

# 纺织工艺研究 原理与方法

邢声远

下 册

北京纺织工程学会

一九八六年

## 第八章 观察和实验

科学的实践活动，是人类认识自然的现象、地改造自然的重要的、发展真理的特殊的实践形式。它是理论研究的基础，同时，又必须以先进的理论来指导，坚持理论与实验相结合的原则。

科学的实践活动，包括科学的观察和科学的实验，它们是搜集科学事实、获取感性材料的基本途径，是形成、发展和检验科学理论的实践基础。所以，它们是科学研究活动中必不可少的基本程序之一，是认识事物规律性和本质的方法。作为一位优秀的科研人员，必须善于观察和实验，从中取得第一手资料和增加感性认识。

追溯科学发展的历史，有那一件发明或发现不是来源于观察和实验？因此，人类研究自然现象均是始于观察，在古代科学技术发展的长河中，虽然已有科学实验的萌芽，但大都是原始观察的记载或生产实践经验的描述。到十六、七世纪，随着近代自然科学的建立与发展，便开始产生实验方法，并被广泛采用，日益发挥着巨大的作用。随着科学技术的突飞猛进的发展，在近代和现代的自然科学研究中，观察和实验的方法两者既相互区别，又相互联系、相互补充、相互渗透，不能截然分开。

## 第一节 观察的基本原则和要求

所谓观察，就是人们为了认识事物的本质和规律，借助于适当的工具和方法，有目的、有计划地去收集、记载和描述有关事物感性材料的方法，它是科学认识的一个重要源泉，也是检验真理性的标准。所以，在科学研究活动中，观察占有十分重要的地位。尤其是一些观测性学科，例如，观测天文学、描写生物学、观察生态学和各种类型的临床医学研究等等。由于这些观察不能人为地控制重演，因此，认真地观察就显得更为重要。它是获得重大发现的根本保障。一般来说，观察可以分为两种类型：一、自发观察或被动观察，即意想不到的观察。科学上许多重要的偶然发现都是这样取得的。二、诱发观察或主动观察，即有意识安排的观察。通常为了验证一个假设而进行的实验观察，都属于这一类。

人们在日常生活中也在进行各种各样的观察，但这些观察未必都是科学的观察。若要把一个实验的结果，或者一个客观存在的自然现象，如实地观察到，并正确地反映出来，这并非是一件容易的事。这是由于观察上的困难所造成的，其原因有技术上的、心理学上的、以及习惯、爱好、教育程度、观察的训练、错觉等等各种因素。

1. 技术水平方面的因素。在观察中，这方面的事例是屡见不鲜的，如我国制造的纺纱锭子和日本制造的纺纱锭子，从材料成分、加工精度到几何尺寸，没有明显的差异，可是使用寿命有较大的差异。又如我国制造的片梭和瑞士制造的片梭，从材料成分、加工工艺和精度，以及几何尺寸都

完全一样，可是我国制造的片梭只能使用数周就报废，而瑞士的片梭可使用几年，所以会造成这些差异的原因，就是技术上的问题，由于仪器及测试技术上的问题，本来就有差异没有反映出来，当然，除了技术上的因素以外，可能还有其它意料不到的因素。

2. 习惯、爱好和观察训练方面的因素。在实验观察过程中，对所观察到的事物、观察的深刻程度、对现象细节和意义的理解，往往由于观察者的性别、年龄、爱好、文化教育水平等等的不同而产生较大的差异。这种不一致的观察，是观察者头脑本身滋生的，这是由于人们的头脑很容易无意识地根据过去的经历、知识和自觉的意愿去填补某些空白。

3. 错觉上的因素。错觉上的事例很多，例如魔术师就是利用人们的视错觉而博得观众的喝彩。再如，在品尝酒时，为了克服味视觉的错觉，一般规定在品尝完一杯酒后，必须经过嗽口后，才能品尝第二种酒。在出现错觉时，感觉就可以在头脑中造成错误的印象。因此，在科学实验中，错觉不仅使观察者经常错过似乎显而易见的事物，而且，更为严重的是它常常会使观察者臆造出虚假的现象或无中生有的“事实”来，使实验结果产生谬误。

4. 心理学上的因素。这主要是指人们对新生事物的抗拒心理以及观察者的情绪和疲劳情况。也就是说，认识和理解一个意想不到的新现象、新事物，即使它们已经十分明显了，也往往是十分困难的；一个观察者的情绪好与坏，以及疲劳与否，观察的结果也往往大不一样。

