



杨家鸾 主编

YUNNAN SHIZIHUAKE

● SHUCAI GENZHONGBING

云南十字花科蔬菜

根肿病



云南出版集团公司
云南科技出版社

云南十字花科蔬菜根肿病

杨家鸾 主编

云南出版集团公司

云南科技出版社

· 昆明 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

云南十字花科蔬菜根肿病/杨家鸾等编著. —昆明: 云南科学出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 5416 - 3326 - 3

I. 云… II. 杨… III. 十字花科—蔬菜—根肿病—防治—云南省 IV. S436.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 118268 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)

云南省地矿测绘院印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本: 889mm × 1194mm 1/32 印张: 1.5 插页: 16 字数: 40 千字

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1030 册 定价: 16.00 元

编写人员名单

主 编 杨家鸾

编著人员	杨家鸾	严位中	李 萍
	杨明英	孙道旺	戴玉华

前 言

十字花科蔬菜根肿病是危害严重的世界性病害之一，近年来云南省大部分地区均有分布和危害。

根肿病菌侵染十字花科多种蔬菜，尤其在白菜、甘蓝上危害最严重，一般损失20%左右，严重的损失70%~80%，甚至绝产无收。该病在云南省蔬菜产区呈扩张蔓延趋势，且有危害重、损失大的发生特点。加之该病属土传病害，防治难度大，已成为云南省蔬菜生产和外销的一大障碍，在一定程度上制约着云南省农村产业结构调整 and 农村经济的发展。

2000~2003年，笔者进行了十字花科蔬菜根肿病防治技术措施的研究，选用国内外已有的成果和经验，采取研究和防治同步进行，取得了一些防治的办法。为有效地指导防治，笔者将有关十字花科蔬菜根肿病的防治成果和相关资料，经整理、归纳和提炼，编著成《云南十字花科蔬菜根肿病》一书，其内容涉及分布危害、发生规律、防治方法和调查取样技术，可供从事蔬菜生产、科研及教学人员参考。

本书以云南省农科院植保所、云南省植保站共同完成的“十字花科根肿病发生规律研究及大面积示范”课题内容为素材，引用了云南省陆良县植保站、玉溪市红塔区植保站、宣威市植保站、昭通市植保站、澄江县植保站、昆明市官渡区植保站、昆明市植保站、呈贡县植保站、安宁市植保站的部分研究结果，在此一并致谢。

编著过程中，鉴于水平有限，如有错误之处，敬请同行和读者批评指正。

编著者

· 1 ·

目 录

一、十字花科蔬菜根肿病发生概况	(1)
二、十字花科蔬菜根肿病在云南的地理分布及危害	(2)
三、寄主范围	(4)
四、症状及田间识别	(4)
(一) 症 状	(4)
(二) 田间识别	(5)
(三) 田间诊断要点	(6)
五、病原菌生物学特性	(6)
(一) 病原菌分类	(6)
(二) 病原菌生物学特性	(6)
六、病原菌形态及侵染循环	(7)
(一) 病原菌形态	(7)
(二) 侵染循环	(7)
(三) 休眠孢子囊简易定量法	(9)
七、生理小种	(10)
(一) 根肿病菌有生理小种存在	(10)
(二) 人工接种方法	(10)
八、田间发生规律	(11)
(一) 白菜根肿病周年发生消长	(11)
(二) 白菜、甘蓝生长期间根肿病发生消长动态	(12)
(三) 油菜根肿病发生及消长	(13)
九、影响发病的因素	(14)
(一) 残存土中的病菌是根肿病的初次侵染来源	(14)
(二) 土壤环境条件	(15)
(三) 夏秋高温多湿的气候条件有利于根肿病的发生	(18)

(四) 品种抗病性	(19)
十、防治根肿病的关键技术	(22)
(一) 选用抗病品种	(22)
(二) 调酸防病	(22)
(三) 培育无病壮苗和苗期施药	(23)
(四) 防治根肿病的有效药剂	(24)
(五) 施药技术	(26)
十一、十字花科根肿病综合防治技术及技术操作规程	(28)
(一) 控病栽培技术	(28)
(二) 抗病品种	(31)
(三) 药剂防治	(32)
(四) 技术操作规程	(32)
十二、十字花科蔬菜根肿病调查及监测方法	(33)
(一) 调查内容及方法	(33)
(二) 监测方法	(35)
(三) 计算公式	(36)
参考文献	(37)

