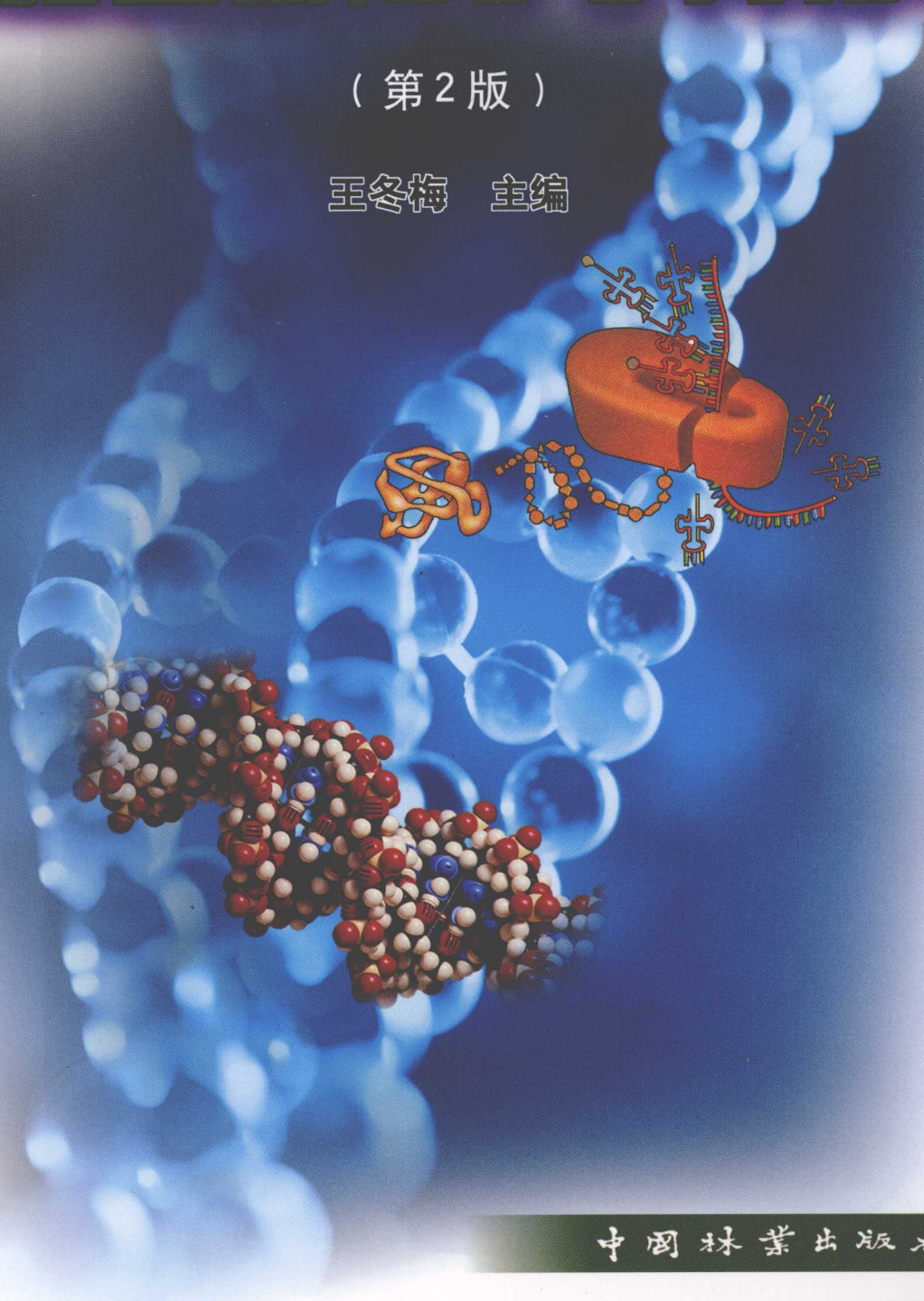


全国高等农林院校“十一五”规划教材
高等农林院校生命科学类系列教材

基础生物化学学习指导

(第2版)