#### 一、科学观察的基本原则

为了做到正确的观察，实验人员除了对自己使用的技术规程非常熟练，明确必要的条件以外，必须聚精会神，严格

履行技术操作各个细节，决不允许粗心大意，以便尽量减少技术上的错误。同时，在观察中还必须注意以下两个基本原则。

### 1. 科学观察的客观性

这是科学观察的一条最基本的原理，必须坚持始终。这就是说，在观察中要坚持实事求是的唯物主义科学态度，努力避免主观上的偏见和谬误，保证所获得的经验材料是确实可靠的，这也是一个科学工作者应有的品质。

### 2. 科学观察的全面性

所谓观察的全面性，这与观察的客观性是一致的，二者互相依存的。也就是说，只有排除主观的偏见才能做到全面的观察，反之，也只有进行全面的观察才能反映客观事物的全貌。因为客观存在的事物是非常复杂的，人们不可能、也没有必要对它的一切方面同时加以考察，但根据研究课题的目的和任务，在所选定的范围内应力求做到全面和系统的观察。

因此可以说，观察和实验这一环节是决定研究成果质量最重要的关键。正如毛泽东同志所说：“只有感觉的材料十分丰富（不是零碎不全）和合乎实际（不是错觉），才能根据这样的材料造出正确的概念和理论来”。“而坚持科学观察的上述基本原则，正是获得这样材料的根本保证。

## 二、观察的基本要求

科学观察除了必须坚持客观性和全面性以外，还要注意科学观察的基本要求。在某种意义上说，科学观察的基本原则是前提，而基本要求则是其基础。如果科学观察达不到基本要求，也就谈不上科学观察的客观性和全面性了。具体来说，科学观察的基本要求是：

### 1. 科学的观察，要排除感官产生的错觉

科学的观察，首先必须做到所收集的材料是真实可靠的。实践证明，人们的感觉能够正确地反映事物的现象，但是由于感觉器官的局限性或者由于感觉器官生理状态的变化，常常会造成错觉。因此，这就需要借助于科学仪器等手段来排除错觉，避免由此而产生的虚假现象。有时，由于观察者无意识地根据头脑中过去的经历、知识去填补空白而造成观察的错误，这就需要采用数学的方法通过随机取样和反复核对等方法加以解决。

### 2. 科学的观察，要加强观察能力的训练

一个科学工作者应培养自己以积极的态度注视事物的习惯，努力提高观察能力，加强观察能力的训练。除了要刻苦勤奋外，还要坚持实践，随着实践的增多，行动就会逐渐变成不知不觉或无意识的活动，就养成了习惯。作为一个实验工作者，养成良好的观察习惯比拥有大量的学术知识更为重要。同时，要进行有效的科学观察，还必须有良好的基础。只有熟悉正常的情况，才有可能注意到不寻常的或未加释明的现象。所以，科研工作者必须有意识地发展这种感觉器官的能力。

### 3. 科学的观察，要排除先入之见的干扰。

人们的观察总是有明确的目的，是有意识地去收寻自己认为有价值的具体事物，或者是去验证先前提出的假说。所以说，实验过程中的观察，不是一种消极的观看，而是一种积极的思维过程，它必须伴随着运用思维活动和正确的思想方法。因此，研究者在观察实验时，尽管事先有目的，但观察者的思想应该不受约束，以免出于先入之见而只是收寻预期的现象，从而忽略了其它意外的情况。观察者应该培养多

疑善思的思想方法，注意开动脑筋，收寻各种值得追踪的线索。如果忽视这一点，就可能给人导致错误印象的观察。所以，观察不是消极地注视，而是积极地探索未知领域的过程。

#### 4. 科学的观察，要注意收寻每一个细节。

科学的观察，应力求获得的数据丰富而系统，不应该是零散不全的资料。所以，在进行观察时，要聚精会神地密切注视全部细节，并且尽可能详尽地做好观察记录，对重要的细节绝不能轻易放过。如果观察是短暂的现象，必须使其重复多次。观察者最好不仅注视各种现象，而且要注意收寻每一个细节，详细记录每一个实验数据和实验条件。科学发展史告诉我们：和文学家具有灵感一样，凡有创造才能的科学家大都具有敏感性，他们能够利用表面上微不足道的线索而取得显著的科学成果。