一、十字花科蔬菜根肿病发生概况

十字花科蔬菜根肿病是由芸苔根肿菌 (*Plasmodiophora brassicae* Woron) 侵染引起的一种土壤传播的真菌病害。

该病危害十字花科作物，世界各地均有分布和危害。最初记载是在 13 世纪的欧洲，1852 年美国首次报道。19 世纪，该病在原苏联北部及中部地区大面积发生并造成毁灭性灾害。近年来日本、韩国发生普遍而严重。

20 世纪 60 年代初期，我国仅在华东、华中、华南等部分省（市）发生。目前，浙江、上海、江苏、江西、安徽、湖南、福建、广东、广西、云南、辽宁、吉林、北京、黑龙江、西藏、山东、四川、台湾等省、市（区）均有发生，曾被列为国内植物检疫对象之一。

20 世纪 60 年代初期，根肿病在云南省蔬菜主产区仅零星发生，属一般或次要病害。1987 年宣威县有白菜根肿病发生的报道，随后昆明市官渡区（1993 年）、呈贡县（1995 年）、曲靖市麒麟区（1997 年）、陆良县（1997 年）等相继发生。呈贡县 1995 年发生面积 5 亩，1998 年发生面积已达 13 640 亩。官渡区 1993 年 3 月始见根肿病，发生面积 0.3 亩，当年 11 月发生面积增加到 2 亩，1994 年发病面积扩大到 25 亩。宣威市 1987 年始见，发病面积 0.2 亩，1999 年发生面积达 10 000 亩，造成损失的就有 5 000 亩左右。陆良县 1997 年始见，每年以 600 亩的危害速度递增。该病的发生危害有日渐发展蔓延的态势，已成为云南省外销蔬菜产业发展的一大制约因素。

二、十字花科蔬菜根肿病在 云南的地理分布及危害

2000~2003年4月,云南省植保站按农业部关于农业有害生物普查工作的调查方法,以白菜、甘蓝等十字花科蔬菜为调查对象,在云南省17个市(州)的蔬菜主要产地,分批进行十字花科根肿病发生的调查。其结果表明,昆明、玉溪、曲靖、昭通、大理、保山、楚雄、文山、德宏、普洱等10个市(州)、49个县(区)、202个乡镇、900个自然村均有根肿病发生,病区面积约24.6万亩(表1、图1)。十字花科蔬菜根肿病在云南省呈扩张蔓延的态势,其发生及危害有以下特点:

(1) 昆明、玉溪、曲靖市为重病区,病区面积218 295.2亩,占全省病区总面积的88.5%,并形成以昆明市为中心向周边地区扩展蔓延的格局。

(2) 除白菜、甘蓝、萝卜等十字花科蔬菜上有根肿病发生外,油菜根肿病在保山市的隆阳、腾冲,玉溪市的红塔、峨山、澄江、易门、江川,曲靖市的陆良、罗平,昆明市的安宁等10个县(区)均有发生。

(3) 在澄江的野生荠菜 [*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic] 上也有根肿病发生。

表1 云南省十字花科蔬菜根肿病发生概况(2004年4月)

市(州)	病害发生情况		
	县(市、区)	乡(镇)	面积(亩)
昆明	12	45	40 000
曲靖	8	68	67 234
玉溪	6	28	111 061.2
楚雄	6	12	2 047.8

续表 1

市(州)	病害发生情况		
	县(市、区)	乡(镇)	面积(亩)
大理	3	7	921.4
昭通	3	19	15 200
普洱	6	12	4 900
保山	2	8	1 203.6
文山	1	1	37
德宏	2	2	4 000
合计	49	202	246 605

