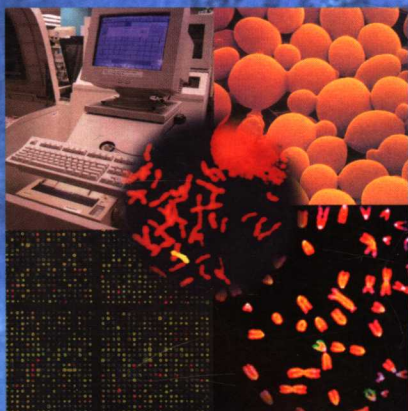


21世纪 高等院校教材

生物科学系列

遗传学综合实验

李雅轩 赵 昕 主编



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材——生物科学系列

遗传学综合实验

主 编 李雅轩 赵 昕

副主编 胡英考 梁前进

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一本集综合性及实用性为一体的遗传学实验教材。本教材主要包括植物遗传学系列、动物及医学遗传学系列、果蝇遗传学系列、微生物遗传学系列、数量与群体遗传学系列以及分子遗传学系列实验六大部分,共40个实验。而且在实验后附有考核题和答案以及实验室一般溶液、常用培养基和各种染色液的配制方法,以期为实验室工作人员提供较为全面的参考资料。

本书各章节包含实验相关背景知识的介绍,各实验中需加注意的特殊事项、实验课后的总结与分析,强调实验课程的整体性。同时,设计了一部分强调探索性的开放式实验,以便在对学加强基本技能、提高实验水平的同时,培养学生的自学能力和综合科研能力。

本书适用于高等院校生物及相关专业的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

遗传学综合实验/李雅轩,赵昕主编. —北京:科学出版社,2006

21世纪高等院校教材——生物科学系列

ISBN 7-03-016957-3

I. 遗… II. ①李…②赵… III. 遗传学-实验-高等学校-教材

IV. Q3-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第014956号

责任编辑:单冉东 彭克里 席慧/责任校对:张琪

责任印制:张克忠/封面设计:陈敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年5月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006年5月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1—3 000 字数: 311 000

定价: 22.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

序

遗传学是研究生物遗传与变异规律的一门学科。自孟德尔揭示的遗传定律于1900年被重新发现以来,这门学科经历了一个多世纪的发展,取得了近代自然科学史上空前辉煌的成果,并且正显示出强劲的发展势头。伴随着相关学科以及实验技术的发展,遗传学正迅速地从研究生物体形态、生理、行为特征的遗传与变异的学科,演变成成为研究基因和基因组的结构及功能的学科。

遗传学是一门实验性的学科。它的每一步发展都是以实验作为基础的。因而实验教学是教学中非常重要的组成部分。在多年的实验教学基础上,作者经综合汇总形成《遗传学综合实验》。该书是一本非常注重实际的教材,其内容主要包括植物遗传学系列、动物及医学遗传学系列、果蝇遗传学系列、微生物遗传学系列、数量与群体遗传学系列以及分子遗传学系列实验六大部分,共40个实验。该书的编写凝聚了编者及其工作团队的心血,成书过程参考了近十年来国内外多个版本相关实验教材及近年来大量科研成果的实验设计、论证和数据,集实验性、科学性和研究元素于一体。该书既强调遗传学基础实验方法的训练和基本规律的验证,同时也涉及近年迅速发展的分子标记技术的基本实验;既注重对学生进行基本技能的训练,同时更注重学生实验设计能力和科学研究素质的培养,强调理论与实践相结合,培养和锻炼学生用所学知识解决实际问题的能力。

该书结构设计新颖,强调对每个实验中主要内容的预习,部分实验后有预习作业内容,以避免学生在实验中简单地照方抓药,使学生真正理解实验的原理、方法以及针对可能发生的实验结果进行预测与思考。同时该书注重针对每个实验结果进行考核测试,以保证获得良好的实验效果。该书还特别针对每个实验中的注意事项等经验性的知识进行介绍,以便学生在学习中能够少走弯路,迅速提高实验技能。

该书作者是从事多年实验教学的高校教师,对所论述的方法具有丰富的教学经验,在书中介绍了一些编者的工作体会。相信该书能够成为遗传学及相关学科工作者在教学、生产实践和研究中不可或缺的伙伴。