#### 5. 科学的观察，要具有可重复性

在科学研究过程中，一种新的现象，常常需要进行重复的观察，才能被正式确定下来。科学的观察必须力求全面系统，这就是说，必须对所观察对象的存在条件、它的各种表现形态、它在时间上的演替以及空间上的分布等等，都要尽可能地作周密的考察。为此，科学的观察必须具有可重复性。

#### 6. 科学的观察，要有准确而周密的记录

科学的观察要有翔实的记录，在实验过程中，应详细地记录实验数据、实验的条件和过程（如日期、温度、操作过程、仪器仪表的技术参数）、以及观察到的现象和可能产生的多种干扰因素等等。这些记录，要求使用规范的术语、约定的符号、标准的计量单位，并借助于图表和摄影等手段，把

观察的结果详细地记录下来。

科学史表明，只有对自然事物的各种规定，各种关系和各个方面，进行客观的全面观察，占有丰富的系统的科学观测资料，才能为透过现象深入它的本质，为发现科学真理打下坚实的基础。

### 三、观察的手段

观察是一种古老的研究方法，也是一种最原始最基本的研究方法。

自古以来，观察手段随着观察方法的发展而有很大的改进。从肉眼观察到仪器观察，这是观察方法发展中的一次大的飞跃。

#### 1. 感觉器官的观察

这是一种最原始的观察，它是直接通过感觉器官从外界获取感性材料的肉眼观察。肉眼观察虽然有其方便之处，但也有一定的局限性。这种局限性，来自感觉器官的本身，主要有：

(1) 由于情绪及疲劳等原因，感觉器官容易产生错觉，影响到观测结果的准确性。

(2) 由于感官的感觉阈值有限，只能接受一定范围的自然信息。

(3) 由于感官的感觉灵敏度不固定，不能进行精确的测量、

(4) 由于感官的反应速度有限，难以及时、准确地记录客观的自然现象。

#### 2. 仪器在观察中的作用

为了克服感官的上述局限性，由肉眼观察发展到用仪器来观察。仪器是感官的延长和补充，它的使用无论是对定性

的观察来说，还是对定量的观察来说，都有重大的意义；

仪器在观察中的作用主要是：扩大了感觉的范围；

排除了感官的错觉；提供了可靠的计量标准；提供了准确的记录手段。

### 3. 观测的转换法

所谓观测的转换法，就是在实验过程中有许多特征或过程，是很难进行直接观测的，因此，人们往往采取把所要观察的变量转换成其它的变量进行观察或测量。例如，许多力学参数的电学测量法和光学测量法，就是属于此类转换方法。在天文学中，由于天体演化涉及的时间尺度很大，要以几亿年、几十亿年或上百亿年来计标，若要直接观测这样长的时间是根本不可能的，所以必须设法把时间转换成某种可观测的物理量，来间接地研究天体随时间的变化。此外，我们还可根据观察各种星球元素的丰度、金属的含量，对各种星球进行演化研究和分类。

### 四、选择观察的典型

自然界中存在的客观事物是十分复杂的，由于各种因素错综地交织在一起，主要过程往往会被各种次要的过程所掩盖而变得十分模糊，难以观察。为了把自然现象简化，把可变的因素尽可能地减少。因此，在观察中，除了克服感官的局限性以外，还要克服来自客观方面的局限性。克服次要因素干扰的重要手段，就是选择适当的典型。例如，美国实验胚胎学家、遗传学家摩尔根，从1909年开始，就是选择果蝇作为研究遗传学的试验材料。染色体是遗传的主要物质基础，由于果蝇的染色体很简单，每个细胞只有四对，易于观察，而且果蝇的生活史只有两周，繁殖力很强，每对亲本可以产生上百甚至上千个子代，它们会产生许多遗传变异。加上

果蝇还有几十种容易观察的遗传特征。果蝇的这些特性对研究生物遗传规律是非常简便的。由于摩尔根试验对象选择得合适，进行了大量的研究工作，取得了可喜的成果，使他把孟德尔遗传规律向前推进一步，创立了遗传的基因学说。在自然科学发展史上，类似这样的事例比比皆是。

