

# 银杏及其仿生杀菌剂

孟昭礼 著

中国科学技术出版社



S482.2  
M628:2

10

# 银杏及其仿生杀菌剂

孟昭礼 著

江苏工业学院图书馆  
藏书章

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

银杏及其仿生杀菌剂/孟昭礼著. —北京: 中国科学技术出版社, 2004. 7  
ISBN 7-5046-3823-3

I. 银… II. 孟… III. 银杏—杀菌剂 IV. S482.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 062247 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

电话: 010-62103210 传真: 010-62183872

科学普及出版社发行部发行

北京长宁印刷有限公司印刷

\*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 12.5 字数: 250 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1-2000 册 定价: 29.00 元

---

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、  
脱页者, 本社发行部负责调换)



## 作者简介

孟昭礼，教授。现任山东省农业仿生应用工程技术研究中心主任。1942年出生于山东省单县，1964年毕业于山东农业大学。先后承担化学、植物病理学、植物化学保护、昆虫毒理和仿生农药研究方法等课程教学。长期从事害虫抗药性、生物农药和仿生农药的研究与应用。其中，“山楂和苹果红蜘蛛抗药性与防治技术研究”1990年获山东省科技进步三等奖；“梨木虱抗药性及防治技术研究”1995年获山东省科技进步三等奖；“人工模拟银杏杀菌剂研究”1999年获山东省十大科技成果首位；“人工模拟银杏杀菌剂研制与应用”于2001年获山东省科技进步一等奖；“人工模拟银杏杀菌剂应用技术”2002年获山东省丰收杯一等奖；“银果和银泰农用杀菌活性的发现与应用”2003年获国家科技进步二等奖；获4项国家发明专利，其中，银果的生产技术以500万元转让给山东京蓬生物药业股份有限公司，实现了产业化；发表论文50余篇。被山东省政府记一等功一次，并获得全国优秀农业科技工作者、山东省高校优秀党员、山东省高校十大优秀教师、山东省劳动模范和烟台市杰出科技人才等荣誉，享受国务院特殊津贴。

灵感来源于知识的  
积累，而实现灵感不仅  
需要丰富的知识，更需  
要坚韧不拔的精神  
和毅力。

孟昭祥  
1998.5

责任编辑：吕秀齐

封面设计：付小鹏

责任校对：杨京华

责任印制：安利平

# 前 言

仿生学是研究生物系统的结构和性质,为工程技术提供新的设计思想及工作原理的科学。仿生学研究的领域非常广泛。仿生农药(bionic pesticide)作为仿生学与农药学之间的一门交叉边缘学科,是用自然界生物活性物质为先导化合物,采用仿生手段而合成农药。当发现自然界中某种动物、植物或微生物中含有的物质对病、虫、杂草等具有毒杀或抑制作用时,人们便研究这些物质的农用生物活性、有效成分、化学结构,以此结构为先导化合物,再运用分析和合成等方法,人工模拟合成它的类似物用作杀虫、杀菌或除草剂。

当前,随着人们生活水平的提高、世界经济贸易一体化的不断推进和中国加入世贸组织,食品安全和农产品农药残留超标等问题备受国内外重视。农产品的农药残留超标问题,不仅严重影响人体健康,而且已经影响了我国农产品在国际市场的竞争能力。为了保护农产品生产者和消费者的利益,许多国家将农药残留作为技术壁垒限制其他国家农产品的进口。因此,发展绿色农药,减少农产品中农药残留污染,保证人们吃上“放心的农产品”,促进我国农产品出口创汇,增加农民收入是我国正面临的重大的现实问题。这为农药行业的发展指明了方向:在绿色食品被世人重视的今天,必须解决农药的高毒、高残留和环境污染等问题。仿生农药的研发,正是解决上述问题的重要手段。

仿生农药产品一般具有低毒、低残留、与环境相容性好、广谱、高效等特点,它不但保留了天然生物对人畜的低毒性和对环境的安全性,而且吸收了化学农药的高效性和速效性,因此特别适用于绿色食品的生产与开发,有利于食品安全和出口创汇产业的发展。从这一点上讲,仿生农药将对我国乃至世界的农药创制起到积极的推动作用。

