

红曲菌的形态与分类学

Morphology and Taxonomy of Monascus

李钟庆 郭芳 编著

LI Zhong - Qing and GUO Fang



中国轻工业出版社

作者简历

李钟庆 男 教授 1925 年 4 月出生于河北石家庄。1951 年毕业于山东大学理学院植物学系,1953 年毕业于南京大学生物学系研究生班。1953 年至 1959 年任教于南京大学。1959 年后在中国科学院微生物研究所从事研究工作到退休,其间于 1979 年至 1990 年任该所菌种保藏研究室主任,1979 年至 1992 年兼任中国微生物菌种保藏管理委员会副秘书长。

长期从事微生物菌种保藏及微生物资源的研究,着重红曲菌分类学和应用的研究,以及嗜冷和冷育微生物的研究。在红曲菌的研究中,先后发表过论文多篇,内容涉及红曲菌产生红色素条件的研究、各种红曲菌麦角固醇含量研究、各种红曲菌不同类型淀粉酶活力之比较,发现一个红曲菌新种——橙色红曲菌,报道过红曲色素

的两种新结构。

此外，主编过《常见常用真菌》、《菌种保藏手册》、《中国科学院微生物研究所菌种目录》、《中国菌种目录》等著作。

郭 芳 原名郭黛 女 工程师 1955 年 7 月出生
于北京。1975 年起在中国科学院微生物研究所工作至今。主要研究真菌的保藏及其分类鉴定。1987 年承担中日国际合作项目“红曲菌产色素优良菌种选育与工艺研究”后，开始独立研究红曲菌的分类学和红曲菌各种代谢产物，重视科研与应用相结合，注意广泛收集红曲菌菌株，并进行了优良菌株的选育与推广。参与编写了《菌种保藏手册》、《中国科学院微生物研究所菌种目录》、《中国菌种目录》等著作。

序 一

红曲是我国古代的重要发现，体现了我们祖先对微生物的利用成就。我们在过去几十年中研究过红曲的葡萄糖淀粉酶，并在生产中应用过，近来国内外学者又发现红曲和红曲菌的多种新功能，红曲菌的研究出现了一个新热潮。

我们的老同事李钟庆先生从事红曲菌的分类鉴定研究 40 余年，颇多建树，现在他将这些成果汇集整理，以供科学研究和应用的各方面需要，是一件值得赞许的好事。相信这本渗透着著者心血的著作能有助于我国红曲菌的研究和应用发展，特为之序。

中国科学院院士 张树政

序 二

这是一本学术性著作，作者总结了数十年严谨研究的成果。它又是有用的工具书，因为人们为了实用目的在自然界广泛寻求红曲菌时，常常苦于缺乏准确识别菌种的参考文献。作者从实用角度考虑，尽可能通俗地描述了菌株的宏观形态和显微形态，为了使广大读者便于按图索骥，还提供了多幅精美的照片和细致的线条图。

红曲是用谷物（当前大多数是大米）为原料选择性培养出以红曲菌为绝对优势微生物的发酵制品。红曲菌则是在 19 世纪后期由西方学者发现和命名的一类子囊菌门中的真菌。我国制造红曲的可考证的历史有 1000 年以上，用红曲烹调和做药用，乃至用做防腐剂的记载屡见于史籍中。把红曲菌和红曲两者联系在一起，搞清楚酿制红曲的微生物是红曲菌，是日本学者 20 世纪前

期进行的工作。今天我们知道,红曲菌在自然界的生长能力并不很强,要使它在谷物内与各种微生物的生存竞争中占绝对优势,即使在今天也并非易事,在古代没有微生物学知识的时候就更加困难了。在《本草纲目》和《天工开物》等著作中对红曲的制作,有详细的工艺描述,如控制温度和湿度、调节通气量等,充分体现了我国先民对自然现象观察的精确和驾御的巧妙。这些技巧在今天仍然具有重要的参考价值,所以在 20 世纪 20 年代日本学者曾经因为红曲而称赞我们是天才的中华民族。红曲菌除了用于生产食用色素外,还能够产生较强的葡萄糖淀粉酶,近 20 多年来又发现,红曲菌产生的许多代谢产物可以作为药物或保健品,同时还有红曲菌在代谢过程中会形成毒素的报道,因而从不同角度研究红曲菌成了当代应用真菌学领域中一道亮丽的风景线。

早在 20 世纪 60 年代初,李钟庆先生即在工业微生物学家、发酵界老前辈、已故方心芳院士的指导下开始研究红曲菌的形态学和分类学,同时结合生产需要筛选高产红色素的优良菌株。这可能是我国学者系统研究红

曲菌的开始。40 多年来,李先生即使在其他任务繁重时,也从未放弃过红曲菌的研究,后 20 多年又得到郭芳女士的勤奋协助,先后发表过有关论文多篇,尤其在红曲菌的形态和分类方面,当前似乎除本书两位作者之外,国内鲜有研究者。

