

医学助记图表与歌诀丛书

余承高 陈 勇 王震宇 陈栋梁 主编

生物化学

助记 图表与歌诀

S HENGWU HUAXUE
ZHUJI
TUBIAO YU GEJUE



北京大学医学出版社

医学助记图表与歌诀丛书

生物化学助记 图表与歌诀

主 编 余承高 陈 勇 王震宇 陈栋梁

副主编 赵雪花 何丽娅 吴勉云 刘 杰

编 委 (按姓氏笔画排序)

王震宇 邢俊莲 刘 杰 刘 畅

刘 翔 杜 鸣 李 曦 吴勉云

何丽娅 余承高 陈 勇 陈 曦

陈栋梁 赵雪花 莫朝晖 晏汉姣

北京大学医学出版社

SHENGWUHUAXUE ZHUJI TUBIAO YU GEJUE

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学助记图表与歌诀 / 余承高等主编. —北京:
北京大学医学出版社, 2016.12
ISBN 978-7-5659-1505-5
I. ①生… II. ①余… III. ①生物化学—教学参考资料 IV. ①Q5
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 270530 号

生物化学助记图表与歌诀

主 编: 余承高 陈 勇 王震宇 陈栋梁

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E-mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 中煤(北京)印务有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 赵 欣 郭 颖 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 710mm×1000mm 1/16 印张: 15.75 字数: 382 千字

版 次: 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1505-5

定 价: 35.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前 言

生物化学是一门重要的基础医学科学，其内容十分丰富。学习、记忆并掌握其繁杂的基本理论知识，需要采取一些行之有效的方法。在许多辅助记忆的方法中，使用歌诀已被证明是收效显著的方法之一。以歌诀为体裁的医学著作在我国古代颇为多见，其特点是内容简要，文从语趣，富有韵律，朗读上口，记忆入心。

在多年的教学工作中，我们体会到，总结性图表具有提纲挈领、概括性强，条理分明、逻辑性强，直观形象、易于理解，简明扼要、便于记忆等特点，通过对比分析，将知识融会贯通，从而启发思维，培养能力。将歌诀与总结性图表结合起来学习，可以收到珠联璧合、相得益彰的良好效果。有鉴于此，我们也试将生物化学的基本内容编成歌诀，并用总结性图表加以注释，旨在为广大医学生提供一种新颖、独特、有效的生物化学学习方法。

随着医学的不断发展，现在的医学书籍和教材已很难用歌诀体裁来系统描述和阐明相关知识，但我国语言博大精深，为编写生物化学歌诀提供了深厚的基础。鲁迅先生曾说：“地上本没有路，走的人多了，也便成了路。”我们殷切地希望有更多的同仁和我们一道，将生物化学歌诀编写得越来越好，共同开辟出一条用歌诀的方式学习生物化学的新途径。

在华中科技大学、武汉科技大学、武汉肽类物质研究所和北京大学医学出版社等单位的大力支持和鼓励下，本书才能得以顺利出版，在此致以衷心的感谢！

为满足更多读者的需求，本书的编写参考了多种教科书，但由于我们的水平有限，错误、疏漏和不妥之处难免，敬希广大同仁和读者不吝指正。

余承高

目 录

第一章 蛋白质的结构与功能·····	1
第二章 核酸的结构与功能·····	12
第三章 酶·····	24
第四章 聚糖的结构与功能·····	37
第五章 维生素与无机物·····	43
第六章 糖代谢·····	54
第七章 脂质代谢·····	74
第八章 生物氧化·····	94
第九章 氨基酸代谢·····	104
第十章 核苷酸代谢·····	116
第十一章 非营养物质代谢·····	124
第十二章 物质代谢的整合与调节·····	133
第十三章 真核基因与基因组·····	150
第十四章 DNA 的生物合成 ·····	154
第十五章 DNA 损伤与修复 ·····	162
第十六章 RNA 的生物合成 ·····	166