在中国,目前许多科研单位和高校都在致力于仿生农药方面的研究与开发,虽然比国外起步较晚,但是,仿生农药在中国却有发展更为迅猛之势。本书归纳总结了作者自1983年开始致力于银杏仿生杀菌剂的研究,从常人不注意的平凡自然现象——“蚂蚁不上银杏树”等得到启发,开始从事仿生农用杀菌剂研究,并取得了一系列重大成果与发明。作者从介绍银杏入手,较系统全面地介绍了银杏的自然现实、农用生物活性的发现、先导化合物的分离提纯、人工模拟合成,以及室内生测、田间药效、抗药性、毒性、残留、与环境相容性等方面的研究。全书从理论和实践相结合的角度较为系统地阐述了这一研究历程,力求为农业、植保、农药、化工等相关领域的科研人员、高校和中专师生提供借鉴和参考。

在本书的撰写过程中，得到了国家药物及代谢产物分析研究中心、兵器工业非金属材料理化检测中心、国家农药质量监督检验中心、中国预防医学科学院劳动卫生与职业病研究所、国家环境保护总局南京环境科学研究所、中国农业大学、中国化工信息中心、山东省劳动卫生职业病防治研究所等单位的支持与帮助。另外，方向阳、袁忠林、曲宝涵、张天良、胡继业、张龙等也做了大量工作，全书照片由魏华完成，在此深表谢意。由于材料和水平的限制，本书难免存在一些不足之处，望读者给予批评和指正。

我希望这本书出版之后，能够对中国的仿生农药研究有所助益，希望更多有识之士参与到仿生农药的研究与开发的进程中来，求真务实，共同努力，使我国的仿生农药研究与应用结出丰硕的果实。

作者

2004年5月于青岛

## 目 录

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 第一章 银杏及其生物学特性 .....          | (1)   |
| 第一节 银杏的起源 .....              | (1)   |
| 第二节 银杏的分布 .....              | (3)   |
| 第三节 银杏的生物学特性 .....           | (3)   |
| 第四节 银杏的栽培史和用途 .....          | (9)   |
| 第二章 银杏的农用杀菌活性与仿生合成 .....     | (20)  |
| 第一节 银杏的生物活性现象 .....          | (20)  |
| 第二节 银杏中生物活性物质的提取及活性测定 .....  | (21)  |
| 第三节 银杏中先导化合物的分离提纯 .....      | (23)  |
| 第四节 先导化合物(B)的生物活性测定 .....    | (27)  |
| 第五节 先导化合物(B)的结构认定 .....      | (29)  |
| 第六节 银果和银泰的仿生合成 .....         | (33)  |
| 第三章 银果 .....                 | (50)  |
| 第一节 银果的中试研究 .....            | (50)  |
| 第二节 银果的剂型研究 .....            | (55)  |
| 第三节 银果原药及制剂的分析标准 .....       | (61)  |
| 第四节 银果室内外药效试验 .....          | (67)  |
| 第五节 银果的急性毒性试验 .....          | (78)  |
| 第六节 银果的亚慢性毒性试验 .....         | (89)  |
| 第七节 银果的环境生物安全性试验 .....       | (98)  |
| 第八节 银果的残留试验 .....            | (103) |
| 第九节 银果在小麦上的吸收分布 .....        | (108) |
| 第十节 银果对草莓和菠菜刺激生长作用初测 .....   | (113) |
| 第四章 银泰 .....                 | (119) |
| 第一节 银泰的中试研究 .....            | (119) |
| 第二节 银泰的剂型研究 .....            | (123) |
| 第三节 银泰原药及制剂的分析标准 .....       | (129) |
| 第四节 银泰的室内外药效试验 .....         | (138) |
| 第五节 银泰的急性毒性试验 .....          | (146) |
| 第六节 银泰的亚慢性毒性试验 .....         | (153) |
| 第七节 银泰乳油对环境生物的毒性与安全性评价 ..... | (159) |
| 第八节 银泰的残留试验 .....            | (164) |
| 第九节 银泰的抑菌机制 .....            | (170) |
| 第十节 苹果腐烂病病菌对银泰的抗药性风险评估 ..... | (177) |
| 第十一节 银泰对草莓和菠菜刺激生长作用初测 .....  | (182) |
| 参考文献 .....                   | (187) |

## 第一章 银杏及其生物学特性

银杏 (*Ginkgo biloba* L.) 是落叶大乔木, 裸子植物, 雌雄异株, 属银杏科 (*Ginkgoaceae*)。在此科植物中只有 1 属 1 种, 故银杏是神奇的树种, 为中国的特有种。其别名有鸭脚树、圣果树、白果树、公孙树等。