王冬梅 主编



中国林业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材
高等农林院校生命科学类系列教材

基础生物化学学习指导

第2版

王冬梅 主编

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

基础生物化学学习指导/王冬梅主编. -2 版. -北京:中国林业出版社, 2007. 7

(高等农林院校生命科学类系列教材)

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5038-4909-1

I. 基… II. 王… III. 生物化学-高等学校-教学参考资料 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 107172 号

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区刘海胡同7号)

E-mail forestbook@163.com 电话 010-66162880

网址 www.cfph.com.cn

发行 中国林业出版社

印刷 北京林业大学印刷厂

版次 2003 年 8 月第 1 版

2007 年 8 月第 2 版

印次 2007 年 8 月第 1 次

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 14.75

字数 350 千字

印数 1~5 000 册

定价 23.00 元

高等农林院校生命科学类系列教材

编写指导委员会

顾问：谢联辉

主任：尹伟伦 董常生 马峙英

副主任：林文雄 张志翔 李长萍 董金皋 方 伟 徐小英

编委：（以姓氏笔画为序）

马峙英	王冬梅	王宗华	王金胜	王维中	方 伟
尹伟伦	关 雄	刘国振	张志翔	张志毅	李凤兰
李长萍	李生才	李俊清	李国柱	李存东	杨长峰
杨敏生	林文雄	郑彩霞	胡德夫	郝利平	徐小英
徐继忠	顾红雅	蒋湘宁	董金皋	董常生	谢联辉
童再康	潘大仁	魏中一			

全国高等农林院校“十一五”规划教材
高等农林院校生命科学类系列教材

《基础生物化学学习指导》编写组

主 编：王冬梅

副主编：魏中一 马静芳 郭春绒

编著者（以姓氏笔画为序）：

马静芳（甘肃农业大学）

王冬梅（河北农业大学）

王金胜（山西农业大学）

张晓薇（山西中医学院）

李小娟（河北农业大学）

杨致芬（山西农业大学）

陈疏影（云南农业大学）

周 洁（福建农林大学）

青献春（山西中医学院）

侯春燕（河北农业大学）

郭春绒（山西农业大学）

葱玉琴（甘肃农业大学）

韩胜芳（河北农业大学）

解 谦（大同大学）

潘登奎（山西农业大学）

魏中一（湖北农学院）

出版说明

进入 21 世纪以来, 生命科学日新月异, 向人们展现出了丰富多彩的生命世界及诱人的发展前景, 生命科学已成为高等院校各相关专业关注的焦点, 包括理科、工科和文科在内的各个学科相继酝酿、开设了与生命科学相关的课程。为贯彻和落实教育部“十一五”规划高等学校课程体系改革的精神, 满足农林院校中生物专业和非生物专业教学的需要, 中国林业出版社与北京林业大学、福建农林大学、山西农业大学、河北农业大学、浙江林学院等院校共同组织了各院校相关学科的资深教师编写了这套适合于高等农林院校使用的生命科学类系列教材, 并希望成为一套内容全面、语言精炼的生命科学的基础教材。

本系列教材系统介绍了现代生命科学的基本概念、原理、重要的科学分支及其研究新进展以及研究技术与方法。我们期望这套系列教材不仅可以让农林院校的学生了解生命科学的基础知识和研究的新进展, 激发学生们对生命科学研究兴趣, 而且可以引导他们从各自的研究领域出发, 对各种生命现象从不同的角度进行深入的思考和研究, 以实现各领域的合作, 推动学科间的协同发展。

近几年来, 各有关农林院校的一大批长期从事生物学、生态学、遗传学以及分子生物学等领域的教学和科研工作的留学归国人员及骨干教师, 他们在出色完成繁重的教学和科研任务的同时, 均亲自参与了本系列教材的编撰工作, 为系列教材的编著出版付出了大量的心血。各有关农林院校的党政领导和教务处领导对本系列教材的组织编撰都给予了极大的支持和关注。在此谨对他们表示衷心的感谢。

生命科学的分支学科层出不穷, 生命科学领域内容浩瀚、日新月异, 且由于我们的知识构成和水平的限制, 书中不足之处在所难免, 恳请广大读者和同行批评指正。

高等农林院校生命科学类系列教材

编写指导委员会

2006年5月18日

第2版前言

生物化学既是现代生物学的基础学科，亦是现代生物学中发展最迅速的学科之一，它的发展使人类对生命现象的认识逐步深入到分子水平，生物化学已经成为生命科学发展的支柱学科。

