



普通高等学校精品课程建设教材

基础生物学

实验指导

赵海泉◎主编

遗传学分册

JICHUSHENGWUXUE
SHIYANZHIDAO



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE

图书在版编目(CIP)数据

基础生物学实验指导/赵海泉主编. —北京:中国农业大学出版社,2008.8
ISBN 978-7-81117-425-0

I. 基… II. 赵… III. 生物学-实验-高等学校-教学参考资料 IV. Q5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 125784 号

书 名 基础生物学实验指导 遗传学分册

作 者 赵海泉 主编

策划编辑 魏秀云

责任编辑 孟 梅

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出版部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

规 格 787×980 16 开本 4.5 印张 78 千字

定 价 本册定价:12.00 元(总定价:84.00 元)

图书如有质量问题本社发行部负责调换

《基础生物学实验指导》 教材编写人员

主 编 赵海泉

副主编 蔡永萍

编写人员 (以姓氏笔画为序)

何金铃 陈晓琳 张玉琼

金 青 郭 宁 詹永乐

编者的话

安徽农业大学从高等教育发展的需要出发,结合学校的实际情况,自2005年9月起在学校全面实行学分制改革,学分制的教育管理对过去的人才培养模式、专业培养方案、课程设置及学时数等方面进行了大规模的调整。为配合学校学分制改革,加强学生的动手能力,在有限的学时内完成基础生物学实验内容,我们编制了这本《基础生物学实验指导》教材。

教材分《植物学分册》、《动物学分册》、《微生物学分册》、《生物化学分册》、《植物生理学分册》、《细胞生物学分册》和《遗传学分册》7个分册。教材以本科生为使用对象,既满足农业院校各相关专业学生学习基础生物学的要求,也可为生物类专业学生学习基础生物学实验使用。教材以基础生物学实验为内容,吸收国内外有关基础生物学实验的新成果、新方法、新进展,对涉及基础生物学课程的实验有较完整的介绍,并尽可能使各实验课程的内容之间既有相互联系又不交叉重复。在内容的编排上既考虑学科的课程体系,也兼顾农业院校各专业的需要;既依据现有的实验室条件,也按照实验课程的学时设置;既有经典性实验,也有综合性和设计性实验。

教材的编写人员均为长期在基础生物学实验教学一线的老师,具体分工为《植物学分册》由何金铃老师编写,《动物学分册》由詹永乐老师编写,《微生物学分册》由陈晓琳老师和赵海泉老师编写,《生物化学分册》由金青老师编写,《植物生理学分册》由张玉琼老师编写,《细胞生物学分册》由郭宁老师和蔡永萍老师编写,《遗传学分册》由郭宁老师编写,赵海泉老师和蔡永萍老师负责统稿和审稿。

在教材编写的过程中得到了安徽农业大学教务处、生命科学学院和中国农业大学出版社诸多老师的支持和帮助,在此,我们一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,加上对实行学分制理解认识的局限,书中的不妥之处在所难免,敬请批评指正。

赵海泉

2008年5月

前 言

遗传学(Genetics)是生命科学中发展较迅速的前沿学科之一。遗传学的研究成果同人类健康、农业生产、环境保护乃至国防建设都密切相关。自1900年孟德尔定律被重新发现以来,遗传学取得了很大的发展,阐明了许多遗传学现象和规律。遗传学揭示的生物的遗传本性、遗传学研究的思路以及研究成果都对社会产生了巨大的影响。进入21世纪之后,科学家对线虫、果蝇、拟南芥等动植物以及人类基因组计划的初步完成,更加突出遗传学在生命科学中的核心与前沿学科的地位。同时,遗传学研究与其他学科研究的交叉渗透、相互促进,必将更加有力地推动科学和社会的发展,造福人类。

遗传学与生命科学其他分支学科一样,是一门实验性很强的学科。遗传学本身的迅速发展与设计周密的实验方法、不断更新的实验设备有着不可分割的联系,同时,遗传学实验技术又与其他相关学科密切联系。因此,遗传学实验课程是遗传学教学的重要环节,是开展遗传学研究的重要基础。实验内容既包括经典遗传学实验技术的验证实验,又包括现代遗传学的实验新技术、新理论的综合性的遗传实验,课程体系由验证性、设计性和综合性等多层次实验构成,因而实验课既有理论的深度,又有实践和应用的广度。