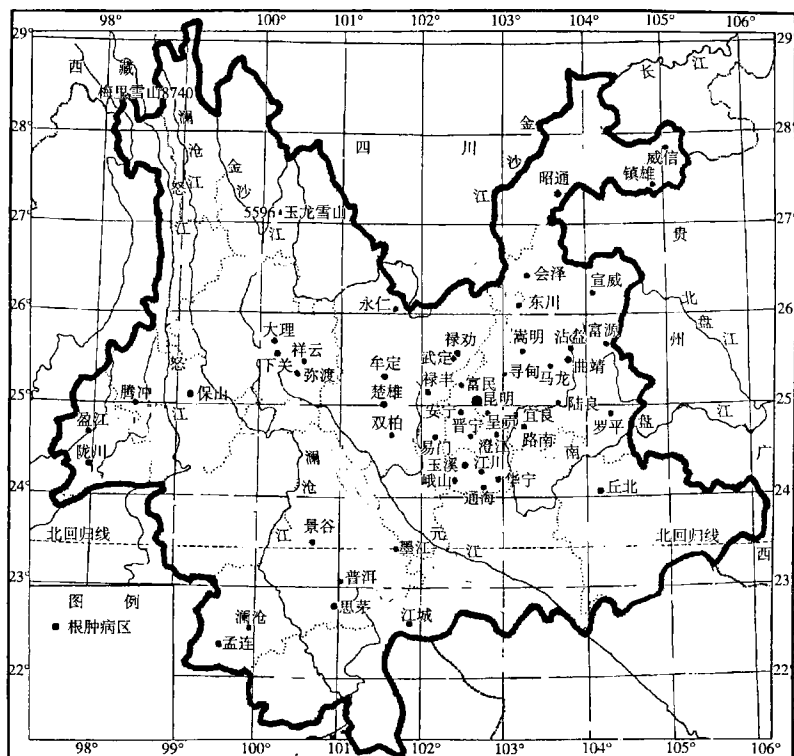


图 1 云南省十字花科蔬菜根肿病分布示意图

三、寄主范围

根肿病菌是一种专性寄生菌，可侵染十字花科栽培植物及野生植物 100 多种和变种。在人工接种的条件下还可侵染非十字花科植物，如罂粟科的虞美人 (*Panpauer vhoecas*)、樺草 (*Reseda adora-la*)，禾本科的草地生野麦草 (*Lolium pralense*) 和蝶形花科的红三叶草 (*Trifolium pralense*)。

根肿病菌主要危害隶属十字花科白菜类的大白菜、小白菜、油菜菜、乌塌菜、瓢儿菜；甘蓝类的甘蓝、宝塔花、苕蓝、西兰花、莲花白、花椰菜、孢子甘蓝；根菜类的白萝卜、红萝卜、樱桃萝卜；芥菜类的芥菜、青菜、榨菜、儿菜；油菜类的油菜、红菜苔。其他的有京水菜、芝麻菜等。

四、症状及田间识别

十字花科蔬菜根肿病只危害植株根部，在根上形成较大的突起。罹病根系逐渐丧失输送养分和水分的功能，根部显著肥大成瘤状，以致植株地上部不长，根部疯长，植株生长受阻，从而减产或绝收。

(一) 症 状

主要病变发生于根部。发病初期，地上部分的病状表现不明显，根部组织因受病菌侵染异常增生，增生部位膨大形成瘤状的根肿。由于根系功能的障碍，植株地上部分生长缓慢，白天烈日下外叶萎蔫，初期早晚能恢复。后期根肿表面龟裂，常被软腐病菌和其他病菌寄生，发出臭味。根肿影响了根系的正常吸收，致使植株缺

乏水分和养分，不能正常生长，发育缓慢。叶色暗淡，叶缘枯黄，严重时枯萎死亡。

（二）田间识别

苗期即可感染，田间植株多在定苗后，或移栽活棵，或盘棵期有明显的症状表现。

1. 白菜类（大白菜、小白菜、油麦菜、乌塌菜、瓢儿菜）

（1）初期病症，植株无失水萎蔫表现。拔根观察，很难见到根肿，用手触摸，稍有轻微突起。

（2）中期病症，植株下部叶片，在烈日下呈萎蔫状，叶色不变，早晚能恢复。拔根可见米粒大至鸟蛋大的不规则圆形的根肿显露，表面光滑。

（3）后期病症，植株重度萎蔫，矮缩，叶片发黄。拔根观察，主、侧根上均有根肿显露，主根上根肿多靠近地面，根肿呈不规则的球形，大的有鸡蛋大，表面粗糙，有龟裂。须根上的根肿小，常多个串生，病部易被软腐细菌侵染，组织腐烂或崩溃，有恶臭味，以致整株死亡。

2. 甘蓝类（甘蓝、宝塔花、苕蓝、西兰花、莲花白、花椰菜、孢子甘蓝）

染病植株，根部受害，扒开根际周围的土壤，主根上可见肿大的根瘤状物，呈纺锤形，侧根为不规则的小白薯状或手指状，地上部分萎蔫，叶片变黄，植株生长不良。

3. 芥菜类（芥菜、青菜、榨菜、儿菜）

苗期和成株期均能感染。发病初期，地上部分未见异常，感病植株的主根中部不规则膨大，侧根、须根不见根肿。

4. 根菜类（白萝卜、红萝卜、樱桃萝卜）

发病初期，地上部分未见异常，病部扩大后，根部形成肿瘤并逐渐膨大，地上部分生长缓慢、矮小或外叶中午萎蔫，植株变黄后枯萎而死，肿瘤形状主要着生在侧根上，主根极少变形，但体形