因此，所谓典型，就是使主要过程相对地少受其它因素的干扰，因而能够以较纯粹的形式表现出来；便于观察，便于研究。一般来说，选择观察的典型有二：

### 1. 选择典型的观察对象

因为人的认识过程总是从简单到复杂，许多自然规律的发现，也往往是从较单纯的自然过程开始的。因此，选择适当的观察典型作为研究对象，对于科学工作具有特殊的重要意义。有时候，突破的关键往往就在这里。例如，现代天文学对巨大天体活动的观测，为研究引力本质和物质结构提供了良好的条件。在基本粒子物理学中，对宇宙线的长期、系统观察，相继发现了正电子、 $\mu$ 子、 $\pi$ 介子、K介子、 $\Lambda$ 超子、 $\Sigma$ 超子等基本粒子，测出了它们的质量、电荷的符号、寿命、衰变方式、相互作用的某些特征以及相互转化的某些规律，加深了人们对物质结构的认识。

### 2. 选择典型的观察环境

在观察中，由于主要过程被次要过程所掩盖而造成的障碍，这不仅表现在观察的对象上，而且也表现在观察的环境上。为了克服由此而产生的局限性，就需要选择较好的观察地点和环境。例如，英国生物学家达尔文创立生物进化论，是大量科学考察的结果。从1831年至1836年，他以博物学家身份乘“贝格尔号”军舰进行为期五年的环球航行，从欧洲到南美洲、澳洲、亚洲，对各地区的动物、植物和地质构造

进行了观察研究，收集了大量的科学资料。正是他在这样典型的环境中，通过科学考察和长期的科学实验中所积累的丰富的材料，论证了他所创立的生物进化的理论，并于1859年写成了名著《物种起源》。

## 第二节 科学实验

所谓实验，就是人们根据一定的研究目的，利用科学仪器和设备，人为地控制和模拟自然现象，排除干扰，突出主要因素，在有利的条件下去观察和研究自然现象，并能使某一事物（或过程）发生或重演。科学实验是发现真理的基础，又是检验科学真理的唯一标准。因此，实验的目的有二：观察未知或解释新现象，新事实；判断为某一理论提出的假说是否客观实际。实验比单纯的观察具有明显的优点。即观察只是收集自然现象所提供的东西，而实验则是从自然现象中提取它所愿望的东西；实验比观察能够更充分地证明客观必然性，因为观察只能在自然发生的条件下进行，因此受到自然条件的限制，不可避免地受到一些次要因素的干扰；而实验则是人为地去干预、控制所研究的对象，是在有意识的变革自然中去认识自然，这更有利于发挥人的主观能动性去揭示隐藏的自然奥秘。因此，在某种意义上可以说，用实验的方法去认识自然，是人们进行物质生产活动的一种特殊的准备和试探，也是为物质生产活动服务的精神生产活动。

### 一、实验方法的作用

实验方法就其人为地控制和变革自然过程而言，它属于实践活动的范畴，但又有别于生产实践。它的主要任务是

研究还未认识或未充分认识的自然过程，去发现自然规律，发明新的材料、新的器件、新的工艺，从而推动社会生产力的发展和四化建设速度。因此，实验方法在人们认识自然的过程中具有十分重要的作用，概括起来，主要表现在以下几个方面：

### 1. 简化作用

自然现象错综复杂，通过实验的方法，我们可以把复杂的事物分解为各个简单的因素，以便于观察研究。例如，1956年，美籍科学家吴健雄为了验证弱相互作用下宇称不守恒这一假设，采用钴-60来做实验。但在常温下由于钴-60本身的热运动，其自旋方向是杂乱无章的，使实验无法进行。因此，必须把钴-60冷却到 $0.01^{\circ}\text{K}$ ，使钴核的热运动停止下来，实验中把热运动的干扰排除后，宇称在弱相互作用下不守恒的假说被证实了。

### 2. 纯化作用

因为自然现象是错综复杂的，各种因素互相交织在一起，往往把事物的本质掩盖起来。而通过实验的方法，可以借助于科学仪器、设备等所创造的条件，把次要的、偶然的、外来的因素及其干扰加以排除，使我们需要认识的某种属性或联系以比较纯粹的形态清楚地暴露出来，便于发现在其自然发生的条件下难以观察到的自然现象。例如，1799年，英国科学家亨弗利·戴维做的否定“热素说”的有名实验。他在真空中用一只钟表机件使两块冰相互摩擦，并把整个实验仪器都保持在水的冰点，这样就排除了实验物和周围环境的热交换，使实验在较纯粹的条件下进行。实验结果证明了冰融化所需的热，只能来源于摩擦，有力地驳斥了“热素说”。