通过实验教学,验证遗传学的基本规律,学习和掌握遗传学研究的基本操作技能,加深学生对遗传学的基本理论和概念的认识,提高学生的遗传实验水平和实验动手能力,激发学生对探索遗传学规律的浓厚兴趣,在实验过程中培养学生观察问题、分析问题和解决问题的能力及团队合作的意识,为将来从事遗传研究或继续深造打好基础。

本书共有15个实验,内容涉及动物、植物细胞分裂中染色体的行为与特征,人类染色体的特征与分析方法,物理因素、化学因素诱变的方法及结果鉴定,果蝇的采集、饲养及唾腺染色体的提取与特征观察,数量遗传性状的统计分析等。考虑到学分制下,不同层次、不同专业的学分数不同,也考虑到学生预习的需要,每个实验分别阐述基本原理、操作步骤、注意事项、作业与思考题。首先是实验的基本原理,然后是详尽的操作步骤,接下来是实验中的注意事项,最后是为巩固所学内容提出的作业与思考题。从材料准备、实验观察到统计分析均由学生分组完成,培养学生认真实验、观察记录、分析数据及设计实验的能力,同时培养学生面对问题勤于思考的良好习惯。

目 录

遗传学实验室规则	(1)
实验一 植物细胞有丝分裂的制片与观察	(2)
实验二 植物染色体组型分析	(6)
实验三 植物花粉母细胞制片及减数分裂的观察	(10)
实验四 孟德尔遗传定律的验证	(14)
实验五 链孢霉的分离和交换	(17)
实验六 脱氧核糖核酸(DNA)的鉴定——孚尔根(Feulgen)反应	(21)
实验七 脱氧核糖核酸(DNA)的鉴定——DNA与RNA区分染色法	(24)
实验八 理化因素诱发染色体畸变的研究	(26)
实验九 植物雄性不育系的观察与利用	(29)
实验十 果蝇的观察和饲养	(31)
实验十一 果蝇唾腺染色体的制片	(36)
实验十二 果蝇的伴性遗传	(38)
实验十三 人类X染色质的观察	(41)
实验十四 染色体显带技术和带型分析	(44)
实验十五 群体平衡定律的应用	(48)
附录一 固定液	(52)
附录二 染色液	(54)
附录三 其他常用溶液	(58)
参考文献	(60)

遗传学实验室规则

一、学生每次实验前,必须认真预习,包括理论课教材中和实验指导书中的相关内容,明确实验目的、原理和要求,充分了解实验内容与步骤。

二、提前 10 min 进入实验室,按照指定位置就座,不得随意更换。实验课不得无故缺席和迟到,若有特殊原因不能参加实验,必须提前履行请假手续,并在一周内协商补做。连续两次缺席实验,本课程不计成绩,必须在下学期重选。

三、实验前,应先仔细检查实验器材是否齐全,若有缺损,要及时报告指导老师,请求处理。应自觉爱护实验室的仪器、设备、用具,严禁故意和私自拆卸。在实验过程中,若有器材损毁或丢失,应及时登记并酌情赔偿。

四、实验过程中,学生应严格按照实验操作步骤和仪器操作规范进行,独立操作,仔细观察,认真记录。遇到问题,应积极思考或请教指导教师。学生应按规定完成课堂实验观察内容及实验报告与作业。综合性、设计性实验,必须在合理设计试验方案的前提下,适时实施,按质按量地完成实验任务。