据文字记载, 在三国时期就有了鸭脚树之称。到了唐、宋年间, “鸭脚”之称在民间已负盛名了。正如北宋文学家刘原文诗云: “魏帝睽远图, 于吾求鸭脚”。在唐朝, 僧侣们把银杏树称为“圣树”, 称其果实为“圣果”。到了北宋又有了“银杏”这个名字, 宋代诗人欧阳修 (1007~1072) 在其诗《鸭脚》中写道: “鸭脚生江南, 名实本相符。绛囊因入贡, 银杏贵中州”。到了元代, 李杲 (1180~1251) 在《食物本草》中首次把银杏称之为白果。明朝白果之名大盛, 被李时珍 (1518~1593) 收入《本草纲目》。明朝之后, 人们依据银杏生长缓慢特点, 称之为“公孙树”。“公孙树”始见于周文华的《汝南圃史》中称“公种而孙得食。”

### 第一节 银杏的起源

银杏的起源与我们生存的地球息息相关。地球从古至今经历了冥古宙、太古宙、元古宙和显生宙 (古生代、中生代和新生代), 大约有 46 亿年 (表 1-1)。距今 24 亿年以前的太古宙, 地壳表面虽已形成了原始的岩石圈、水圈和大气圈, 但那时地壳很不稳定, 火山活动频繁, 海洋面积非常广大, 陆地多为秃山。在这种环境下, 最低等的植物和原始生命开始产生。到了 6 亿年前的元古宙晚期, 地球出现了大片陆地, 开始了原始生物时代。在这时出现了海生藻类和海洋无脊椎动物。后来地球上又出现了蕨类植物, 有的高达几十米, 形成高大茂密的森林。

到了显生宙古生代石炭纪末期, 伴随着蕨类植物森林的形成, 银杏类植物开始出现, 其中二歧叶属是银杏最古老的代表, 距今约 3.5 亿年。到了 1.95 亿年前的中生代侏罗纪, 昌盛繁茂的蕨类植物日趋衰落, 被银杏等裸子植物逐渐取代, 银杏发展到全盛时期, 银杏属已有二十几个种, 成为北半球植物王国的主角, 形成了浩瀚的森林。此时, 也是爬行动物的兴盛时代, 其中恐龙称霸一时。但是, 大自然给予银杏的并非是永恒的春天。距今 295 万年前, 地球上发生了第四纪冰川, 全球气候突然变冷, 欧洲、北美洲及亚洲大部分地区的银杏遭到灭顶之灾。由于我国山脉东西走向和自然条件优越, 使这一珍贵古老的植物物种奇迹般地幸存下来。

据报道, 1896 年, 一位日本学者发现银杏精子是游动的, 精子细胞有纤细的鞭毛,



从而证实银杏迥别于松杉类及与之近缘的其他高等植物，又一次证明银杏是现存种子植物中最古老的。更重要的是，银杏在这漫长的“地质时期”，不但保持了该物种的遗传稳定性，而且繁衍至今，故人们称银杏为“活化石”。现在日本、朝鲜及欧美所有的银杏，均为直接或间接从中国引种的。在 6 世纪，银杏随佛教传到日本，其神社寺院和风景园林区广种银杏；8 世纪，银杏传到朝鲜，至今在江源道可见到 60 多米高的银杏古树；17 世纪末，欧美国家也引种了银杏树，银杏可称之为植物界的“华侨”。