鄙人曾有幸在早期配合过本书作者的工作,在国内首次提取出红曲菌中的红曲红素和红曲黄素。数十年来,尤其是在担任中国微生物学会秘书长和负责科技咨询开发工作委员会期间,曾多次在工作中接触过红曲和红曲菌的问题,得到过两位作者许多帮助。现在有幸先睹为快,行文虽难免专业词汇,但通俗易懂,使用方便,弥补了同类书籍多叙应用、少谈形态分类之不足,读后收益良多。相信读者会有同感。为此,不揣冒昧,愿向同道们推荐。

中国科学院微生物研究所研究员 程光胜

2002 年盛夏于中关村

自序

早在 1895 年,西方学者 Went 首次从我国的传统发酵食品红曲中分离出一种单子囊菌 (*Monascus*),定名为紫色单子囊菌 (*Monascus purpureus*),在这之前的 1884 年, van Tieghem 已经在真菌分类系统中建立了单子囊菌属 (*Monascus*)。由于在我国可以利用这个属中的一些菌种或菌株培制红曲,所以在汉语中把这个属翻译为红曲菌属。在菌物学 (Mycology) 中,对小型真菌具有性世代者称为菌,只有无性世代者,称为霉,而红曲菌有性和无性生殖可同时进行,故称之为红曲菌。

培制红曲,在我国历史悠久,可追溯到 1000 多年前。如北宋太祖时代,陶谷 (约在 960 - 970 年间) 摘选隋、唐、五代时期的典故,编写的《清异录》中有“红曲煮肉”之说。元代吴瑞 (1329 年) 著《日用本草》中记载“红

曲酿酒破血行药势”。以上二则记载是目前所见最早的文字证据。明代先后由李时珍和宋应星编著的《本草纲目》和《天工开物》两部世界名著中,既阐明红曲可入药,用于食品防腐和给食品着色,此外,还对红曲培制的细节,如控温、控湿、通风等,都有详细的描述。直到现今,仍然是培制红曲必须掌握的要点。

1979 年日本学者远藤章发现丛毛红曲菌 (*Monascus pilosus*)、红色红曲菌 (*M. ruber*) 和紫色红曲菌 (*M. purpureus*) 中的一些菌株能产生一种称为茂纳考林 K (monacolin K) 的生理活性物质,它能竞争性抑制胆固醇合成酶(HMG - CoA 还原酶),故可降低血脂。后来又相继发现这类菌还能产生 monacolin J. L. X 等物质,都有降血脂的作用。这类物质和土曲霉 (*Aspergillus terreus*) 产生的洛伐它汀 (lovastatin) 的化学结构相同,都属于被取代的六氢化萘内酯族化合物。

近年来又发现红曲菌产生的 γ - 氨基丁酸 (GABA) 可降血压,产生的类黄酮 (Flavonids) 为抗氧化剂,进一步又发现茂纳考林 K 还有抗癌和刺激骨骼形成等作

用。红曲菌产生的红曲红素 (Monascorubin) 和红斑素 (Rubropunctatin) 分子结构中的羰基易与氨基结合, 故可治疗胺血症 (Ammoniemia)。不过也发现某些红曲菌株在代谢过程中能产生真菌毒素桔霉素 (Citrinin), 它对肾脏有毒性, 这是红曲无益于人, 甚至有害的方面, 应该认真研究。

以上陈述的这些事例, 说明红曲菌和红曲对人类生活关系密切, 所以现在国内外研究者甚多, 特别在我国, 红曲产品的生产遍地开花。然而在开展应用研究的过程中, 多数工作者对不同红曲菌种的形态学特征认识较少。为了给广大有兴趣于红曲的读者提供一些帮助, 作者根据 40 余年研究红曲菌形态分类的体验, 撰写了本书, 以便对大专院校师生、科研工作者, 以及酿造产业的工人有所助益。

我们的工作得到浙江省义乌章舸生物工程有限公司的真诚合作, 本书的出版又得到该公司的大力支持, 谨致诚挚的谢忱; 张树政院士和程光胜教授欣然为本书作序, 中国轻工业出版社的唐是雯编审大力支持, 提出

了许多有益的建议,李亦兵副编审等为本书的出版付出了大量劳动,作者在此一并表示诚挚的谢意。

李钟庆 郭芳

2002年9月于中关村

目 录

一、红曲菌在生物界的位置	1
二、红曲菌属的形态学	3
三、红曲菌的生态习	11
四、红曲菌属的分类学	13
(一)佐藤喜吉的分类	17
(二)饭冢广与林庆福的分类	23
(三)郝氏与皮特的分类	26
(四)西川与饭冢的数码分类	34
(五)甘农与阿布杜拉和阿贝的分类	36
(六)宇田川与马场的分类	40
(七)李钟庆与郭芳的分类	45
附录 各种培养基的组成成分	61
参考文献	62