五、严禁在实验室内大声喧哗、打闹,不得在实验室内随意走动,充分保持实验室安静,维护良好的课堂秩序。

六、遵守公德,讲究环境卫生。严禁随地吐痰和乱扔纸屑、杂物。带到实验室的书包、衣帽、雨伞等非实验用品应按指定位置有序摆放,保持实验室整洁。

七、提倡节约,反对浪费。在保证实验正常进行的前提下,尽可能节约水、电、药品试剂、实验材料等。

八、实验结束后,应将显微镜、永久制片及各种实验器具擦洗干净,摆放整齐,恢复实验前的面貌。废弃物按要求分类收集、处理。

九、学生分组轮流值日,负责整个实验室的卫生清洁工作,关好门、窗、水、电等。经指导老师许可,方可离开实验室。

十、加强安全意识,实验时若发生意外情况,应及时报告指导老师。

实验一 植物细胞有丝分裂的制片与观察

一、实验目的与原理

1. 目的:学习和掌握植物细胞有丝分裂的制片技术,并通过对植物细胞有丝分裂制片的观察,熟悉有丝分裂的全过程以及染色体在各个分裂时期的形态特征。

2. 原理:有丝分裂是生物细胞最基本的一种分裂方式,也是生物体增殖的重要方式,包括细胞核分裂和细胞质分裂。植物细胞有丝分裂主要在根尖、节间、茎的生长点、芽以及其他分生组织里进行。将生长旺盛的植物分生组织经取材、固定、解离、染色、压片,可以观察到细胞有丝分裂的全过程。若进行染色体形态和数目的观察,则取材之后需要对材料进行前处理,阻止细胞分裂过程中纺锤丝的形成,使细胞分裂停止在中期。此时,染色体不是排在赤道板上,而是分散在整个细胞核中,便于对染色体的形态、数目进行观察。

有丝分裂是一个连续的过程,为研究方便起见,人们依据不同时期细胞核及其内部染色体的变化特征,划分为前期(prophase)、中期(metaphase)、后期(anaphase)、末期(telophase)。在细胞两次分裂之前还有一个间期(interphase)(图 1-1)。现简要说明镜检下各个时期细胞核及染色体的变化特征。

间期:为两次分裂之间的时期,这个时期的主要特征是细胞质均匀一致,细胞核在染料的作用下核质呈均匀致密状态,有明显的核仁,染色体细长呈丝状散布于核内,普通制片在低倍镜下不可见,良好制片在高倍油镜下可以观察到一些染色较深的细小颗粒,一般认为是染色线上染色质螺旋卷曲而成的染色粒。核与质之间有核膜分开,但核膜和核质在普通生物显微镜下不能明显区分。

前期:这个时期又可分为 3 个时期:

早前期:染色质开始螺旋卷曲形成非常细的丝状,分布于核内,核仁清楚。

中前期:染色体继续收缩加粗,由于染色体周围基质不断增加,染色加深,染色体呈连续的线状。此时染色体仍扭曲很长,并互相缠绕,故整个核内的染色体犹似一团搅乱的粗麻线,这时尚有核膜、核仁,但在普通生物显微镜下核膜一般不易见到,核仁隐约可见。

晚前期:染色体进一步螺旋变粗变短,呈明显的双股性,即两条染色单体由一个着丝粒相连,可见端点,染色体渐趋中央赤道面处集结,但彼此仍然缠绕,核膜、

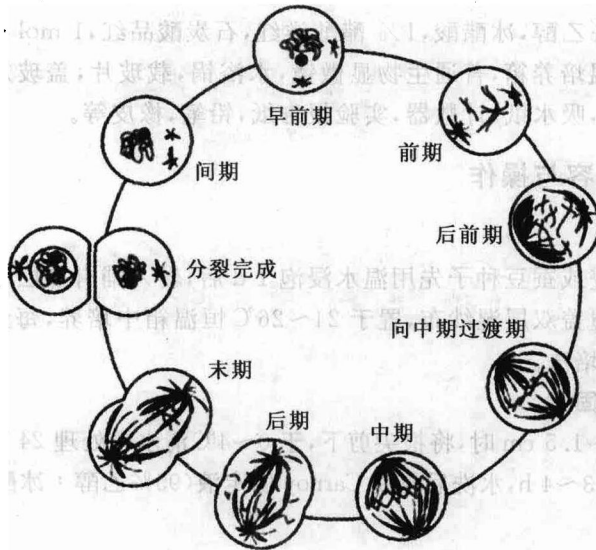


图 1-1 细胞有丝分裂模式图

(引自:Rebecca St. Martin)