变小。

5. 油菜类

主根或侧根膨大成不规则形的肿瘤，后期肿瘤表皮变暗粗糙，地上部分生长不良，叶片变黄萎蔫。苗期即可发病，罹病植株矮小，在中午阳光照射下，植株叶片呈失水萎蔫状。

(三) 田间诊断要点

- (1) 对疑似植株拔根检查主、侧根上有无根肿。
- (2) 烈日下，疑似病株下部叶片呈失水凋萎状。
- (3) 罹病植株由于根系发育不良，极易从土壤中拔起。

五、病原菌生物学特性

(一) 病原菌分类

十字花科蔬菜根肿病是由鞭毛菌亚门，芸苔根肿菌属 (*Plasmodiophora brassicae* Woron) 侵染所致的一种真菌病害。1975 年俄国学者 Woronin 发现其病原，并定名为 *Plasmodiophora brassicae*，属鞭毛菌亚门，根肿菌属真菌。Airmsworth (1995 年) 将此病原重新分类为原生动物界，根肿菌门，根肿菌纲，根肿菌目，根肿菌科，根肿菌属，芸苔根肿菌。

(二) 病原菌生物学特性

根肿病菌是一类无细胞壁的原核生物。病菌形成孢子囊寄生于寄主植物根部的薄壁细胞内，在土壤中则以休眠孢子存在，对其分离与检测比较困难。目前，在 McFarlane (1958) 和 Ktnjtakehachi (1987) 等方法的基础上，将根肿组织（或带菌土壤）研磨，过滤获得休眠孢子囊粗提液，再用 50% 蔗糖溶液进行悬浮，可提

取到纯度较高的休眠孢子囊悬浮液，用于病菌的长期保存及其病原研究。

鉴于该病菌菌体内生，无壁，不能在人工合成培养基上生长的特性，一般对采集的病原标本作活体及冷冻保存。即在高温灭菌的营养土上栽种带菌的白菜（甘蓝）作病原体保存；冷冻保存则是将经水冲洗的罹病组织标样，装袋抽空后于 -20°C 下保存。

十字花科蔬菜根肿病菌休眠孢子萌发的最适温度为 24°C ，致死温度为 45°C 。土壤酸碱度（pH 值）对该病菌的侵染影响较大，pH 值为 $4.0 \sim 7.0$ 皆能发病，尤以 pH $5.4 \sim 6.5$ 最适宜发病，一般 pH 值为 7.0 或 7.2 以上不发病。光对孢子萌发有明显的抑制作用。休眠孢子在感病寄主的根分泌物溶液中萌发率高达 75% 。休眠孢子在土中存活力很强，至少可存活 $5 \sim 8$ 年。

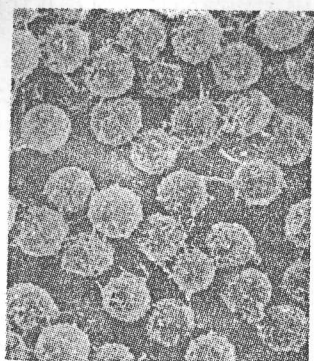
六、病原菌形态及侵染循环

（一）病原菌形态

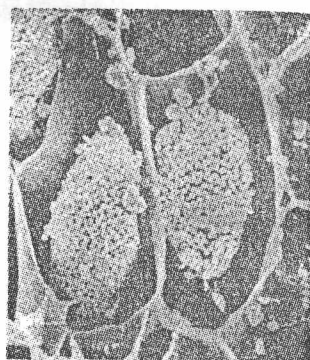
病菌在寄主细胞内形成孢子囊，孢子囊呈球形、单孢、无色，或略带淡灰色，膜壁光滑，直径 $1.5 \sim 4.3$ 微米，一般 $3.3 \sim 3.9$ 微米。在寄主受感染的膨大细胞内含有无数的孢子囊（图 2）。这种孢子囊能在土壤中越冬、越夏，因此又称休眠孢子囊。休眠孢子囊萌发后产生游动孢子，游动孢子具有 2 根长短不等的鞭毛，能在水中游动，静止后呈变形体状。

（二）侵染循环

病菌以休眠孢子囊在土壤中越冬或越夏。在寄主病根的膨大细胞含有大量的休眠孢子囊，病组织腐烂分解后，孢子囊散落入土壤中。休眠孢子囊抗逆力强，在土壤中至少可以存活 $5 \sim 8$ 年。土壤、



白莱根肿病菌休眠孢子囊
(放大10000倍) (唐文华)



白莱细胞中的白莱
根肿病菌休眠孢子囊
(放大500倍) (唐文华)