一、红曲菌在生物界的位置

红曲菌是单子囊菌属(*Monascus*)的真菌。因为其中一些种或菌株可以被用来培制红曲,所以汉语中将这个属命名为红曲菌。在真菌学中,我国对小型真菌有“菌”和“霉”两种称谓。一般把发现了有性世代的称为“菌”,未发现性世代的则称为“霉”。红曲菌中已观察到有性世代,所以我们称为“红曲菌”。

按当代流行的分类学观点,生物可分为3个域(Domain),真菌和动物、植物同归于真核生物域。按1995年出版的真菌学权威著作《真菌词典》(Dictionary of Fungi)第8版的分类系统,真菌(Fungi)包括子囊菌门(Ascomycota),担子菌门(Basidiomycota),壶菌门(Chytridiomycota)和接合菌门(Zygomycota)等。在生物分类学中常用的术语为门,纲,目,科,属,种。红曲菌则

是真子囊菌纲 (Eusascomycetes) 散囊菌目 (Eurotiales) 或称为不整子囊菌目 (Plectomycecales) 红曲菌科 (Monascaceae)。本科只有一个属即红曲菌属 (*Monascus* van Tieghem)。排列如下:

界: 真菌界 Eumycophyta

门: 子囊菌门 Ascomycota

纲: 真子囊菌纲 Eusascomycetes

目: 散子囊菌目 Eurotiales

科: 红曲菌科 Monascaceae

属: 红曲菌属 *Monascus*

种: 红色红曲菌 *Monascus ruber*

van Tieghem

通过上述的说明可以看出, 红曲菌在生物界虽然犹如九牛一毛, 但是它有一定的位置。

二、红曲菌属的形态学

红曲菌的形态学可分为个体形态和群体形态,即菌落(colony)等的特征。个体形态包括菌丝,无性世代,有性世代三方面。

菌丝(hypha):红曲菌的菌丝有横膈是多细胞构造,无色透亮或含深浅不同的红色色素,或深浅不同的褐色色素。细胞多核,用姬姆萨染色(Giemsa stain)细胞多核清晰可见。细胞中大都具黄色油滴(guttulate),细胞壁光滑,但往往附有结晶的疣状物(crystalline encrustations)。菌丝具不规则的分枝,菌丝的直径 $3 \sim 6\mu\text{m}$ 。菌丝之间常有网结联合(anastomose)现象。图1和图2。

无性世代(asexual generation):红曲菌的无性生殖产生分生孢子(conidia)。分生孢子着生在菌丝顶端或侧面小梗顶端,单生或以向基的(basipetal)方式而形成

链。分生孢子细胞具有平截的基部 (bassal truncation), 单细胞 (unicellular), 多核 (multinuclear), 含油滴, 倒梨形 (obpyriform) 或球形 (globose), 壁光滑, 通常透亮或含色素。

有性世代 (sexual generation): 有性生殖产闭囊壳 (cleistothecium), 过程是在一菌丝顶端或侧枝顶端首先形成一个多核的雄器 (antheridium)。随后, 在雄器下面的细胞以单轴方式又生出一个细胞即雌性器官产囊器 (ascogonium) 的前身。由于雌性器官的生长和发育而将雄器向下推压, 使雄器与柄托呈一定角度。这时雌性器官在顶部又发生一横隔膜, 分成两个细胞, 顶端的细胞为受精丝 (trichogyne), 另一细胞即产囊器, 见图 1, 二者都含有几个细胞核。当受精丝顶端与雄器接触后, 接触点的细胞壁融解形成一孔。雄器内的细胞质与核通过受精丝进入产囊器内。此时只行质配, 而细胞核则成对排列, 并不结合。同时, 在两性器官下面生出许多纠缠在一起的菌丝将其包围, 形成初期的闭囊壳。壳内的产囊器膨大, 并长出许多产囊丝。每个产囊丝形成许多双核细

胞,核配于此时发生,经过核配的细胞即子囊母细胞。每个子囊母细胞中的核经三次分裂,形成8个核,每核发育成一个单核的子囊孢子(ascospore)。子囊母细胞变成子囊。故每个子囊都含8个子囊孢子。子囊壁在子囊孢子成熟过程中即解体。初期闭囊壳内的子囊及其孢子不是同时形成同时成熟,有的子囊孢子已散开,有的尚在发育中,见图1。成熟后的闭囊壳壁较薄,只有一两层细胞,无孔口(ostiole),内含有成堆的子囊孢子。当闭囊壳破裂后散出子囊孢子。子囊孢子萌发后形成多核的菌丝。李钟庆于1961年将培养的烟色红曲菌菌落,连同培养基切成小块,再用FAA固定液固定,经石蜡切片和Giemsa染色后镜检,上述情况清晰可见。

红曲菌在培养过程中其无性生殖和有性生殖几乎同步发生,惟分生孢子发育快而子囊孢子发育慢而已。红曲菌的生活史参考图2。