核仁逐渐消失。

中期:染色体着丝粒均处于赤道面上,染色体的两臂自由伸展在细胞质内,纺锤丝与着丝粒相连形成纺锤体,着丝粒未分裂,纺锤丝在一般制片中看不到,良好的制片根据细胞质着色微粒的排列可隐约见到丝状分布。着丝粒位置非常清楚,一条双股性连续的染色体,突然在某个地方出现不着色的透明点,好像整个染色体分成两段。中期极面观染色体排列图像形似车轮辐条状,故此期通过特殊制片方法可观察染色体的个体性。

后期:染色体的着丝粒分裂,两个染色单体互相排斥分开,并由纺锤丝的曳引逐渐移向两极。

末期:以分开的两组染色体到达细胞的两极为末期的开始,然后染色体重新聚集起来平行排列,进行一系列与前期逆向的变化,染色体解螺旋化,核仁、核膜再现,形成两个新的子核。细胞质随着核的形成不均等分裂最终形成两个新的细胞。

二、实验用品

1. 材料:大蒜(*Allium sativum* L. $2n=16$)、蚕豆(*Vicia faba* L. $2n=12$)、玉米

(*Zea mays* L. $2n=20$)、大麦(*Hordeum vulgare* L. $2n=14$)等植物种子。

2. 试剂:95%乙醇,冰醋酸,1%醋酸洋红,石炭酸品红, $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 等。

3. 器材:恒温培养箱,普通生物显微镜,水浴锅,载玻片,盖玻片,单面刀片,镊子,培养皿,量筒,吸水纸,计数器,实验报告纸,铅笔,橡皮等。

三、实验内容与操作

(一)生根

将玉米、大麦或蚕豆种子先用温水浸泡 1 d 后,转入铺有多层吸水纸或纱布的培养皿中,上面覆盖双层湿纱布,置于 $24\sim 26^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中培养,每天换水两次。大蒜可采用暗处水培法。

(二)取材与固定

待根长至 $1\sim 1.5 \text{ cm}$ 时,将根尖剪下,于 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 清水中处理 24 h,或经饱和对氯二苯 25°C 下处理 $3\sim 4 \text{ h}$,水洗后再用 Carnoy 固定液(95%乙醇:冰醋酸=3:1)固定 $2\sim 4 \text{ h}$ 。

(三)解离

将固定后的根尖置于 60°C $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 中恒温水浴 $8\sim 10 \text{ min}$ 。

(四)水洗

解离后的材料要用清水或蒸馏水洗 $3\sim 5$ 次。

(五)染色与压片

取出水洗后的根尖置于载玻片上,用解剖针切取生长点部分,加一滴醋酸洋红染色,用解剖针捣碎后尽量铺开,加上盖玻片,用解剖针轻敲盖玻片,使细胞分散,经酒精灯火焰烤片,再压片。

(六)镜检

将制片先放在低倍镜视野下,寻找典型的各时期的分裂相细胞,然后转换于高倍镜下仔细观察染色体的形态并描绘下来。

四、注意事项

1. 取材必须要在细胞分裂高峰时进行:不同植物、不同环境条件,细胞分裂高峰的时间不同。一般在上午 $9\sim 11$ 时是细胞分裂高峰期。若是对陌生材料取材,应每隔 $2\sim 3 \text{ h}$ 取材一次,以便找到细胞分裂高峰时间。

2. 解离的时间要根据材料来确定:大蒜、洋葱等百合科的植物,纤维素和果胶质的含量相对较低,解离 $4\sim 5 \text{ min}$ 即可。禾本科植物根尖的解离时间要相对加长。但解离时间也不能过长,否则材料太软,增加实验操作难度,且染色效果不佳。

五、作业与思考题

1. 绘出你所看到的细胞有丝分裂各个时期的典型图像,并简要说明各时期染色体的行为和变化。

2. 在高倍镜下观察统计5个视野内的分裂相细胞填入表1-1,其中何种分裂相细胞最少?为什么?