由于生物化学课程内容繁多、抽象，使学生在学习过程中常常会遇到各种困难，为了配合课堂教学，帮助学生更好地掌握生物化学知识，我们于2003年编写并出版了《基础生物化学学习指导》一书。本教材共分12章，内容涵盖了国内高等院校“基础生物化学教学大纲”所列的主要内容。另外考虑到学生考研的需求，在内容上增加了一些提高训练。每一章均分为两部分，即要点解答和练习题。要点解答着重概括本章重点问题；练习题的题型基本包括：填空题、选择题、是非题、名词解释、计算题及问答题，题后均附有答案。在书的后面附有部分院校的考研试题。

经过近几年的使用，本教材第一版得到了使用院校的肯定，但同时也发现了许多不足之处。特别是伴随生物化学的不断发展，有些概念、理论需要进一步修正和充实。为此，在《基础生物化学学习指导》第一版的基础上，我们对本教材内容进行了全面勘误、改错、修订和补充，介绍了一些新概念和理论，反映了生物化学研究领域的新成果和新进展。

本教材不仅适合高等院校生物类各专业的学生和教师参考，对准备参加研究生考试的学生也十分适用。由于编者水平有限，虽然力求严谨，但错误和不足仍在所难免，恳请读者不吝指正和赐教。

编 者

2007年6月

前 言

生物化学既是现代生物学的基础学科，亦是现代生物学中发展最为迅速的学科之一，生物化学的发展使人类对生命现象的认识逐步深入到分子水平。当今生物化学的理论和方法已经渗入到农业科学、医药科学及食品科学等各个研究领域，学好生物化学是深入学习和研究这些学科的必备条件，所以它也就成为了生物类专业研究生入学考试中的必考课程。但是由于生物化学内容繁多、抽象，学生在学习过程中常常会遇到各种困难，为了配合课堂教学，帮助学生更好地掌握生物化学知识，特编写了《基础生物化学学习指导》一书。

本书共分 12 章，内容涵盖了国内高等院校基础生物化学教学大纲列出的主要内容。另外考虑学生考研的需求，在基本要求的基础上，还加入了一些提高训练。每一章分两部分，即要点解答和练习题。要点解答着重概括本章的重点问题；练习题的题型基本包括：填空题、选择题、是非题、名词解释、计算及问答题，题后均附有答案。书的最后还附有部分参编院校近几年的硕士研究生入学试题。

本书不仅适合高等院校生物类各专业的学生和教师参考，对准备参加研究生考试的学生也十分适用。

由于编者水平有限，虽然力求严谨，但错误和不足仍在所难免，敬请读者不吝指正和赐教。

编 者
2003 年 5 月

目 录

第一章 蛋白质	(1)
要点解答	(1)
练习题	(15)
参考答案	(21)
第二章 核酸	(26)
要点解答	(26)
练习题	(30)
参考答案	(36)
第三章 酶	(41)
要点解答	(41)
练习题	(45)
参考答案	(53)
第四章 生物膜	(57)
要点解答	(57)
练习题	(60)
参考答案	(62)
第五章 糖类代谢	(63)
要点解答	(63)
练习题	(70)
参考答案	(75)
第六章 生物氧化与氧化磷酸化	(79)
要点解答	(79)
练习题	(84)
参考答案	(88)
第七章 脂质代谢	(91)
要点解答	(91)
练习题	(95)