郭平仲

2005. 10. 10

前 言

遗传学是生命科学中发展非常迅速的一门学科，在生命科学领域中占有重要的位置。遗传学属于实验科学，它的研究是以实验为基础的。对培养学生在实验课中，分析问题、解决问题的能力以及提到科研素质具有重要意义。为此，我们结合自己长期的工作经验，编写了《遗传学综合实验》一书，以期对本学科及相关学科的师生和工作人员提供参考和帮助。

在本书编写过程中，得到了首都师范大学条件装备处及生命科学院领导的大力支持，北京师范大学的梁前进老师主要编写了微生物遗传学系列实验和数量与群体遗传学系列实验，同时本教研室的张飞雄教授和陈志玲副教授参与了本书的部分编写工作，北京联合大学的李京霞和武仙山老师结合实际工作经验，参编了部分实验，且对附录部分加以整理，进一步提高了本书的实际应用性。本研究室的研究生徐宝华、肖英华、郝春燕、李蕊和胡小菊等同学参与了部分实验内容的改进、操作与文稿的校对工作，首都师范大学生命科学学院细胞与遗传实验室的柴小清老师、显微镜室的王彩华老师也给予了很多帮助。恩师郭平仲教授在百忙中给予了热情的关心与支持，并审阅了书稿，在此一并表示深深的谢意！

由于作者的经验与水平有限，可能会存在一些不足之处，真诚地希望使用本书的同行给予批评指正，以利于我们的进一步改进。

编 者

2005年10月于北京

目 录

序

前言

第一章 植物遗传学系列实验	1
实验一 植物细胞周期观察.....	2
实验二 植物染色体的组型分析.....	7
实验三 玉米减数分裂过程的观察	11
实验四 植物多倍体细胞的诱发实验及其观察	16
实验五 植物微核检测实验	19
实验六 植物细胞分裂的同步化诱导实验	24
第二章 动物及医学遗传学系列实验	28
实验七 蝗虫减数分裂过程的观察	29
实验八 蟾蜍骨髓细胞染色体的观察	33
实验九 姐妹染色单体色差方法	36
实验十 荧光原位杂交实验	41
实验十一 人体细胞 Barr 氏小体观察	47
实验十二 人的外周血淋巴细胞培养与染色体观察	51
实验十三 人体细胞染色体显带技术分析	56
实验十四 人体手部皮纹的遗传分析	62
第三章 果蝇遗传学系列实验	69
实验十五 果蝇的野外采集、培养和生活史观察实验	70
实验十六 果蝇杂交实验	76
实验十七 果蝇唾腺染色体的观察实验	82
实验十八 果蝇的同工酶分析实验	85
第四章 微生物遗传学系列实验	90
实验十九 基于鼠伤寒沙门氏菌回复突变的化学诱变物检测实验—— Ames 实验	91
实验二十 大肠杆菌营养缺陷型菌株的筛选	99
实验二十一 酿酒酵母营养缺陷型菌株的筛选.....	104
实验二十二 大肠杆菌基因的功能等位性测验——互补测验.....	109
实验二十三 大肠杆菌杂交分析实验.....	114
实验二十四 大肠杆菌 P1 噬菌体普遍性转导及基因定位	123

实验二十五	大肠杆菌 λ 噬菌体局限性转导分析	129
实验二十六	粗糙链孢霉的杂交实验	133
实验二十七	酿酒酵母杂交实验	140
第五章	数量与群体遗传学系列实验	144
实验二十八	小麦数量性状统计和遗传率的估算	145
实验二十九	果蝇数量性状遗传率的估算	149
实验三十	农作物杂种优势的测定	156
实验三十一	群体遗传平衡分析和基因频率的估算	161
第六章	分子遗传学系列实验	169
实验三十二	PCR 扩增技术	170
实验三十三	植物 DNA 的提取及纯化	176
实验三十四	质粒 DNA 的提取及纯化	179
实验三十五	质粒的双酶切和目的基因片段的回收	183
实验三十六	重组质粒的构建、转化和蓝白筛选	188
实验三十七	SDS 聚丙烯酰胺凝胶电泳分离蛋白质的实验	192
实验三十八	酸性聚丙烯酰胺凝胶电泳的蛋白质分析	197
实验三十九	小麦同工酶等电聚焦分析	200
实验四十	Trizol 法提取总 RNA 及应用 RNA 反转录扩增 cDNA (RT-PCR)	205
第七章	系列实验考核及答案分析	212
	笔试或口试试题——原理知识问题及答案	213
主要参考文献		228
附录		229