### 3. 定向强化作用

实验方法可以强化研究对象的作用，使其处于某种极限的状态中，这样有利于揭示新的自然规律，以造成在自然界中无法直接控制而在生产过程中又难以实现的特殊条件，使研究对象处于某种定向强化极端状态，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场等等，这样在外力的强大作用下，使物质的变化过程向指定方向强化，以便获取通常在生产实践中不能得到或不易得到的许多新的自然现象。例如在超高温的条件下，物质处于由离子、电子及未经电离的中性粒子组成的“等离子体”态，它和气体有大不相同的运动规律，即所谓“物质第四代”。如对氘（重氢）的等离子体的研究，是目前探索实现受控热核反应的重要途径。

### 4. 延缓和加速的作用

在实验中，人们还可以借助于一定的物质手段，对自然现象的整个过程进行适当的延缓和加速，以便于进行观察研究。例如，采用高速摄影技术对运动员的动作进行慢速放映，这就是延缓的作用。在研究植物生长过程时，采用摄影技术，使漫长的过程在电影画面上变成较短的瞬间，这就是加速的作用。

### 5. 模拟作用

在实验中，被研究的对象有时受到客观条件的限制而不能对某些现象进行直接试验。例如，在自然过程中的“时过境迁”；有的范围广大，各种因素互相交叉，十分复杂；有些工程和建筑为了确保安全，不允许进行直接试验；也有的工程设计方案，是否合理可靠，由于因素复杂难以用数学计算进行判定。遇到这一类情况时，可采用模拟方法进行实验，这也是科学研究中经常采用的一种手段。

科学史表明：近代自然科学的重大突破，一般不是直接来自生产实践，而往往要通过实验这个环节。因为人类对自然界的认识和实践的过程是非常曲折、复杂的，往往会遭到许多次的挫折和失败，才能成功。但运用实验方法其规模、范围比生产实践小得多，发生多次失败，损失也不会大，这样，就可以使人们以科学实验中付出的较小代价，去换取认识自然和改造自然的更大胜利。如法国医生兼细菌学家艾立希（P. Ehrlich）经过六〇五次失败，才发现了化学药物六〇六（学名肺凡纳明），开创了化学治疗的新时代。同样，电磁感应定律的确定，放射性化学元素的发现，基因学说的形成，都不是直接来源于生产，而是实验研究的结果。

## 二、实验方法的分类

随着现代科学技术的飞跃发展和人们对自然现象认识的深化，实验方法的种类日益增多，内容十分广泛。按照不同的标准，可进行不同的分类。

1. 按照实验结果的质量关系来分，可分为定性实验、定量实验和结构分析实验。

定性实验是用来判定实验对象具有哪些性质、某种因素是否存在、某些因素之间是否具有某种关系的实验。例如，关于伦琴（Wilhelm Konrad Röntgen, 1845—1923）射线的波动本性，开始时被一些著名的科学家所否认，而晶体的空间点阵假说，除少数对晶体学感兴趣的物理学家以外，一般也采取了相反的观点。但是，在1912年弗里德里希（Walther Friedrich）和克尼平（Poul Knipping, 1883~1935）根据劳厄（Max von Laue 1879—1960）所做的预言，从实验上证明了伦琴射线通过晶体的空间点阵时所引起的干涉现象。因而对伦琴射线的波动本性和晶体中原子

的周期性排列，提供了决定性的证据。又如赫芝证明电磁波存在的实验，列别捷夫证明光具有压力的实验，迈克尔逊—莫雷否定以太存在的实验，戴维逊—革末 (C. J. Davisson—L. H. Germer) 证明实物粒子具有波粒两象性的电子衍射实验，以及化学中的定性分析等等，都属于定性实验的范畴。

定量实验是泛指用以测定某方面的数值，或确定某些因素间的经验公式，经验定律等数量关系的有关实验。例如，物理学中卡文迪许测定引力常数的实验，斐索 (A. Fizeau) 测定光速的实验，焦耳测定热功当量的实验、汤姆逊测定电子荷质比的实验；密立根测定普朗克常数的实验，以及化学中的定量分析(即测定物质中各成份的含量)等皆属之。