图2 白莱根肿病菌病菌形态图

病残体和未腐熟的肥料都可以带菌，成为翌年初次侵染来源。病菌在田间传播靠流水、雨水、灌溉水和土壤中的线虫、昆虫的活动以及农事操作。远距离传播，主要通过带菌的菜苗或泥土的调运。条件适合，土壤中的休眠孢子囊即能萌发，产生具有2根不等长前生鞭毛的第1游动孢子，其大小为24~60微米，静止后由根毛侵入寄主，形成无细胞壁不定形、多核的第1次原生质体，分化成游动孢子囊，释放出4~16个第2次游动孢子，进入土中后，侵入寄主根部皮层细胞，形成第2次原生质体，寄主细胞增生肿大，经多次侵染形成根瘤，被害根部腐烂后大量休眠孢子囊残留土壤中，存活期可达5~8年，从而轮生不息。

简而言之，根肿病菌的侵染可分成在土壤中、在植物根毛内和在根部皮层细胞3个侵染阶段。残留土壤中的休眠孢子囊，受植物根部的刺激，促使休眠孢子发芽，主动侵入根毛，完成第1次感染（或称根毛感染），在根毛内形成原生质团（变形体）和游动孢子囊，再次释放游动孢子，侵入根部皮层细胞，完成第2次感染（或称皮层细胞感染），一般在病菌侵染根后9~10天就开始形成

根肿。根肿在寄主根内逐渐膨大，根肿腐烂后，休眠孢子囊落入土中越冬，从而进行再侵染（彩图 39）。

（三）休眠孢子囊简易定量法

日本高桥贤司（1987）提出了休眠孢子囊的简易定量法检测技术。其简易定量法的操作程序如下：

（1）制备土壤悬浮液，10 克供试土壤与表面活性剂吐温 80（0.05% 水溶液）混合，搅拌 2~3 小时；

（2）土壤悬浮液用 32 目、60 目、120 目、200 目、400 目的筛子依次过滤；

（3）滤液离心分离（2 500 转/分）10 分钟，再将沉淀物悬浮于蒸馏水中；

（4）重复以上离心分离操作过程后，制备 100 毫升待测液；

（5）制成混合液：待测液 1.0 毫升，蒸馏水 15 毫升，荧光增白剂卡尔科弗卢尔·毫瓦依托 M_2R 的 0.1% 水溶液 2.5 毫升；

（6）在反射型荧光显微镜下调查休眠孢子数。

①休眠孢子的识别：荧光色，外形近球形，直径 3~5 毫米。

②休眠孢子数的测定：从 100 毫升土壤悬浮液中取 1 毫升，加 2.5 毫升荧光色素液——荧光增白剂（卡尔科弗卢尔·毫瓦依托 M_2R 的 0.1% 水溶液），制成待测液。

③用反射型荧光显微镜 V 激发法（激发滤光片：波长 95~415 纳米，吸收滤光片波长 45 纳米）放大 200 倍进行镜检。用血球计数板计算休眠孢子囊数。镜检时注意以下 3 点：发出特异很强的青绿色荧光；外形近球形；直径 3~5 微米。

七、生理小种

(一) 根肿病菌有生理小种存在

William 曾收集 16 个国家 124 个根肿病菌株，用威廉士鉴别品种，将它划分为 9 个生理小种，并对日本的甘蓝、白菜、芜菁根肿病菌株作了鉴定，分属 2 号、5 号、8 号小种。据日本吉川宏昭 (1990) 报道，该国根肿病菌小种以 1~4 号较多，与世界其他国家很相似。现一般采用成套的欧洲根肿病菌鉴别寄主 (European clubroot differential host) 加以区别，按十字花科蔬菜不同染色体数的 3 群，即 *Brassica campestris* L. sensu lato ($2n=20$)、*B. napus* L. ($2n=38$) 和 *B. oleracea* ($2n=18$)，每群各有 5 个变种，共有 15 个变种供鉴别。

(二) 人工接种方法

1. 根肿材料的保存

如果根肿材料不立即用于接种，可将洗净的根肿冰冻起来，在 -10°C 的温度条件下贮存。

2. 休眠孢子囊悬浮液的配制

(1) 选择 100 克冰冻的根肿材料，放在捣碎机中，加 400 毫升水搅拌 3 分钟，使其匀浆化。

(2) 通过 8 层纱布过滤，使其寄主的碎根与孢子囊分开。

(3) 用离心方法 (2 000 转/分，7 分钟) 收集孢子囊。

(4) 连续洗孢子囊 3 次，每次用 100 毫升水，再悬浮孢子囊，然后离心。

(5) 洗完后，在血球计数器中测定每毫升的孢子囊数，立即使用或在 2°C 温度下保存备用。