第一章 植物遗传学系列实验

染色体是基因的载体，基因控制着生物的遗传和变异以及生物的发育途径。而染色体自身的结构和行为也受基因的调控。因此，研究染色体的数目、结构和行为的变异，探讨其发生和发展的机制和规律，进而达到人工控制和改造生物遗传变异的目的，是生命科学研究的核心内容。1921年，Belling首创的醋酸洋红压片法为传统的细胞遗传学研究奠定了技术基础。低渗-空气干燥切片技术和细胞培养及秋水仙素的应用，促进了哺乳动物和人类细胞遗传学的研究。尤其是1969年，Caspersson等首创染色体荧光显带技术以及以后相继发展而来的各种显带技术和银染色技术及其广泛应用，极大地提高了鉴别染色体的精确度，增加了人们对染色体结构组成的认识。从此，染色体的研究进入了一个快速发展时期。

在这一部分安排了下列实验内容，各实验有一定相关性，其过程可以表述如下：

植物细胞周期观察
植物染色体的组型分析

植物种子→发芽→经过一系列不同的处理、染色→细胞分裂的同步化诱导
植物多倍体细胞的诱导
微核测试

或：鳞茎→诱导不定根→经过不同处理也可以进行上述实验

通过一次实验材料的培养过程，加以适当条件进行处理，可以从不同的角度来研究和分析遗传物质在传递过程中的规律性。而微核测试更是可以结合不同的因素进行处理，来研究外界环境条件以及一些人为因素影响作用下遗传物质的变化情况。可以根据学生的需求，进行开放性探索性实验教学工作。

此外，这一部分还设计了观察玉米减数分裂过程的实验。通过此实验，使学生进一步明确减数分裂的实质，以及染色体在配子形成过程中的行为特点，为充分理解遗传学三大基本规律打下坚实的基础。

实验一 植物细胞周期观察

一、实验目的

1. 学会植物细胞、组织的固定、离析和压片方法，了解并初步掌握制作临时玻片和永久玻片的方法。
2. 观察有丝分裂过程中染色体的形态特征和动态变化过程，着重了解分裂期中、后期染色体变化的特征。

二、实验原理

植物根尖分生组织的细胞，依一定的程序有规律地进行着有丝分裂过程，植物种类不同，细胞周期所需时间不同。每天都有分裂高峰时间，此时把根尖固定，经过染色和压片，再放置在显微镜下进行观察，可以看到大量处于有丝分裂各时期的细胞和染色体（表 1.1）。

表 1.1 一些植物根尖细胞的分裂周期

植物	总时数/h	G ₁	S	G ₂	M	温度/℃
洋葱	12.7	1.5	6.5	2.4	2.3	24
葱	18.8	2.5	10.3	G ₂ + M = 6.0		23
蚕豆	16.5	3.5	8.3	2.8	1.9	20
黑麦	11.6	1.2	5.2	4.3	0.9	20
小麦	14.0	0.8	10.0	2.0	1.2	20
玉米	10.5	0.5	4.3	G ₂ + M = 5.7		20

根尖与茎尖是有丝分裂的高发部位，根尖由于取材方便，是观察植物染色体最常用的材料。根尖染色体压片法，是观察植物染色体最常用的方法，也是研究染色体组型、染色体分带、染色体畸变和姐妹染色单体交换的基础。

如果植物种子难以发芽，或仅有植株而无种子，也可以用茎尖作为材料。实验结果显示：植物细胞分裂周期的长短不尽相同，通常在十到几十小时之间，温度明显地影响细胞分裂周期，同时不同植物有丝分裂高峰时间不尽相同，关于取材时间，常有不同的看法。有人认为，在一昼夜中有一个至几个细胞分裂的高峰期，应在这个时期取样为宜；有人认为可能存在这种细胞分裂高峰时期，但时间不是固定的，因为昼夜周期是固定的，而细胞分裂高峰时期却因各种条件（尤其温度）的改变而发生变动，况且一个分生组织的每个细胞是按其自身的周期运动的，基本上不是同步的。所以，细胞分裂不存在一个按 24h 重复固定的分裂高峰