参考答案	(100)
第八章 蛋白质的酶促降解和氨基酸代谢	(102)
要点解答	(102)
练习题	(113)
参考答案	(116)
第九章 核酸的酶促降解和核苷酸代谢	(119)
要点解答	(119)
练习题	(123)
参考答案	(127)
第十章 核酸的生物合成	(129)
要点解答	(129)
练习题	(135)
参考答案	(143)
第十一章 蛋白质的生物合成	(149)
要点解答	(149)
练习题	(157)
参考答案	(165)
第十二章 代谢调节	(168)
要点解答	(168)
练习题	(175)
参考答案	(180)
2000 年中国农业科学院硕士研究生入学试题	(183)
2000 年复旦大学硕士研究生入学试题	(186)
2003 年复旦大学硕士研究生入学试题	(189)
2001 年中国科学院硕士研究生入学试题 B 卷	(190)
2002 年中国科学院上海生化与细胞所硕士研究生入学试题生物化学 (B 卷)	(196)
2002 年天津大学硕士研究生入学试题	(200)
2003 年南开大学硕士研究生入学试题	(203)
2001 年甘肃农业大学硕士研究生入学试题	(205)
2002 年甘肃农业大学硕士研究生入学试题	(210)
2003 年甘肃农业大学硕士研究生入学试题	(213)

2003 年河北农业大学硕士研究生入学试题	(217)
2004 年河北农业大学硕士研究生入学试题	(219)
2005 年河北农业大学硕士研究生入学试题	(221)
2006 年河北农业大学硕士研究生入学试题	(222)
2007 年河北农业大学硕士研究生入学试题	(224)

第一章

蛋 白 质

要点解答

1. 组成蛋白质的常见氨基酸有多少种？根据其 R 基团的极性如何分类？

组成蛋白质的常见氨基酸有 20 种，根据这 20 种氨基酸侧链 R 基团的极性可将它们分为四大类：

(1) 具有非极性或疏水的 R 基团的氨基酸。这类氨基酸共有八种，包括四种具有脂肪烃 R 基团的氨基酸（丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸）；两种具有芳香环的氨基酸（苯丙氨酸及色氨酸）；一种含硫氨基酸（甲硫氨酸）和一种亚氨基酸（脯氨酸）。这类氨基酸在水中的溶解度比极性 R 基团氨基酸小。

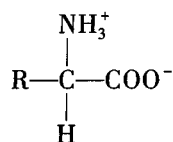
(2) 具有极性但不带电荷的 R 基团的氨基酸。这一类氨基酸共七种，它们比非极性氨基酸易溶于水，所含的 R 基团中的不解离的极性基团能与水形成氢键。其中丝氨酸、苏氨酸及酪氨酸侧链的极性是由其羟基提供的；天冬酰胺和谷氨酰胺侧链的极性产生于酰胺基；半胱氨酸侧链的极性产生于巯基（—SH）。甘氨酸的 R 基团只是一个氢原子，介于极性和非极性之间，但由于其所带 α -氨基和 α -羧基占了整个分子的大部分，具有明显的极性，所以也归入此类。

(3) R 基团带负电荷的氨基酸。这是一类酸性氨基酸，包括天冬氨酸和谷氨酸，这两种氨基酸都含有第二个羧基，在 pH 值 7.0 时具有净负电荷。

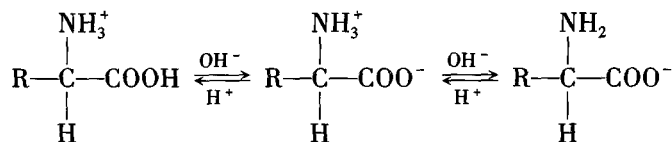
(4) R 基团带正电荷的氨基酸。这是一类碱性氨基酸，包括赖氨酸、精氨酸和组氨酸。这 3 种氨基酸在 pH 值 7.0 时带净正电荷。其中赖氨酸 R 基团带有正电荷的 ϵ -氨基；精氨酸带有正电荷的胍基；组氨酸带有弱碱性的咪唑基。

2. 何谓氨基酸的等电点 (pI)？它是怎样计算的？

氨基酸分子是两性电解质，氨基酸在溶液中的带电状况随溶液的 pH 值变化而变化。实验证明，氨基酸在水溶液或晶体状态时都是以两性离子形式存在的。



以两性离子形式存在的氨基酸，在一定酸碱条件下，可以发生解离，而表现出不同的带电形式。当加入酸时， $-\text{COO}^-$ 可以接受质子，使氨基酸带净正电荷。当加入碱时， $-\text{NH}_3^+$ 释放质子，使氨基酸带净负电荷。



在某一特定 pH 的溶液中, 氨基酸以两性离子形式存在, 所带的正负电荷总数相等, 净电荷为零, 在电场中它既不向正极移动也不向负极移动, 此时氨基酸溶液的 pH 值称为氨基酸的等电点, 以 pI 表示。