表 1-1 地质年代及气候和生物进化表（资料）

| 宙   | 代   | 纪                      | 世       | 百万年    | 气候及生物                                                           |
|-----|-----|------------------------|---------|--------|-----------------------------------------------------------------|
| 显生宙 | 新生代 | 第四纪<br>(Quaternary)    | 现代      | 0~0.01 | 冰期已过，气温上升，被子植物繁茂，草本植物发达，人类发展                                    |
|     |     |                        | 更新世     | 0.01~2 | 4 个冰期，北半球冰川，气温下降，直立人、早期智人发展，很多大型兽类绝灭                            |
|     |     | 第三纪<br>(Tertiary)      | 上新世     | 2~5    | 喜马拉雅山、安第斯山、阿尔卑斯山建成，大陆各洲成型                                       |
|     |     |                        | 中新世     | 5~25   | 气候冷                                                             |
|     |     |                        | 渐新世     | 25~38  | 被子植物取代裸子植物，繁茂，杨、柳、桦、榉等成林                                        |
|     |     |                        | 始新世     | 38~55  | 恐龙绝灭，鸟类及哺乳类大发展，适应辐射                                             |
|     |     |                        | 古新世     | 55~65  | 类人猿出现（南方古猿）                                                     |
|     | 中生代 | 白垩纪<br>(Cretaceous)    | 65~144  |        | 造山运动，火山活动多，大陆分开，后期冷。裸子植物衰退，被子植物发达，恐龙绝灭，多种有袋类绝灭，胎盘哺乳类及鸟类兴起，灵长类出现 |
|     |     | 侏罗纪<br>(Jurassic)      | 144~213 |        | 温暖，湿。有内海，大陆漂浮。裸子植物为主，被子植物出现。爬行类繁茂，恐龙、鱼龙、翼手龙等发展，始祖鸟、单孔类多，原始有袋类出现 |
|     |     | 三叠纪<br>(Triassic)      | 213~248 |        | 气候温和干燥，晚期湿热。裸子植物成林（苏铁、银杏、松柏等），炭化成煤。无尾两栖类出现，爬行类恐龙占优势，原始哺乳类出现     |
|     | 古生代 | 二叠纪<br>(Permian)       | 248~289 |        | 造山运动频繁，干热，联陆（Pangaea）开始分裂，蕨类衰退，裸子植物繁茂。三叶虫及多种无脊椎动物绝灭，爬行类辐射适应     |
|     |     | 石炭纪<br>(Carboniferous) | 289~360 |        | 造山运动，气候温湿，蕨类繁茂，裸子植物兴起。陆生软体动物，昆虫辐射适应，两栖类繁茂，爬行类兴起                 |
|     |     | 泥盆纪<br>(Devonian)      | 360~408 |        | 陆地扩大，干旱炎热蕨类繁盛鱼类繁盛，昆虫、两栖类兴起，三叶虫少                                 |
|     |     | 志留纪<br>(Silurian)      | 408~438 |        | 造山运动，陆地增多，裸蕨、陆生维管植物、珊瑚多，三叶虫衰退，无翅昆虫、甲胄鱼繁盛                        |



续表

| 宙   | 代   | 纪                   | 世 | 百万年                 | 气候及生物                                                                                 |
|-----|-----|---------------------|---|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 显生宙 | 古生代 | 奥陶纪<br>(Ordovician) |   | 438~505             | 浅海广布, 气候温暖, 蕨类、笔石、珊瑚、三叶虫、腕足类、苔藓虫, 头足类等, 甲胄鱼出现。                                        |
|     | 中生代 | 寒武纪<br>(Cambrian)   |   | 505~590             | 浅海扩大, 气候温和, 多化石, 蕨类、三叶虫繁盛。海绵、珊瑚, 腕足类, 软体动物, 棘皮动物。                                     |
|     | 新生代 | 元古宙<br>太古宙<br>冥古宙   |   | 590<br>3800<br>4600 | 叠层石, 温暖浅海, 蓝藻、真核藻类, 后生动物起源等无脊椎动物, 大气圈和水圈, 细胞形成, 有微生物化石, 叠层石。光合自养厌氧微生物, 初级大气圈, 生命化学进化。 |

## 第二节 银杏的分布

古生代银杏原来遍布全球, 第四纪冰川之后, 仅在我国亚热带山区丘陵保留一种。据考察, 浙江天目山、湖北的大洪山、安徽与河南交界的大别山有少量散生的银杏自然群落, 云南、贵州、广西、四川等省的边远地区有自然零星散生的大银杏树。

银杏的水平分布十分广阔。北从辽宁省的东南部, 南到广东、广西部分山丘, 东自台湾省的南端, 西抵西藏的昌都地区。北纬  $21^{\circ} 30' \sim 41^{\circ} 48'$ , 跨 20 个纬度, 长达 2300km。东西方向自东经  $97^{\circ} \sim 125^{\circ}$ , 跨 28 个经度, 长约 2700km。从水平分布看, 以北纬  $30^{\circ}$  线为准, 其银杏东西分布跨度最大, 超过  $30^{\circ}$  线, 则纬度越高, 银杏东西分布的距离变小。银杏分布趋向于温湿地区, 纬度增高, 则趋向于东南沿海; 纬度降低, 则趋向于西南高山地带。银杏的垂直分布, 也随着纬度的变化而变化。山东海拔 1100m, 四川为 1600m, 甘肃 1500m, 云南 2000m, 西藏 3000m。全国一些银杏古树, 多数分布在低海拔的地方。山东的郯城、海阳、莒县, 江苏的邳县, 沂河两岸, 河南的新县、光山, 安徽的金寨、霍丘为淮河上中游的山丘区; 江苏泰兴、泰州为里下河地区; 吴县为太湖流域; 浙江的长兴、富阳、临安, 安徽的宁国、宣城、绩溪、歙县(位于天目山系两侧)。这些地方银杏分布比较集中, 其中山东省郯城县新村沂河堤坝上有万亩古银杏园, 树龄在 100~1000 年的共有 13000 株。一般都呈点片状分布, 在全国分布于 60 多个县市。