时期。可以不考虑合适的取材时间。这也印证了试验的经验：什么时间取材对于各种植物各不相同，并且影响因素很多而复杂。有时候在一个时间取材效果很好，但同一品种材料在同一时间不一定能得到相同的效果；但是有时候不管什么时候取材效果都差不多，或都好，或都不好。不过已获得的较好效果的材料多数是在早上 9~11 时取材得到的。

另外，为了使根尖的中期分裂相增多，可以在萌发种子时待根尖刚长出时加入一些 8-羟基脲溶液，能达到较好效果。

三、实验材料

大蒜、洋葱的鳞茎或蚕豆的种子。

四、实验器具和药品

1. 器具

载玻片、盖玻片、指管、试剂瓶、滴瓶、镊子、解剖针、吸水纸。

2. 药品

无水乙醇、冰醋酸、醋酸钠、改良苯酚品红。

五、实验过程

1. 材料培养

先剪去洋葱的老根，然后置于盛有水的烧杯上，等不定根长出 2cm 时，进行预处理；或将蚕豆等种子经过吸胀处理 24h 后，平展于铺有吸水纸的白瓷盘中，加入适量的水，于 25℃ 培养，待侧根长到 2cm 进行预处理。

2. 预处理

预处理可以降低细胞质的黏度，使染色体缩短分散，防止纺锤体形成，使更多的细胞处于分裂中期，一般在分裂高峰前把根尖放到药剂中处理 3~4h。可用于预处理的药剂很多，如秋水仙素、对二氯苯、8-羟基喹啉等。也可以经过低温处理以达到同样的效果，较成功的例子主要是一些禾本科的农作物，例如，小麦、黑麦、大麦在 1~4℃ 处理，水稻和玉米在 6~8℃ 处理，均获得较好的效果（表 1.2）。处理方法是將活体或切取根尖侵入自来水或蒸馏水中，放置在冰箱中合适的温度层处理 20~40h。在野外或无冰箱条件下，可在保温瓶中装一些冰块做低温处理。

表 1.2 不同植物根尖预处理方法

植物名称	染色体数目(2n)	处理因素	处理时间	处理温度
小麦	42	0.2%秋水仙素水溶液	9:00~11:00	25℃
小麦	42	对二氯苯饱和水溶液	10:00~14:00	室温
小麦	42	1~4℃冰箱	20~24h	1~4℃冰箱
小黑麦	56	对二氯苯饱和水溶液	10:00~14:00	室温
豌豆	14	对二氯苯饱和水溶液	10:00~11:30	室温
烟草	48	对二氯苯饱和水溶液	8:30~11:30	室温
蚕豆	12	0.05%~0.1%秋水仙素水溶液	20:00~23:00	室温
蚕豆	12	0.05%~0.1%秋水仙素水溶液	14:30~17:30	8℃
洋葱	16	0.05%~0.1%秋水仙素水溶液	7:30~11:30	15℃
茄子	24	0.002mol/L 8-羟基喹啉	9:00~13:00	15℃
大麦	14	0.05%~0.1%秋水仙素水溶液	8:00~11:00	25℃

处理时机：当根尖长到 1.5~2cm 时进行处理，此时分裂相较多，制片效果好。

另外，各种生物体细胞分裂高峰期也不尽相同，于细胞分裂高峰期取材效果为好。例如，洋葱根尖细胞以上午 6~9 时为分裂高峰期，蚕豆则每日有两个分裂高峰期，分别为上午 9 时左右和下午 2~3 时。

3. 取材固定

将预处理后的根尖剪下，放入卡诺固定液，固定 2~24h。然后依次放入 90%、80% 和 70% 乙醇溶液，最后保存于 70% 乙醇溶液中放于冰箱中，但保存时间最好不超过 2 个月。

4. 制片

1) 水洗：将从保存液中取出的根尖用水冲洗掉乙醇；

2) 解离及制片：解离的目的是使分生组织细胞间的果胶质分解，细胞壁软化或部分分解，使细胞和染色体容易分散压平，解离方法有酸解法和酶解法。

酸解法是用盐酸水解根尖，步骤简便、容易掌握，广泛应用于染色体计数、核型分析和染色体畸变的观察。根尖分生组织经过酸解和压片后，都呈单细胞，但是大部分分裂细胞的染色体还包在细胞壁中间。