氨基酸的 pI 值相当于该氨基酸的两性离子状态两侧的基团 pK 值之和的一半, $\text{pI} = 1/2 (\text{pK}_1 + \text{pK}_2)$ 。对于含有 3 个可解离基团的氨基酸, 可通过依次写出其从酸性至碱性的解离方程, 找到两性离子两侧 pK 值, 然后取两性离子两侧基团的 pK 平均值, 即可得其 pI 值。

3. 什么是肽、肽键、寡肽和多肽? 肽有什么重要性质?

肽是由一个氨基酸分子中的羧基和另一个氨基酸分子的氨基脱水缩合而成的化合物。氨基酸之间脱水后形成的共价键 ($-\text{CO}-\text{NH}-$) 称为肽键, 也称酰胺键。由两个氨基酸形成的肽叫二肽, 由 3 个氨基酸形成的叫三肽, 依此类推。若一种肽含有少于 10 个氨基酸, 则称为寡肽, 超过 10 个的称为多肽。生物体内存在的活性肽大多是新陈代谢的产物, 在生命活动中起重要作用, 如谷胱甘肽, 短杆菌肽 S、鹅膏蕈素等。

肽的重要性质如下:

(1) 熔点高。许多短肽已得到晶体, 晶体的熔点都很高, 这说明短肽的晶体是离子晶格, 在水溶液中以偶极离子形式存在。

(2) 具有两性性质和等电点。在 pH 值 0 ~ 14 范围内, 肽键中的酰胺氢不解离, 因此肽的酸碱性主要决定于游离的末端 $\alpha\text{-NH}_2$ 和末端 $\alpha\text{-COOH}$ 以及侧链 R 基上的可解离基团。

(3) 具有旋光性。这是由于肽中有不对称 C 原子存在。一般短肽的旋光度约等于组成该肽中各个氨基酸的旋光度的总和。但是较长的肽的旋光度则不等于其组成氨基酸的旋光度的简单加和。

(4) 具有紫外吸收性质。如果肽中存在酪氨酸、色氨酸和苯丙氨酸, 则在 280nm 处有最大的光吸收。可据此对肽类进行定量测定。

(5) 具有双缩脲反应。这是肽和蛋白质所特有的颜色反应。一般含有两个或两个以上肽键的化合物与 CuSO_4 的碱性溶液都能发生双缩脲反应而生成蓝紫色复合物, 利用这个反应借助分光光度计可测定肽或蛋白质的含量。

(6) 其他化学反应。由于肽中存在游离的 $\alpha\text{-NH}_2$ 和 $\alpha\text{-COOH}$, 所以能进行茚三酮反应、酰化反应和酯化反应等许多化学反应。

4. 什么是肽单位? 肽单位有什么特点?

多肽链是由许多氨基酸通过肽键彼此连接而成的, 多肽链主链骨架的重复单位, 即 $-\text{C}\alpha-\text{CO}-\text{NH}-\text{C}\alpha$ 称为肽单位, 多肽链实际上是由许多肽单位通过 α -碳原子互相连接而成的。

肽单位的结构特点:

(1) 肽键中的 C—N 键的键长为 0.132nm，比大多数其他化合物的 C—N 单键 (0.149nm) 短，比 C=N 双键 (0.127nm) 长，因此肽键具有部分双键的性质，不能自由旋转。