2 目 录

第十七章 蛋白质的生物合成..... 174

第十八章 基因表达调控..... 186

第十九章 细胞信号转导的分子机制..... 198

第二十章 常用分子生物学技术的原理及其应用..... 211

第二十一章 DNA 重组及重组 DNA 技术 217

第二十二章 基因结构与功能分析技术..... 223

第二十三章 癌基因、抑癌基因与生长因子..... 225

第二十四章 疾病相关基因的鉴定与基因功能研究..... 232

第二十五章 基因诊断和基因治疗..... 236

第二十六章 组学与医学..... 241

主要参考文献..... 244

第一章 蛋白质的结构与功能

一、蛋白质的分子组成



蛋白质的元素组成

共同元素有五种，主为碳氢氧氮硫。磷铁铜锌锰钴碘，某些蛋白质特有。

蛋白质的含氮量，约占百分之十六。

表 1-1 蛋白质的元素组成

元素组成	
蛋白质共有的元素	主要有碳、氢、氧、氮和硫
某些蛋白质特有的元素	磷、铁、铜、锌、锰、钴、钼、碘等
蛋白质含氮量较稳定	蛋白质含氮量约占其总量的 16%，即 1g 氮相当于 6.25g 蛋白质。通过测定生物样品中的含氮量，将其乘以 6.25，就可计算出该样品中蛋白质的含量



组成蛋白质的 20 种氨基酸及其结构

(1)

甘精苏蛋谷谷胺，丝赖半丙天天胺。缬亮异亮有支链，酪色苯丙脯组环。

(2)

干净苏蛋姑姑安，死赖半丙天天胺。鞋亮异亮油脂恋，老色苯兵脯租还。

表 1-2 20 种氨基酸的中英文名称、三字母缩写及单字母符号表示方式

中文名称	英文名称	三字母缩写	单字母符号
甘氨酸	Glycine	Gly	G
丙氨酸	Alanine	Ala	A
缬氨酸	Valine	Val	V
亮氨酸	Leucine	Leu	L
异亮氨酸	Isoleucine	Ile	I
脯氨酸	Proline	Pro	P
苯丙氨酸	Phenylalanine	Phe	F
酪氨酸	Tyrosine	Tyr	Y
色氨酸	Tryptophan	Trp	W

续表

中文名称	英文名称	三字母缩写	单字母符号
丝氨酸	Serine	Ser	S
苏氨酸	Threonine	Thr	T
半胱氨酸	Cysteine	Cys	C
甲硫（蛋）氨酸	Methionine	Met	M
天冬酰胺	Asparagine	Asn	N
谷氨酰胺	Glutamine	Gln	Q
天冬氨酸	Aspartic acid	Asp	D
谷氨酸	Glutamic acid	Glu	E
赖氨酸	Lysine	Lys	K
精氨酸	Arginine	Arg	R
组氨酸	Histidine	His	H



必需氨基酸的种类

(1)

苯丙缬亮色异亮，甲硫苏赖共八将。

(2)

苯兵鞋亮色亦靚，家留数来共八将。

(3)

赖色苯丙蛋，苏缬亮异亮。

表 1-3 氨基酸的分类

分类	氨基酸或其特点
根据氨基酸侧链结构和理化性质分类	
非极性疏水性氨基酸	甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸
极性中性氨基酸	色氨酸、丝氨酸、酪氨酸、半胱氨酸、甲硫氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺
酸性氨基酸	天冬氨酸、谷氨酸
碱性氨基酸	赖氨酸、精氨酸、组氨酸
根据人体能否合成分类	
必需氨基酸	苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸

续表

分类	氨基酸或其特点
非必需氨基酸	甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、精氨酸、组氨酸、半胱氨酸、脯氨酸、酪氨酸、天冬酰胺
根据代谢特点分类	
生糖氨基酸	甘氨酸、丝氨酸、缬氨酸、组氨酸、精氨酸、半胱氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸、丙氨酸、谷氨酸、谷氨酰胺、天冬氨酸、天冬酰胺、甲硫氨酸
生酮氨基酸	亮氨酸、赖氨酸
生糖兼生酮氨基酸	异亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、苏氨酸、色氨酸
特殊的氨基酸	
赖氨酸	含两个氨基的氨基酸
甲硫氨酸、半胱氨酸、胱氨酸	含硫氨基酸
脯氨酸、羟脯氨酸、焦谷氨酸	亚氨基酸
同型半胱氨酸	天然蛋白质中不存在的氨基酸
瓜氨酸	不出现在蛋白质中的氨基酸
色氨酸	在 280nm 波长具有最大光吸收峰的氨基酸
甘氨酸	20 种氨基酸中除甘氨酸外，都属于 L- α -氨基酸



谷胱甘肽的功能

保护蛋白中巯基，保护膜和 Hb，氨酸吸收可促进，肝的转化亦参与。

表 1-4 谷胱甘肽的功能

功能	说明
保护巯基酶及某些蛋白质中的巯基	谷胱甘肽的巯基具有还原性，可作为还原剂，使蛋白质或酶中的巯基免遭氧化，以维持其活性
保护生物膜和血红蛋白	谷胱甘肽在谷胱甘肽过氧化物酶催化下可还原过氧化氢或过氧化物，使生物膜和血红蛋白免遭损伤
参与肝的生物转化	谷胱甘肽可与许多卤代化合物或环氧化合物结合，并从胆汁排泄
参与氨基酸的吸收	谷胱甘肽通过 γ -谷氨酰循环而参与氨基酸的吸收