将水洗后的根尖放到 0.1mol/L HCl 中，在 60℃ 水浴中解离 8~10min，或用浓盐酸：乙醇=1：1 混合溶液处理根尖 10min。

用蒸馏水漂洗酸解后的根尖，放在载玻片上。将根冠和伸长区以上部位切去，保留分生组织细胞，并将生长点细胞切成细碎组织，根据分生组织的大小，一般每一根尖可制片 3~4 片，加上 1 滴改良苯酚品红染色液，染色 10~15min。根尖着色后即可压片观察。

酶解法常用于染色体显带技术或姐妹染色单体交换等研究，通过解离和压片，使分生细胞的原生质体能够从细胞壁里压出，再经过精心的压片，使染色体周围不带有细胞质或仅有少量细胞质，易于进行观察。

将水中漂洗过的根尖用刀片切除根冠以及延长区（根尖较粗的蚕豆，可以把根尖分生组织切成二三片），把根尖分生组织放到醋酸钠配制的纤维素酶（2%）和果胶酶（0.5%）的混合液中，在 28℃ 温箱中解离 4~5h，此时组织已被酶液浸透而呈淡褐色，质地柔软而仍可用镊子夹起，用滴管将酶液吸掉，再滴上 0.1mol/L 醋酸钠，使组织中的酶液渐渐渗出，再换入 45% 冰醋酸。

酶解后的根尖，如做分带或姐妹染色单体交换，可用 45% 冰醋酸压片，如做核型分析或染色体计数等常规压片，可放在改良苯酚品红中染色，经过酶处理的组织染色速度快。

得到一个解离良好的材料，只要用镊子尖轻轻的敲打盖玻片，分生组织细胞就可铺展成薄薄的一层，再用毛边纸把多余的染色液吸干，经显微镜检查后，选择理想的分裂细胞，再在这个细胞附近轻轻敲打，使重叠的染色体渐渐分散，就能得到理想的分裂相。

5. 观察

选择细胞分散、分裂相较多以及染色体形态舒展的制片进行观察。注意观察细胞有丝分裂各时期的特点（图 1.1）。

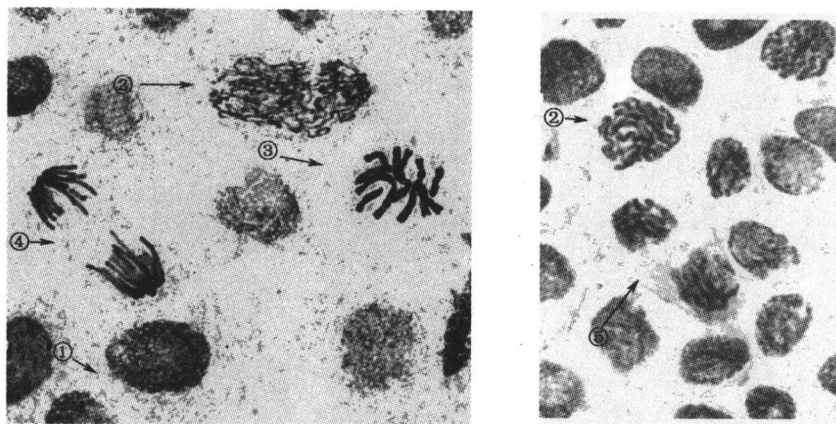


图 1.1 有丝分裂的各个时期
①间期；②前期；③中期；④后期；⑤末期

6. 封片

把压好的玻片标本，放在干冰或冰箱结冰器里冻结。然后用刀片迅速把盖玻

片和载玻片分开，用电吹风把玻片吹干后，滴上油派胶加上盖玻片封片，或经二甲苯透明后，滴中性树胶，加盖玻片封片，做成永久封片。

画龙点睛

1. 压片材料要少，避免细胞紧贴在一起，致使细胞和染色体没有伸展的余地。
2. 解离时间不可过长，以免染色体结构受损。
3. 用镊子敲打盖玻片时，用力要均匀，若在压片时稍不留意，会使个别染色体丢失，而被迫放弃一个良好的分裂相的细胞。