(2) 肽单位是刚性平面结构，即肽单位的 6 个原子包括肽键的 4 个原子和与之相连的两个 α -碳原子，都位于同一个刚性的平面上，因此又称肽平面或酰胺平面。

(3) 绝大多数肽单位中，C=O 与 N—H 或两个 α -碳原子为反式构型，因为反式构型比顺式构型稳定。

(4) 肽单位平面结构有一定的键长和键角。

5. 什么是蛋白质的一级结构？测定蛋白质一级结构的一般步骤是什么？

蛋白质的一级结构是指蛋白质分子中氨基酸残基的排列顺序，包括二硫键的位置。

一般的测定步骤是：

(1) 测定蛋白质分子中多肽链的数目。根据蛋白质 N—末端或 C—末端残基的摩尔数和蛋白质的分子量可以确定蛋白质分子中多肽链的数目。

(2) 拆分蛋白质分子的多肽链。如果蛋白质分子是由几条不同的多肽链构成的，则必须设法将这些多肽链拆开并单独分离出来。

(3) 断裂多肽链内的二硫桥。

(4) 分析每一条多肽链的氨基酸组成。经分离、纯化的多肽链一部分样品进行完全水解，测定它的氨基酸组成。

(5) 测定多肽链的 N—末端和 C—末端的氨基酸。

(6) 用两种或两种以上的断裂方法，将多肽链断裂成两套或多套小的肽段。

(7) 分离并测定各个小肽的氨基酸顺序。

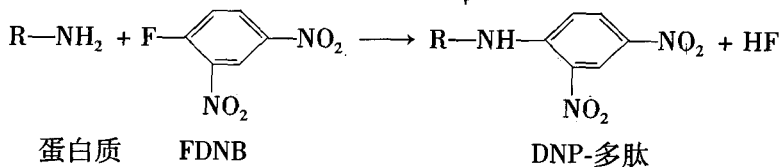
(8) 将两套或几套肽段的氨基酸顺序进行跨切口重叠，比较分析，推断出蛋白质分子中的全部氨基酸排列顺序。

(9) 确定原多肽链中二硫键的位置。

6. 如何对多肽链的 N—末端和 C—末端氨基酸进行测定？

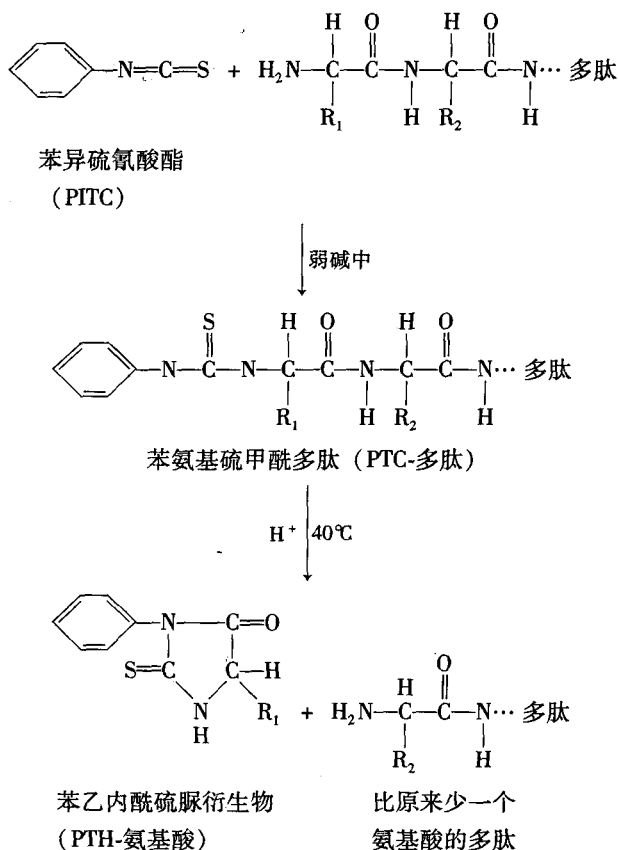
测定多肽链的 N—末端氨基酸主要有以下几种方法：

(1) 2, 4-二硝基氟苯 (FDNB) 法：2, 4-二硝基氟苯在温和条件下 (pH8.0~9.0, 室温)，能与蛋白质 N—末端的游离—NH₂ 反应，生成二硝基苯基衍生物 (DNP-多肽)，反应如下：