结构分析实验系用以测定化合物的原子或原子团之间的空间结构关系的实验。由于同分异构现象的存在，人们不仅要定量地测出化合物的化学组成，而且要测定原子或原子团的空间配置。即这种实验既包括定性方面的实验，又包括定量方面的实验。这种实验方法较多地用于化学和生物等学科。例如，在乳酸分子的化学结构中，测出有一个不对称碳原子，它们的空间结构象实物与镜象，就有两种旋光异构体存在：一种使偏振光朝左旋的称“左旋体”；另一种朝右旋的称“右旋体”。

2. 按照实验的不同作用来分，可以分为析因实验、判决实验、探索实验和演示实验、对照实验等。

析因实验就是由已知的结果去寻找原因或是探索影响某一事件的发生和变化过程的主要原因而进行的实验。因为在自然界任何一个事物及其变化过程，一般都是比较复杂的，它是多种因素决定的。但是，其中必有一种因素是起着主导

的决定的作用。对于这种主要的影响因素的探索，除了进行理论上的分析以外，就是进行实验上的研究。而且，理论上的分析正确与否，也需要由实验进行验证。在进行折因实验时，通常都是固定其它可能的影响因素，而改变其中的一个因素，依次进行实验，然后进行分析对比。例如，十九世纪八十年代，惰性气体氩的发现就是析因实验的结果。英国物理学家瑞利(Raleigh)使空气通过化学捕集器，把空气中的碳酸气、氧气、水蒸气分别吸收掉，从而得到的氮，每升重1.2572克；可是从分解氨里得来的氮，每升却重1.2560克，比前者约轻千分之一克。这是什么原因造成的呢？英国物理化学家拉姆塞(W. Ramsay)进一步对从大气中获取的氮进行研究。他设计了一个实验，把从空气中捕集的氮通过赤热的镁层，把氮气吸收后，剩下的气体测出其密度是氢气的20倍（普通氮的密度是氢的14倍）。经过光谱确证它是一种新的惰性气体——氩。

判决实验是用判定某种假说生死存亡的实验。这是指在对已经想到的不同技术路线进行选择的情况下，或是在验证已经提出的不同的（有时甚至是对立的）假说的情况下，为了从中选择一个，就必须首先决定其中的哪一个技术路线或假说更加正确，因此，需要首先做判决实验，而详细的实验，则可留到以后去做。为了尽快地做出选择，可以这样进行判决实验：首先从两个不同的（或者相互对立的）假说中，引伸出两个不同的（或者恰好相矛盾的）论断，然后，通过实验来检查这两个彼此不同的（或者恰好相互矛盾的）论断，哪一个是正确的？哪一个是错误的？从而就可以肯定一个和否定另一个假说。例如，当人们对光的本性的认识，存在着牛顿的物质微粒说和惠更斯的弹性波动说这两种对立的

假说时，为了在它们两者当中决定取舍，可以分别做出推论：物质微粒流只能具有直线传播特性，而不能具有干涉和衍射现象发生。但是，如果是一种波动，则除了直线传播以外，还应该具有干涉和衍射的现象这些波动的基本特性。后来，托马斯·杨和菲涅耳的干涉实验结果，的确观察到了光的干涉条纹这就否定了牛顿微粒说，而证实了惠更斯的波动说。当然，这种肯定也只是具有相对的意义，后来进一步证明，光的本性并不是象惠更斯所认为的那种弹性波，而是一种电磁波。

探索实验系指根据一定的目的，创造一定的条件，探索前所未知的自然现象或物质客体的实验，一般来说，这一类的实验是由已知的原因去寻找未知的结果。

演示实验是用于课堂教学或学术交流的实验，这一类实验，一般都是重复性的实验。

对照实验通常有两个或两个以上的相似组群，一个是“对照”组，作为比较的标准，另一个是“实验”组，通过某种实验步骤，以便确定它对试验组的影响。在科学研究中，特别是在生物学的研究活动中，往往通过对照实验来验证某些假说。例如，人们早就观察到植物具有向光生长的现象，但是，光线是作用在植物的什么部位而使它发生向光生长的呢？达尔文采用一个对照实验研究这一问题，他将一组植物不作任何处理，将一组植物的生长锥套上用锡箔做成的不透光的小帽子，让这二组植物放在侧光下生长，结果发现，没有处理的表现出向光生长现象，经过处理的则没有这种现象，从而确定了光线作用于生长锥而使植物产生向光生长的现象。

3. 按照实验手段和实验对象之间的关系来分，可分为