学生实验报告

1. 根尖培养：请记录根尖培养的温度、时间及各时间段根尖的变化情况。
培养根尖时做两组对照，一组用黑纸将小烧杯包住，另一组不做处理，看两组长根情况是否有显著差异。
2. 如果你可以观察到以下有丝分裂的各时期，请画出它们的代表状态：
分裂间期、分裂前期、分裂中期、分裂后期、分裂末期、子细胞
3. 请总结制片时应注意的问题。
4. 固定后的根尖为什么要依次经过不同浓度乙醇的处理作用？
5. 请分析哪些实验过程有利于染色体的分散？

实验二 植物染色体的组型分析

一、实验目的

1. 学会染色体组型的分析方法。
2. 学会显微摄影技术。

二、实验原理

各种生物的染色体数目是恒定的。大多数高等动植物是二倍体。也就是说，每一个体细胞含有两组同样的染色体，用 $2n$ 表示。其中与性别直接有关的染色体，即性染色体，在体细胞中可以不成对。每一个配子带有一组染色体，叫做单倍体细胞，用 n 表示。两性配子结合后，具有两组染色体，成为二倍体的体细胞。如蚕豆的体细胞 $2n=12$ ，配子 $n=6$ ；玉米的体细胞 $2n=20$ ，配子 $n=10$ ；水稻 $2n=24$ ， $n=12$ 。有些高等植物还是多倍体，即在体细胞中含有 3 个或 3 个以上的染色体组。

正常细胞中的染色体在复制以后，纵向并列的两个染色单体，往往通过着丝粒连在一起。着丝粒在染色体上的位置是固定的。由于着丝粒位置的不同，可以把染色体分成相等或不等的两臂，各染色体的长臂与短臂之比称为臂率。造成中间着丝粒染色体、亚中间着丝粒染色体、亚端部着丝粒染色体和端部着丝粒染色体等形态不同的染色体类型。此外，有的染色体还含有随体或次级缢痕。所有这些染色体的特异性构成一个物种的染色体组型。染色体组型分析就是对各物种细胞内染色体的形态特征以及数目等进行综合分析的实验方法，这是细胞遗传学、现代分类学和进化理论的重要研究手段。

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，这两种方法均能得到染色体组型。

臂率为 1.0~1.7 的染色体归为中间着丝粒染色体，用 (M) 表示；1.7~3.0 的染色体归为亚中间着丝粒染色体，用 (SM) 表示；3.0~7.0 的染色体归为亚端部着丝粒染色体，用 (St) 表示；臂率大于 7.0 的染色体归为端部着丝粒染色体，用 (T) 表示。

用 SAT 代表具随体的染色体。计算染色体长度时，可以包括随体也可以不包括，但均要注明。

三、实验材料

植物根尖、茎尖或幼嫩花蕾；由实验室提供染色体制片或放大照片；显微摄影仪器及相关分析软件。

四、实验器具和药品

显微镜、测微尺、毫米尺、镊子、剪刀。如无现成的染色体照片则需经过制片进行显微摄影，所以需备摄影显微镜以及有关摄影冲洗器材和相关药品，或以电脑核型分析软件进行分析。

五、实验过程

1. 根尖的培养及制片要求

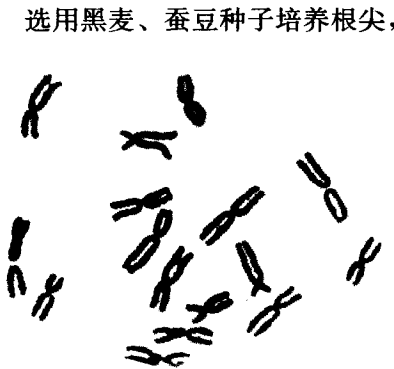


图 2.1 洋葱核型制片

选用黑麦、蚕豆种子培养根尖，或以洋葱培养不定根作为实验材料，用酶解法进行解离效果较好，通过固定、染色、压片等可以进行组型分析，但当染色体分散程度差而且形状不固定时，需要制备较多的片子，才能得到满意的结果。优质的染色体制片，是获得高质量显微照片的基础。可供显微摄影的优质的染色体制片，应具有以下基本条件（图 2.1）：

1) 具有典型性：细胞完整，分散良好，缢痕清晰可辨，分带制片时应带纹清晰可数。

2) 染色体平整：在高度放大的条件下，其焦深度很小，染色体铺展稍有不平，便会出现部分染色体清晰，部分染色体模糊的现象；而降低放大倍数，可加大焦深，但染色体一些细微结构会模糊不清。