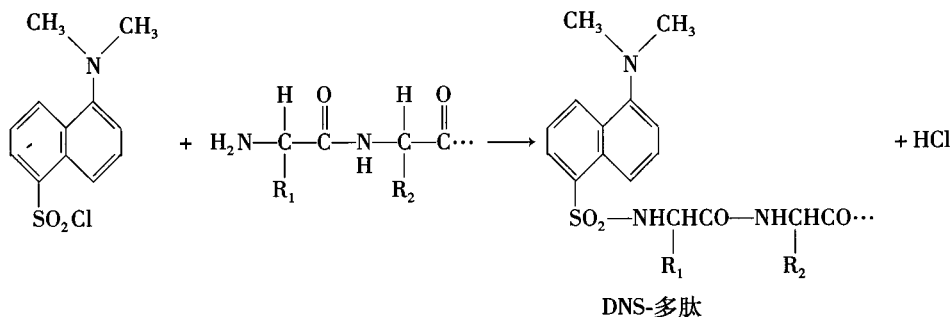
将生成的 DNP-多肽放在 6mol/L 盐酸中，105℃ 下水解 16 小时，由于 FDNB 与氨基缩合形成的键对酸水解远比肽键稳定，因此 DNP-多肽经盐酸水解后，只有 N—末端氨基酸为黄色的 DNP-氨基酸，其余的都是游离氨基酸。利用 DNP-氨基酸在乙醚中的溶解度和其他氨基酸不同，可将其抽提出来，然后用纸层析、薄

(2) 苯异硫氰酸酯 (PITC) 法: 又称 Edman 降解法, Edman 反应是测定 α -氨基的最有用的反应。反应的第一步是在弱碱性条件下, 蛋白质 N-末端的游离 $-\text{NH}_2$ 与苯异硫氰酸酯作用形成苯氨基硫甲酰多肽 (PTC-多肽), 然后在硝基甲烷中与酸作用, N-末端的 PTC-氨基酸环化, 生成相应的苯乙内酰硫脲衍生物 (PTH-氨基酸), 此物即从 PTC-多肽上掉下来, 生成的 PTH-氨基酸是无色的, 可用层析方法加以分离鉴定。

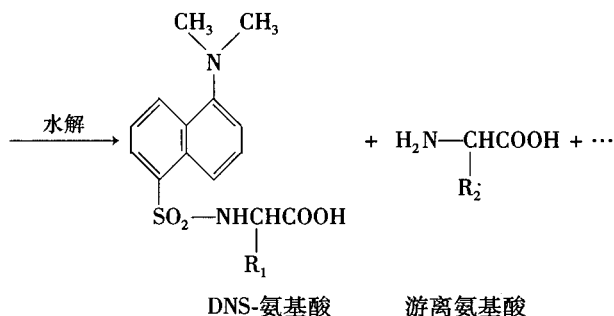


由于除去 N-末端氨基酸后剩下的肽链仍然是完整的，因此通过多次重复，此方法还能测定多肽链中氨基酸的排列顺序。“多肽序列自动分析仪”，就是根据 Edman 反应原理设计的，一次可连续测出 60~70 个以上的氨基酸序列。

(3) 丹磺酰氯 (DNS) 法: 丹磺酰氯是二甲氨基萘磺酰氯的简称, 此方法的原理与 FDNB 法相同, 只是用 DNS 代替 FDNB 试剂。由于丹磺酰氯具有强烈的荧光, 灵敏度比 FDNB 法高 100 倍, 并且水解后的 DNS-氨基酸不需要提取, 因此可直接用纸电泳或薄层层析加以鉴定。



丹磺酰氯 (DNS)

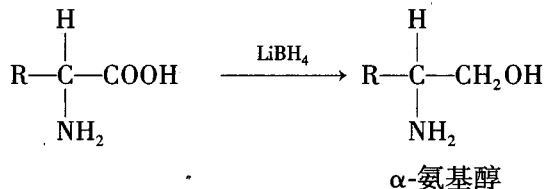


(4) 氨肽酶法：氨肽酶是一类肽链外切酶，它能从多肽链的 N—末端开始逐个水解肽键。根据不同的反应时间测出酶水解所释放的氨基酸种类和数量。按反应时间和氨基酸残基释放量作动力学曲线，就能知道该蛋白质 N—末端的氨基酸残基。实际上此法用于测定 N—末端残基有许多困难，因为酶对各种肽键的敏感性不一样，常常难以判断哪个残基在前、哪个残基在后。