## 第三节 银杏的生物学特性

### 一、银杏的形态和品种

银杏是落叶乔木, 直立挺拔, 树姿优美。叶扇形顶端常二裂, 叶脉分叉状。枝有



长、短枝之分，叶在长枝上互生，在短枝上簇生，花白色，单性、雌雄异株。种实核果状，外种皮肉质，成熟时橙黄色；肉种皮膜质，外包骨质种核壳。5月开花，9~10月成熟。

河南农业大学研究发现了异叶银杏，异叶银杏与原种不同，新变种叶有3种类型。一是鸭嘴型叶：叶长3.5~6cm，唇叶宽3.5~5cm，基部漏斗状，长1~2cm，叶柄长2~6cm，表面平无沟；二是漏斗型叶：通常为新生叶，漏斗形，顶端边缘有不对称的锯齿或牙齿状，基部狭漏斗状，叶柄长2.5~3.5cm，表面平无沟；三是倒三角形叶：叶通常扭曲，长5~6.5cm，二深裂，裂片又2裂，位于枝条中下端3~5叶基部，后逐渐呈漏斗状。

在此提示一下，银杏的花、果结构，不同于蕨类植物和被子植物。银杏可以产生真正的种子（蕨类植物为孢子），是种子植物；银杏的花不具备花的完全结构（被子植物花为完全结构）。银杏的雌花只有胚珠而无心皮，开花期间胚珠的珠孔直接张开。成熟的种子在外貌上近似果实，但并非真正的果实。银杏的雄花近似被子植物的柔荑花序，一般描述银杏雄花，都称之为柔荑花序状。

据查证，银杏有性反转现象，即雄性树结果。这一现象日本三好博士在20世纪30年代有过一例报道。半个世纪之后，在江苏无锡的锡惠公园内，有一株明洪武初年种植的银杏，树高达21m，胸径1.91m，此树为雄树。1982年，竟然在此树南侧离地10m左右的一根树枝上，结成了7个白果。第二年春天将4枚播种后，居然有一枚发芽出土，典型的银杏的性反转（返祖）现象。

关于银杏的品种问题，近百年来，中外植物类学家曾进行过大量的研究，而且按照各自的观察标准，提出了种种不同的分类方式、分类等级和分类方法。直到1978年《中国植物志》第七卷经过慎重的分析研究之后，才正式明确了银杏种级之下无变种和变型，全部为银杏品种的这一分类方法。

但是据资料检索，早在1935年曾勉在对浙江诸暨的银杏进行调查之后，根据银杏的果形和核形，将银杏划分为3个变种，变种之下又确立了10个品种。但在中国的一些果树文献和银杏生产中至今尚未被应用。1989年《中国果树志·银杏卷》编委何凤仁、韩宁林通过大量的调查研究将银杏品种按照种核形状划分为长子类、佛手类、马铃薯类、梅核类、龙眼类五大类别，在这五大类别之下再确立品种，这就更加便于归纳中国的所有银杏品种，有助于银杏品种的正确划分。

其中长子类包括：金坠子、橄榄果、金果佛手；佛手类包括：大佛指、七星果、类顶佛手、大佛手、洞庭佛手、长柄佛手、长糯白果；马铃薯类包括：大马铃薯、海洋星；梅核类包括：大梅核、棉花果、珍珠子、眼珠子、庐山银杏；龙眼类包括：大龙眼、



大圆铃等。

## 二、银杏的生态特性

银杏对土壤要求不严,各种基岩,如花岗岩、石灰岩、页岩上发育的土壤,银杏均能生长。无论是砂壤、轻壤、中壤、黏壤土都适合银杏生长。但以土层深厚、土层深度 1~1.5m、地下水位较低、保水力强、排水性能好的土壤为宜。尤以沿河两岸的冲积土和土地下部的坡积壤土为好。土层深,质地松,透气性,保水性,排水性能俱佳的土壤为最适宜。土层浅、板结干燥、肥力低的地方则生长不良。银杏不耐盐碱,忌地下水位高,土壤含盐碱量大于 0.3%,则银杏难以生长。