二、蛋白质的分子结构

蛋白质的分子结构

一级氨基酸串为链，二级肽链有折卷，三级盘曲更复杂，四级多链合成团。

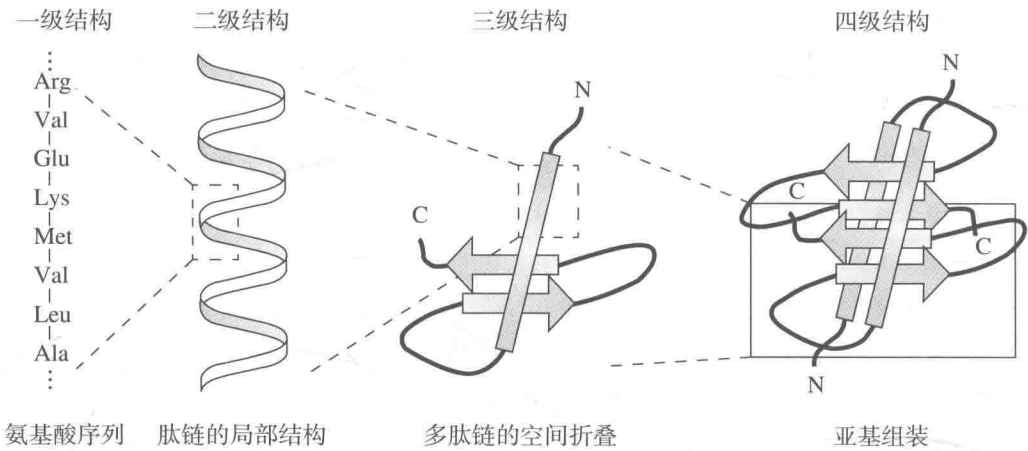


图 1-1 蛋白质各级结构之间的关系

表 1-5 蛋白质分子的结构

	一级结构	二级结构	三级结构	四级结构
定义	蛋白质分子中氨基酸的排列顺序	蛋白质主链的局部空间结构，不涉及氨基酸残基侧链构象	整条肽链中所有原子在三维空间的排布位置	肽链与肽链之间靠非共价键维系的布局和相互作用，即各亚基间的空间排布
形式	氨基酸序列	α 螺旋、 β 折叠、 β 转角、无规卷曲	结构域	亚基
稳定因素 (化学键)	肽键（主要），二硫键（次要）	氢键	疏水作用、离子键、氢键、范德华力	疏水作用（主要）、离子键、氢键、范德华力
意义	各种蛋白质的一级结构互不相同。一级结构是蛋白质空间构象和特异生物学功能的基础，但并不是决定空间构象的唯一因素	二级结构是由一级结构决定的。在蛋白质中存在两个或三个由二级结构的肽段形成的模序，发挥特殊生理功能。二级结构为短距离效应，可协同完成特定的功能	相对分子量大的蛋白质分子常分割成一至数个结构域，分别执行不同的功能。三级结构为长距离效应，具有生物学活性	含有四级结构的蛋白质，单独的亚基一般无生物学功能，四级结构具有协同效应

注释：脯氨酸的存在或者多个谷氨酸、天冬氨酸的存在都会干扰 α 螺旋的形成。



蛋白质的二级结构

蛋白结构第二级，常见类型有四个： α 螺旋 β 折（叠），无规卷曲 β 转角。

表 1-6 蛋白质二级结构常见的类型

类型	结构特点
α 螺旋	① 多肽链的主链围绕中心轴作顺时针方向螺旋式上升（右手螺旋） ② 每 3.6 个氨基酸残基上升一圈，氨基酸残基侧链伸向螺旋的外侧 ③ 其稳定性靠上、下肽链之间所形成的氢键维系
β 折叠	① 相邻 α - 碳单键向不同方向旋转，使肽键平面呈折扇状或折叠成锯齿状结构 ② 氨基酸残基侧链交替地位于锯齿状结构的上、下方 ③ 两条以上肽链或一条肽链的若干肽段的锯齿状结构可平行排列，其走向相同，也可相反
β 转角	① 出现在多肽链 180° 急转弯处 ② 通常由 4 个氨基酸残基构成 ③ 由第 1 个氨基酸残基的羰基氧与第 4 个氨基酸残基的亚氨基氢形成氢键，维持结构稳定
无规卷曲	肽链中某些部分的氨基酸序列不适于上述结构时，出现无规律结构



α 螺旋结构要点

右手螺旋顺时针，每圈结构较稳定。侧链伸向螺旋外，主由氢键维稳定。

表 1-7 α 螺旋结构要点

结构要点	说明
右手螺旋	多肽链主链围绕中心轴作顺时针方向螺旋式上升
每圈螺旋结构	每 3.6 个氨基酸上升一圈，螺距为 0.54nm
氨基酸残基侧链位置	伸向螺旋的外侧
链内形成氢键	每个氨基酸残基上的亚氨基氢（N—H）与其前面第 4 个氨基酸残基上的羰基氧（C=O）之间形成氢键。氢键方向与螺旋长轴基本平行
稳定螺旋的因素	上、下肽链之间所形成的氢键是 α 螺旋的稳定因素



维持蛋白质分子构象的化学键

维持蛋白构象稳，范德华力与氢键，疏水作用离子键，配位键与二硫键。

表 1-8 维持蛋白质分子构象的化学键

化学键	概念	作用
氢键	多发生于多肽链中负电性很强的氮原子或氧原子的孤对电子与 N—H 或 O—H 的氢原子间的相互吸引力	对维持蛋白质分子的二级结构（如 α 螺旋、 β 折叠、 β 转角）起主要作用，对维持三、四级结构也有一定作用

续表

化学键	概念	作用
范德华力	包括取向力、诱导力和色散力，其实质是静电引力	参与维持蛋白质分子的三、四级结构
疏水作用 (疏水键)	通常指疏水基团之间的相互作用力，是疏水基团或疏水侧链为避开水分子而相互靠近聚集形成的力	对维持蛋白质分子的三、四级结构起主要作用
离子键 (盐键)	是正负电荷之间的一种静电相互作用力	蛋白质分子中的 $-\text{NH}_3^+$ 与 $-\text{COO}^-$ 可以形成离子键，对维持蛋白质分子侧链的稳定发挥作用
配位键	是指在两原子之间由其中一个原子单独提供电子对而形成的一种特殊共价键	在一些蛋白质中参与维持三、四级结构
二硫键	指两个硫原子之间的共价键	对稳定某些蛋白质分子的构象起重要作用