3) 染色体清晰：染色体与背景对比分明，染色体着色适度。

4) 要选用标准厚度的载片和盖片。

2. 测量

进行显微摄影，冲洗照片，供核型分析之用。

若用染色体制片标本进行直接测量时，必须利用显微镜与测微尺，事先要用台微尺对目微尺的单位长度进行标定后再进行工作；此方法仅对染色体长度较大

的标本适合。

一般标本先拍照放大，然后进行测量，这样可以得到较好的实验数据。先将各染色体进行编号然后根据放大照片测量、记录染色体形态测量数据如下：长臂、短臂、着丝粒指数、总染色体长度（一套单倍体染色体长度的总和）、绝对长度（放大的染色体长度÷放大倍数，单位以微米表示）、相对长度（某条染色体长度占一套单倍染色体长度总和的百分比）等。同时注意记录染色体是否具有随体，填于学生实验报告中。

3. 配对

根据测量数据，即染色体相对长度、臂率（臂率=长臂的长度/短臂的长度的比值）、着丝粒指数〔短臂占整个染色体长度的百分比，即 $p/(p+q) \times 100\%$ 〕、次缢痕的有无及位置、随体的形状和大小等进行同源染色体的剪贴配对。

4. 染色体排列

染色体对从大到小，短臂向上、长臂向下，各染色体的着丝粒排在一条直线上。如果染色体长度相同，则以短臂长度为标准，从大到小排列。有特殊标记的染色体（如含有随体的）以及性染色体等可单独排列。

5. 翻拍或绘图

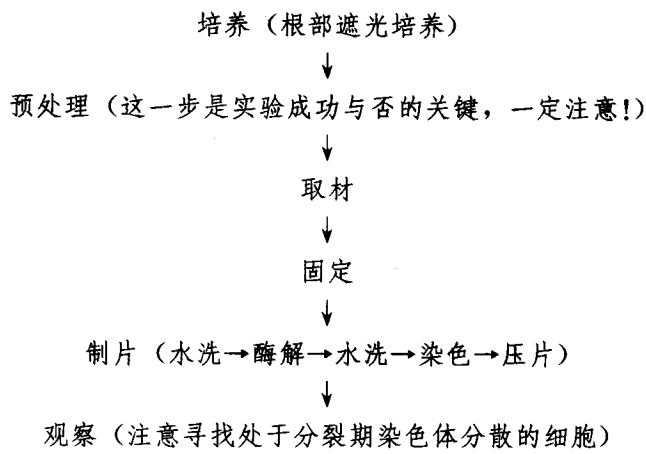
完成上述步骤的染色体剪贴，可以通过翻拍摄影或描图成为染色体组型图。

另外，高等植物属异源多倍体种类较多，进行组型分析时，不完全根据染色体的大小进行排列，而事先要根据系统发育的来源进行分组，然后各组按大小进行编排，如人工培育的小黑麦。来自小麦的染色体组是 AABBDD，来自于黑麦的染色体组是 RR，组型分析时不仅应将 R 组分开，而且小麦本身是个天然的异源多倍体，又应分成 A、B、D 几组进行分析。经常见到的植物，如棉花、烟草、马铃薯以及许多果树、花卉均具有多倍体品种，分析时应特别注意（图 2.1）。

此外，电脑分析软件的应用为准确快速进行核型分析提供了先进的实验技术手段。

染色体核型分析系统拥有专业级数字图像处理能力，可以迅速滤除核型周边杂质，处理完成多达 20 余种不同类型的核型图像，呈现精确核型，同时可以运用背景综合处理技术，自动增强染色体带纹识别能力。提供自动与人工参与两种分析模式，对染色体进行自动识别、配对。

六、实验流程



画龙点睛

- 1. 实验材料选用黑麦等染色体数目较少、染色体较大的材料为佳。
- 2. 手工进行分析时注意测量前应进行染色体编号，以免造成混乱。
- 3. 组型分析模式图应注明显微摄影及照片冲洗过程中的放大倍数。

学生实验报告

- 1. 请填写染色体测量统计表。

总长度=_____

编号	绝对长度	相对长度	短臂	长臂	臂率	着丝粒指数	随体	类型
1								
2								
3								
4								
5								
⋮								

- 2. 将染色体配对并进行剪贴排列。
- 3. 翻拍或绘制染色体组型分析模式图。