水分是银杏生长发育的重要条件。银杏树体高大,枝叶繁茂,需要大量的水分。对银杏生长发育构成影响的是降水和空气湿度、土壤水分和地下水位等。5~7月、8~10月平均降水量低于 40mm,空气相对湿度低于 70%,气温又高于 28℃,则导致银杏叶早落或者叶缘枯黄。幼苗、幼树在此种情况下,生长量极低,甚至停止生长。银杏不耐积水,特别是幼苗期尤为敏感,林地土壤持水量高于 80%,则根部因缺氧而腐烂,叶片枯黄。地面积水 5~7d,将造成幼苗成片死亡。地下水位 2~2.5m 的地方,适宜银杏生长,枝叶繁茂、根系发达。地下水位高于 1.5m,则根系发育受阻,细根少,叶片小,并有风倒现象。年降水量在银杏栽培区域内,变幅较大,年降水 320~2000mm 范围内,主产区年降水量在 800~1500mm,只要土壤排水良好,即使降水量大,也影响不大。在银杏采收前的月余时间内,增加水分供给,对提高银杏的产量有着促进作用。但在银杏花期,遇阴雨天气,则会因授粉不良,导致减产。

银杏是强阳性树种,并随树龄增长,对光照的需求日趋增加。如果银杏园初植密度过大,又未能及时调整,则密集的枝叶直立向上生长,大枝中下部出现“光腿”现象,结果部位上移外展,导致单位面积产量下降。调整银杏林中的透光度,是当前银杏密植丰产园的关键技术。银杏幼苗期间,对强光十分敏感,因此银杏育苗,搭设荫棚或进行侧方庇荫,是培育壮苗的重要措施之一。光照充足,则银杏叶质厚,叶色浓,干物质积累多,枝芽发育充实,花芽分化率高,果实品质好。光照不足,则叶片薄,叶色淡,枝细芽瘦,花芽分化受阻,产量低,质量差。因此合理调整栽植密度和树体内部的通风透光,是夺取银杏丰产优质的重要技术。

空气和土壤的温度,对银杏生长发育影响很大,银杏生长季节的有效起点温度为 6~10℃,10℃以上才开始活跃,有效温度的积累值为生物有效积温。积温和年均温度,可作为银杏对温度要求的指数,以衡量银杏在某地区能否栽植的标准。年平均气温为 10℃是银杏生长的低温界线,小于 10℃则生长不良乃至受冻而死亡,年均气温 15~16℃为最适宜地区。年积温大于 5000℃,年均稳定超过 12℃的天数达 200d 以上,是银杏



生长最适宜地区。从局部情况看, 银杏能耐短暂的高温 ( $40^{\circ}\text{C}$ ) 和低温 ( $-33^{\circ}\text{C}$ ), 休眠期耐寒力增强, 芽萌动后随萌发程度而减弱抗寒力。据研究, 银杏萌芽期要求日平均气温大于  $8^{\circ}\text{C}$ , 枝叶生长应在  $12^{\circ}\text{C}$  以上, 开花期应在  $15^{\circ}\text{C}$  以上。10cm 深处的土温达  $6^{\circ}\text{C}$  以上, 根系活动;  $12^{\circ}\text{C}$  以上则生长新根;  $15\sim 18^{\circ}\text{C}$  时新根量最多。地温 (20cm 深处) 下降到  $10^{\circ}\text{C}$  时, 则根系停止生长, 或缓慢生长。

### 三、银杏的器官生长发育

#### 1. 银杏的根

银杏根系由垂直根及水平根组成, 有固定树体、吸收养分、根蘖繁殖的作用。在土壤条件较好的情况下, 成年树主根可入土  $4\sim 6\text{m}$ 。水平根由一、二级侧根、细根 (即吸收根) 组成。水平根的扩展面积范围, 一般相当于地上部分树冠投影半径的  $1.8\sim 2.2$  倍。水平根系在土壤中 80cm 以上, 在  $20\sim 70\text{cm}$  的土中分布最多。在这一土壤层次中, 根量的分布占总根重的 76%, 细根量占总细根量的 81%, 在距树干  $4\sim 8\text{m}$  的范围内根重占总根量的 62%, 细根重占总细根重的 77%, 了解这一根系特性, 为银杏造林、整地、以及松土、除草、施肥提供了一定的科学依据。实生树根系发达, 比嫁接树根系总量大 37%, 细根总量大 36%。银杏根系生长有两个高峰期, 长江流域, 第一高峰期为 5 月上旬至 7 月中旬, 约 70 天时间, 根系生长量较大, 成年树根系平均生长可达 80cm; 第二个高峰期为 10 月中旬至 11 月下旬, 约 40 天时间, 成年树一般根系生长  $15\sim 20\text{cm}$ , 这一时期, 只要土壤温度高于  $5^{\circ}\text{C}$ , 根系均可生长。