表 1-1 有丝分裂细胞统计

个

视野	间期	前期	中期	后期	末期	合计
1						
2						
3						
4						
5						
合计						
占观察总数的%						

实验二 植物染色体组型分析

一、实验目的与原理

1. 目的:学习植物染色体核型分析的方法和显微摄影技术。

2. 原理:染色体组型分析是细胞遗传学研究的基本方法,是研究物种演化、分类以及染色体结构、形态与功能之间的关系所不可缺少的重要手段。染色体组是指二倍体生物配子中所含的染色体总称,常以“X”表示。同一物种的同一染色体组内各染色体的形态、结构和连锁群是彼此不同的,但它们却相互协调,共同决定生物性状的发育。

研究染色体组型的方法,一是靠有丝分裂时染色体的形态特征,另一是靠减数分裂时染色体的形态和特征。本实验着重介绍有丝分裂的染色体组型分析。

细胞有丝分裂中期是识别染色体个性特征的最佳时期,而染色体组型分析就是进行染色体特征的鉴别和描述,其形态的鉴别主要依据染色体的长度、着丝粒位置、次缢痕的有无和位置、随体的有无、形状和大小等资料进行分析(图 2-1)。现分别介绍如下:

(1)染色体长度:同一染色体组内各染色体的长度是不一致的,其绝对长度可在显微镜上测量,或用放大照片测量后换算。由于染色体制片过程中使用的药剂及方法不同,而且供观察的细胞分裂不可能保证处于同一时期,故染色体的收缩存在差异,从而导致染色体的绝对长度在同一物种或个体的不同细胞间发生差异。针对这种情况,在分析中常用染色体的相对长度来表示。在染色体长度测量中,对染色体的两条臂要分别测量,一般随体不计入染色体长度内。

$$\text{染色体的相对长度} = \frac{\text{单一染色体的绝对长度}}{\text{染色体组的总长度}} \times 100\%$$

(2)着丝粒的位置:每条染色体都有一着丝粒,其在染色体上的位置是固定的,但因不同染色体而异。由于着丝粒把染色体分为相等或不等的两臂,各染色体的长臂和短臂的比值称为臂率(即臂比)。臂率为 1.0~1.7,称中部着丝粒染色体(M);臂率为 1.71~3.0,称近中部着丝粒染色体(SM);臂率为 3.01~7.0,称近端部着丝粒染色体(ST);臂率超过 7.0,称端部着丝粒染色体(T)。

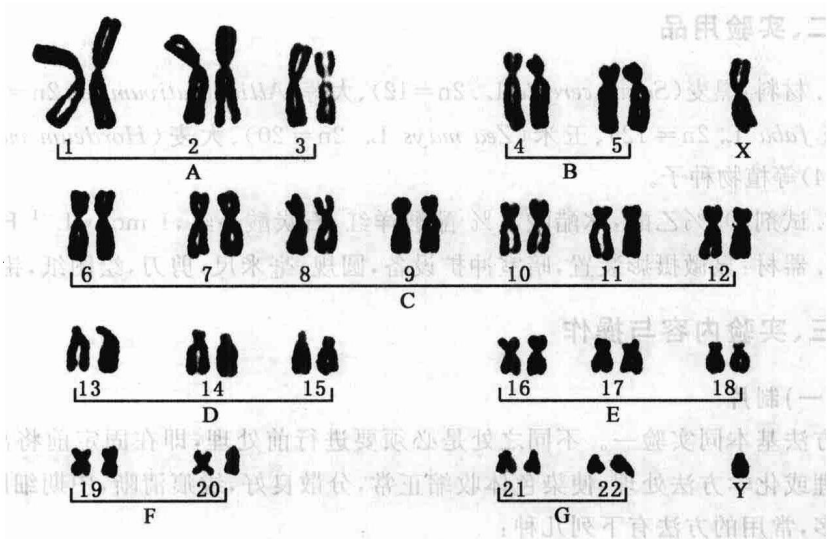


图 2-1 人类染色体组型分析

(3)次缢痕的有无和位置:有些染色体上除着丝粒外,还另有一个不着色或缢缩变细的区域称为次缢痕。

(4)随体的有无、形状和大小:有些染色体在短臂的末端有一棒状小体称为随体,随体和染色体臂之间常以次缢痕相隔,具有随体的染色体称 SAT 染色体。

例如,图 2-1 和表 2-1 分别为人类染色体组型分析图及组型分类。

表 2-1 人类染色体组型分类

组型分类	染色体编号	染色体长度	着丝点位置	随体
A	1~3	最长	中间,近中	无
B	4~5	长	近中	无
C	6~12,X	较长	近中	无
D	13~15	中	近端	有
E	16~18	较短	中间,近中	无
F	19~20	短	中间	无
G	21~22,Y	最短	近端	有