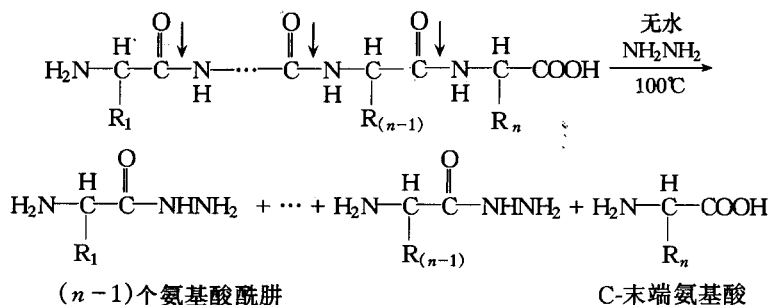
测定多肽链的 C—末端氨基酸的方法有：

(1) 化学方法：常用的有两种。

① 还原法：用硼氢化锂 (LiBH_4) 试剂可将 C—末端氨基酸还原成相应的 α -氨基醇。肽链完全水解后，代表 C—末端氨基酸的游离的 α -氨基醇可用层析法加以鉴定。Sanger 早期就是采用这种方法测定胰岛素 A、B 链的 C—末端残基。



② 肼解法：是目前测定 C—末端氨基酸残基的最重要的化学方法。多肽链与无水肼加热发生肼解，所有的肽键均断裂，除 C—末端氨基酸以游离形式存在外，其他的氨基酸都转变为相应的酰肼化合物。肼解后产生的 C—末端氨基酸，可用层析法加以鉴定。肼解反应如下：



(2) 酶法：羧肽酶是一类肽链外切酶，专一地从肽链的 C-末端开始逐个降解，释放出游离的氨基酸。释放出的氨基酸数目和种类随反应时间而变化。根据释放的氨基酸量（摩尔数）与反应时间的关系，便可推断出 C-末端氨基酸的种类。

目前常用的有四种羧肽酶：A、B、C 和 Y。应用最广泛的是羧肽酶 A 和 B。羧肽酶 A 能释放除 Pro、Arg 和 Lys 以外的所有 C-末端残基；而羧肽酶 B 只水解以 Arg 和 Lys 为 C-末端残基的肽键。

7. 什么是构型和构象？

构型是指在立体异构体中不对称碳原子上相连的各原子或取代基团的空间排布。任何一个不对称碳原子相连的 4 个不同原子和基团，只可能有两种不同的空间排布，即两种构型：D-和 L-型。改变构型应有共价键的断裂。

构象是指通过单键旋转使分子中的原子或基团形成不同的空间排列，这种构象的改变不涉及共价键的断裂。

8. 什么是蛋白质的二级结构？包括几种类型？各有什么特点？

蛋白质的二级结构是指蛋白质多肽链主链骨架的盘绕和折叠方式。天然蛋白质的二级结构主要有四种基本类型： α -螺旋、 β -折叠和 β -转角和无规则区域。

(1) α -螺旋： α -螺旋结构是 Pauling 和 Corey 在 1951 年提出来的。纤维状蛋白和球状蛋白中均存在 α -螺旋结构，它是蛋白质中最常见、最典型的二级结构类型。 α -螺旋结构的特点是：

① 肽链主链像螺旋状盘曲，每隔 3.6 个氨基酸残基沿中心轴螺旋上升一圈，螺距为 0.54nm，即每个氨基酸残基沿中心轴旋转 100° ，沿轴上升 0.15nm，螺旋的直径约为 0.5 nm。

② α -螺旋中氨基酸残基的侧链伸向外侧。相邻的螺圈之间形成链内氢键，氢键的取向几乎与中心轴平行。从 N-末端出发，氢键是由每个氨基酸残基的 $\text{C}=\text{O}$ 与前面第 4 个氨基酸的 $\text{N}-\text{H}$ 之间形成的。 α -螺旋的稳定靠氢键维持。

α -螺旋有左手螺旋和右手螺旋两种，但天然蛋白质的 α -螺旋，绝大多数都是右手螺旋，右手螺旋比左手螺旋稳定。

(2) β -折叠结构：这种结构也是在 1951 年由 Pauling 等人首先提出的，它是蛋白质中第二种最常见的二级结构。 β -折叠是由几乎伸展的多肽链侧向聚集在一起，相邻肽链的主链之间靠氢键联结而形成的锯齿状片层结构。 β -折叠结构的特点是：