#### 2. 银杏的枝

银杏的枝条分长枝、短枝两种。

(1) 长枝: 生长迅速, 是扩展树冠的主要部分。幼树期间, 长枝的生长量占枝条生长总量的 70%; 成年树则占 10% 左右。长枝一年只长一次, 无春梢、秋梢之分。生长长度可达  $0.5\sim 1.0\text{m}$ , 最长的可达 2m 之多。长枝有节, 节着生腋芽, 长枝中上部腋芽抽生下挂枝或短枝, 基部腋芽一般不萌发。

(2) 短枝: 又叫结果枝, 一般由长枝中下部的腋芽发育而成。如果长枝粗壮, 长势旺盛, 则其上的 3 年生短枝即可结果。短枝只有一个顶芽, 外被鳞片, 呈覆瓦状排列, 短枝发芽后, 鳞片脱落, 留下鳞片的痕迹, 可用来计算短枝的年龄。短枝主要是发育枝, 形成花枝、果枝, 本身生长量很小, 年生长量  $0.2\sim 0.3\text{cm}$ , 3~16 年生的短枝, 成花着果力极强。

(3) 长短枝互换: 银杏的长枝和短枝有互换的特性, 短枝的顶芽可以抽生长枝; 长枝的顶芽减缓生长速度, 形成侧枝状的短枝。对于这种长短枝的转换机理, 尚不清楚。试验证明, 在银杏的幼树上, 采取短头打顶的方法, 可使产生短枝的侧芽转



而发育为长枝。若在短头打顶部位涂以生长激素，则短枝仍然保持短枝的状态。银杏的长枝髓心小，皮薄，木质部又厚又硬；短枝髓心大，木质部又薄又软。

### 3. 银杏的叶

银杏的叶有扇形、三角形和截形三种，以扇形叶居多。长枝中上部的叶片大，呈扇形或三角形，叶柄长，叶脉细，中裂。长枝基部的叶，形小，柄短，呈截形。实生幼树和萌蘖幼树，叶片中裂较深，嫁接的幼树叶片不分裂。短枝上的叶形小，簇生。银杏结实树，叶的数量和质量不仅影响当年产量，也影响次年的种实收成。每粒银杏种实需有 24 枚叶、叶面积  $667\text{cm}^2$  才能维持种实的发育。丰产树每粒种实需 39 枚叶、叶面积  $1113\text{cm}^2$  方能满足丰产的要求。

### 4. 银杏的花与种实

银杏的花由叶原基发育而成，短枝顶芽萌发后，发育出叶子。雄花为小孢子叶球，雌花是大孢子囊。

(1) 雄花球：呈疏松下垂的柔荑花序状，每一短枝顶端着生 3~6 朵，每朵雄花有雄蕊 30 余枚，雄蕊顶有花药，每一花药含花粉粒 1500~2000 粒，幼树雄花球含花粉 7 万余粒，成年树达 8.5 万粒，花药成熟时，花粉散落，花粉黄色，随风飘扬。花粉在  $5^{\circ}\text{C}$  以下，用  $\text{CaCl}_2$  可保存 1 年。在自然界中，银杏 4 月下旬至 5 月初花粉成熟、散落，进行传粉，到 8 月中旬精原细胞产生精子，3~5 天完成受精，从传粉到受精约需 3 个月时间。

(2) 雌球花：生于短枝顶端，具长柄，柄端有一对胚珠。胚珠底有托叫珠托，胚珠的珠心外有一层组织，叫珠被。珠心上部与珠被分离形成珠孔，下部与珠被结合。胚珠 3 月下旬开始发育，4 月下旬成熟，并由珠孔渗出水滴，群众叫“性水”。当花粉落到“性水”上，则“性水”消失，完成了受粉过程，珠孔关闭。

银杏的花期各地不一，最早的在 3 月底，最晚的在 4 月 25 日。一般农历“清明”至“谷雨”采集雄花，以备人工授粉之用，雄花花期早于雌花花期 2~3 天，始花至末花期 10 天左右。