二、实验用品

1. 材料:黑麦(*Secale cereale* L. $2n=12$)、大蒜(*Allium sativum* L. $2n=16$)、蚕豆(*Vicia faba* L. $2n=12$)、玉米(*Zea mays* L. $2n=20$)、大麦(*Hordeum vulgare* L. $2n=14$)等植物种子。

2. 试剂:95%乙醇,冰醋酸,1%醋酸洋红,石炭酸品红, $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl。

3. 器材:显微摄影装置,暗室冲扩设备,圆规,毫米尺,剪刀,绘图纸,铅笔等。

三、实验内容与操作

(一) 制片

方法基本同实验一。不同之处是必须要进行前处理,即在固定前将离体根尖用物理或化学方法处理,使染色体收缩正常,分散良好,缢痕清晰,中期细胞分裂图像增多,常用的方法有下列几种:

1. 低温法:将离体根尖置于 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 的蒸馏水中 $24\sim 48\text{ h}$ 。

2. 药剂法:将离体根尖置于 $0.05\%\sim 0.1\%$ 秋水仙碱溶液或 $0.002\sim 0.004\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉中,室温下保存 $2\sim 3\text{ h}$ 。前处理后的材料经固定、解离、染色等过程制成临时片或永久片。

(二) 观察制片

选择理想的中期分裂相细胞进行显微摄影,冲洗放大照片,求出照片放大倍数。

1. 测量:取两张放大照片,一张以整张粘贴于分析结果报告上,另一张则用于将各染色体剪下。依次测量染色体相对长度,长臂和短臂的长度和臂比(长臂/短臂),所获数据填入染色体组型分析表(表 2-2)。

2. 配对:剪下每条染色体,根据随体有无及大小、臂比是否相等、染色体长度是否相等来配对。

3. 排列:染色体长的在前;带有随体的染色体排在最后(大随体在前、小随体在后)。

4. 剪贴:将上述已经排列的同源染色体按先后顺序粘贴在实验报告纸上。粘贴时,应使着丝粒处于同一水平线上,并一律短臂在上、长臂在下,构成核型图。

5. 翻拍:剪贴排好的染色体组型图,可进行翻拍。

6. 用坐标纸绘出一张清晰的染色体组型模式图,贴在整张照片的下方或右方。其中 $2\sim 6$ 均可由数码显微系统完成。

四、注意事项

1. 植物染色体组型分析方法分为两大类：一类是分析体细胞有丝分裂时期的染色体数目和形态；另一类是分析减数分裂时期的染色体数目和形态，均能得到染色体组型。
2. 实验材料应选用染色体数目较少、染色体相对较大的植物材料。
3. 测量前应进行染色体编号，以避免造成混乱。

五、作业与思考题

完成以下大麦染色体组型分析表，并剪贴一张染色体组型图，绘制染色体组型模式图。

表 2-2 大麦染色体组型分析

编号	绝对长度 (μm)	相对长度 (%)	短臂(s) 长度(μm)	长臂(l) 长度(μm)	臂率 (%)	有无随体	类型
I							
II							
III							
IV							
V							
VI							
VII							
总长度							

实验三 植物花粉母细胞制片 及减数分裂的观察

一、实验目的与原理

1. 目的:学习并掌握玉米花粉母细胞的制片技术,观察并熟悉细胞的减数分裂过程,了解植物性母细胞减数分裂各个时期的细胞学特征及染色体变化规律。

2. 原理:减数分裂是生物在形成性细胞过程中的一种特殊方式的细胞分裂,先由有性组织(花药或胚珠)中的某些细胞分化为二倍性的小孢子母细胞或大孢子母细胞,这些细胞连续进行两次细胞分裂,即减数第1分裂和减数第2分裂,结果一个小孢子母细胞形成4个小孢子,或一个大孢子母细胞形成一个大孢子,它们的染色体数都只有体细胞的一半。

