水平会增加。

## 酚类化合物

较为重要的酚类化合物包括黄酮类化合物。异黄酮类化合物**鱼藤酮**从**毛鱼藤**中提取，在工业上用作杀虫剂。其他黄酮类化合物因其苦味而成为有效的取食威慑剂。**单宁**是具有强蛋白质结合特性的聚合酚类化合物。**原花青素**（缩合单宁）是取食抑制剂，同时还能降低摄入食物的可消化性。

## 蛋白酶抑制剂

蛋白酶抑制剂抑制蛋白水解酶的作用，减少可被分解和吸收的蛋白质数量。另一方面，它们导致消化酶过度产生，从而增加了含硫氨基酸的损失。结果，昆虫变得虚弱，生长受到抑制，最终死亡。

蛋白酶抑制剂与切割蛋白质肽键的酶结合，从而抑制其蛋白水解活性。在植物中，它们主要大量存在于种子和块茎中，但也存在于叶片中。

当马铃薯植株受到昆虫攻击时，其蛋白酶抑制剂水平会增加；即使是远离攻击部位的叶片也会做出反应。蛋白酶抑制剂水平升高的叶片和其他部分对植食性昆虫来说更难消化。一些植物产生多种蛋白酶抑制剂，每种具有不同的特异性。因此，这些植物对广泛的植食性昆虫具有保护作用。

## 生长调节剂

**植物蜕皮甾醇**是类似于蜕皮激素（昆虫的主要激素）的植物物质。它们最初在蕨类植物的根中发现。某些植物中的植物蜕皮激素含量高得惊人。一克东方蕨的根所含的蜕皮激素相当于200公斤家蚕蛹中的含量。已从80多个植物科中分离出数十种植物蜕皮甾醇。

香脂冷杉会产生**保幼酮**——一种类似于昆虫保幼激素的物质。冷杉的其他近缘种在受到蚜虫攻击时也会释放类似的物质。

在寻找植物来源的生长调节剂过程中，W. Bowers从霍香蓟花中分离出两种有趣的物质——**早熟素**。当这些早熟素接触到昆虫体表时，咽侧体（产生保幼激素的腺体）的细胞会死亡。通过破坏保幼激素的来源，早熟素加速了昆虫的变态，导致其过早发育成不育的成虫。