银杏雌花无子房构造，银杏的种实由胚珠和珠被发育而成。不能称其为果实。外珠被发育成肉质种皮，中珠被发育成骨质中种皮，内珠被发育成膜质内种皮。除去肉质的外种皮，即为种核，俗称“白果”。

银杏雄细胞和卵细胞结合，发育成胚，其珠心部分发育成胚乳。未受精的胚也能发育成种实，但是胚乳只发育一半，有一半是空壳。银杏从授粉到发育成种实（指受精的种实）需 140~190 天的时间，6~7 月份是种实生长的高峰期，占全年种实生长量的 42%~43%。6 月中旬至 8 月中旬形成骨质中种皮，8 月下旬至 9 月中旬种实成熟。

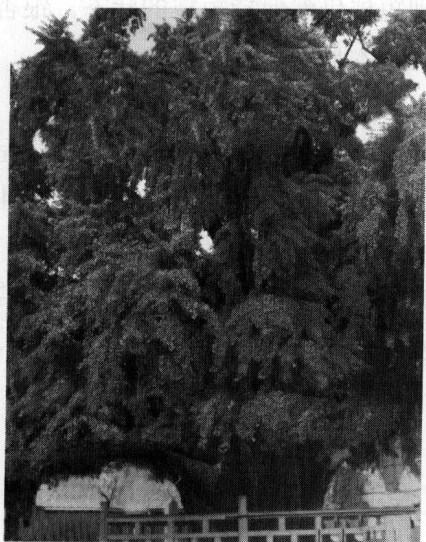


图 1-1 天下第一银杏树

#### 四、银杏是长寿树

银杏以高大长寿著称于世。山东省莒县浮来山定林寺古银杏已有近 4000 余年树龄，被称为“天下第一银杏树”。树高 26.7m，胸径 15.7m，树冠荫地 200 多  $\text{m}^2$ ，现仍依然生机勃勃，枝繁叶茂，硕果累累（图 1-1）。

据《左传》记载：鲁隐公八年九月，鲁、莒两国国君曾于此树下会盟。1982 年联合国教科文组织对该树进行了专题研究，并向全世界展示了其风貌。

湖南洞口县那溪瑶族自治乡宝瑶村宝瑶组有一株 3500 年生古银杏，目前仍年产白果 1000 余斤，当地称“磐弧银杏”。湖南省大庸市沅古坪白杨村张家坪有一株高达 70m 的古银杏。在甘肃省徽县、湖北省宣恩县也有胸径 6m 以上的古银杏，陕西省周至县楼观台一雌株银杏高 24m，胸径 4.77m。贵州福泉县李家湾有雄株银杏高 40m，胸径 4.71m。

另外，日本最粗的银杏树位于德岛县，胸径 5.35m，最高的银杏位于青森县，高达 47.6m，树龄 1100 年。长野县有一株一千余年生的古银杏。在韩国的京畿道（省）的永门山庙内有一株树龄 1100 年、高 60.96m，胸径 5m 的古银杏树。

#### 五、银杏的繁殖力和抗逆性

银杏的繁殖能力很强。银杏可通过种子进行有性繁殖，也可用枝条、绿枝单芽、叶、根蘖育苗和嫁接等方法进行无性繁殖。银杏的根几乎没有休眠期，只要满足其生长条件，周年可以生长。银杏的根断伤后，可在受伤部位产生大量的新根。其根除了吸收、运输土壤中的养分、水分之外，还参与自身的物质代谢和生长发育的全过程。在银杏的一生之中，根系不断衰亡、更新。银杏的干具有再生复干的能力，如主干或主枝受损后次级复干常代替母干继续生长发育，从而形成所谓“一龙九子枝”，或“五代同堂树”。如银杏被雷击之后，除主干复生外，在其基部又丛生许多小银杏树等等。银杏的花量和果量大，故有利于在恶劣的环境条件下繁殖后代并保存自己。

银杏的抗逆能力很强。银杏一生中很少受病虫害的侵害，它还有很强的抗污染、抗撞伤和抗辐射的能力。如：泰山北麓大灵岩寺院内生有三株古银杏树，其中两雄一雌，呈三角分布相邻而生。曾遭雷击三次，据传约在明朝万历 27 年最后一次遭雷击，经考查，雷击时是从主干顶端折断，树皮开裂至树干基部，但受伤的树皮又慢慢愈合起来，