减数分裂在遗传上有重要意义。性母细胞($2n$)经过减数分裂形成染色体数目减半的配子(n)。经过受精作用,雌雄配子融合为合子,染色体数目恢复为 $2n$ 。这样在物种延续的过程中确保了染色体数目的恒定,从而使物种在遗传上具有相对的稳定性。另外,在减数分裂过程中包含同源染色体的配对、交换、分离和非同源染色体的自由组合,这些都是遗传学中分离、自由组合和连锁互换规律的细胞学基础。在这些基本规律的作用之下,导致了各种遗传重组的发生,而遗传重组又是生物变异的基础。

在适当时候采集植物的花蕾,制备染色体标本,即可在显微镜下观察到植物细胞的减数分裂。减数分裂过程如下(图3-1):

(1)间期:DNA在间期进行复制。

(2)第1次减数分裂:

前期I:这个时期经历最长,变化也较复杂,故根据染色体的变化又细分为5个时期。

细线期:第1次分裂开始,染色质浓缩为几条细而长的细线。每一染色体已复制为2个单体,但在显微镜下看不出染色体的双重性。

偶线期:同源染色体开始配对。

粗线期:同源染色体配对完毕,这种配对的染色体叫双价体,每个双价体含有4个染色单体,非姊妹染色单体的同源区段发生交换。

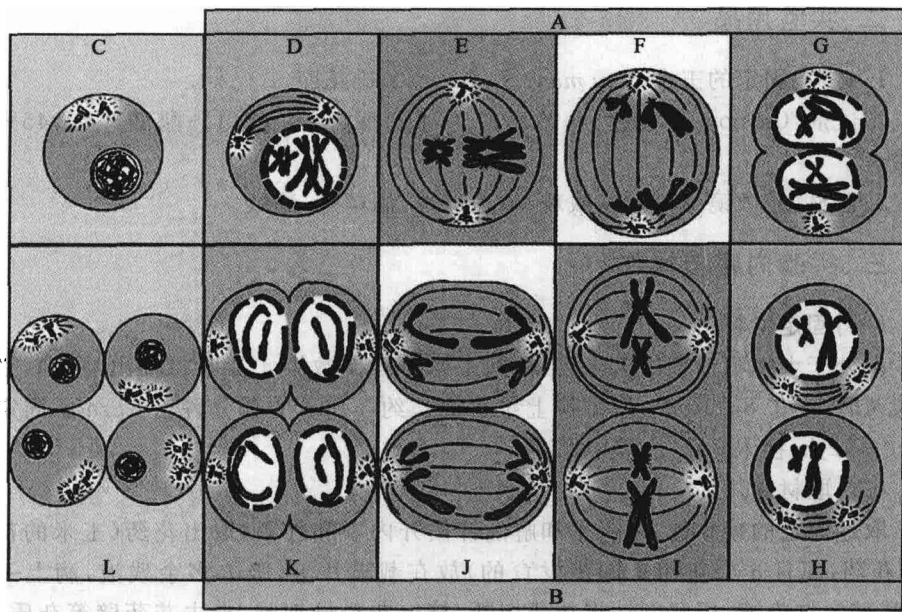


图 3-1 减数分裂模式图

A. 减数第 1 次分裂 C. 间期 D. 前期 I E. 中期 I F. 后期 I G. 末期 I
B. 减数第 2 次分裂 H. 前期 II I. 中期 II J. 后期 II K. 末期 II L. 4 孢子

双线期:同源染色体有交叉现象,染色体螺旋化程度加深。

终变期:交叉向染色体端部移动,染色体变得更短粗。核膜消失。

中期 I:同源染色体的着丝粒排列在赤道板两侧。

后期 I:同源染色体随机分离,分向两极。

末期 I:染色体解旋成丝状,核膜形成,胞质分裂,成为 2 个子细胞。

(3)中间期:短暂的停顿期,时间短,DNA 不复制,很多生物中没有此时期。

(4)第 2 次减数分裂:

前期 II:染色质浓缩卷曲成染色体状态,核仁、核膜消失。

中期 II:染色体排列在赤道板上,每个染色体含有一个着丝粒、两条染色单体。两条染色单体开始分离。此时细胞的染色体数为 n ,每个染色体有两条染色单体。

后期 II:着丝粒一分为二,姊妹染色单体分离,向两极移动。

末期 II:染色体解螺旋变为染色质状态,核仁、核膜重新出现,细胞质分裂,各形成两个子细胞。