多肽链氨基酸残基侧链基团在三级结构中可形成的次级键

多肽氨酸之侧链，能够形成次级键，氢键离子疏水键，范德华力也常见。

表 1-9 多肽链氨基酸残基侧链基团在三级结构中可形成的次级键

次级键	多肽链氨基酸残基侧链基团
氢键	① 丝氨酸和苏氨酸侧链上的羟基 ② 酪氨酸的苯酚基 ③ 精氨酸的胍基 ④ 天冬氨酸和谷氨酸侧链上的羧基 ⑤ 天冬酰胺和谷氨酰胺侧链上的酰胺基
疏水键	丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、脯氨酸、苯丙氨酸和色氨酸残基的侧链基团
离子键	天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸、赖氨酸和组氨酸残基的侧链基团
范德华力	所有氨基酸残基侧链上的原子



分子伴侣的作用

分子伴侣护蛋白，协助肽链来折叠，保证折叠能正确，错误折叠能纠正，肽链之间二硫键，分子伴侣促形成。

表 1-10 分子伴侣的作用

分子伴侣的作用	说明
提供一个保护环境，加速肽链正确折叠	分子伴侣可逆性地与未折叠肽段的疏水部分结合，随后松开，使肽链正确折叠
纠正错误折叠的肽段	分子伴侣可与错误聚集的肽段结合，使之解聚后，再诱导其正确折叠
促进二硫键的形成	分子伴侣可能具有形成二硫键的酶活性，促进蛋白质分子折叠过程中形成正确的二硫键



蛋白质的分类

蛋白质的种类多，分类方法有三个。

表 1-11 蛋白质的分类

分类方法	蛋白质类型
按组成分类	① 单纯蛋白质：清蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白、组蛋白、精蛋白、硬蛋白 ② 结合蛋白质：核蛋白、糖蛋白、脂蛋白、磷蛋白、黄素蛋白、色蛋白、金属蛋白
按分子对称性分类	① 球状蛋白质：大多数蛋白质属于这一类 ② 纤维状蛋白质： a. 可溶性纤维蛋白质：肌球蛋白、纤维蛋白 b. 不溶性纤维蛋白质：胶原、弹性蛋白、角蛋白
按生物学功能分类	酶、运输蛋白质、营养和贮存蛋白质、收缩或运动蛋白质、结构蛋白质、防御蛋白质等

三、蛋白质结构与功能的关系



蛋白质结构与功能的密切关系

蛋白结构与功能，两者密切相关。

表 1-12 蛋白质结构与功能的密切关系

蛋白质结构与功能的关系	说明
一级结构不同的蛋白质，功能各不相同	如酶原（无生物活性）和酶（有生物活性）
一级结构近似的蛋白质，功能也相近	同源蛋白质（指不同机体中具有相同功能的蛋白质）的一级结构相似，且亲缘关系越近者，差异越小，如胰岛素、细胞色素 C 等

续表

蛋白质结构与功能的关系	说明
一级结构是空间构象的基础	例如，空间构象遭破坏的核糖核酸酶，只要其一级结构未被破坏，就可能恢复到原来的三级结构，功能依然存在
一级结构中关键的氨基酸缺失或被替代，可引起分子病	例如镰刀形红细胞贫血患者血红蛋白β亚基第6位氨基酸由谷氨酸换成了缬氨酸，使得Hb相互粘着，导致红细胞变形成为镰刀状而极易破碎，引起贫血
蛋白质空间结构与功能关系密切	①蛋白质变性作用表明蛋白质空间结构与功能的关系十分密切；②变构蛋白和变构酶证明构象改变时，功能也会发生改变
氨基酸序列提供重要的生物进化信息	通过比较不同种系间蛋白质的一级结构，有助于了解物种进化间的关系



肌红蛋白和血红蛋白的比较

血红蛋白四亚基，氧离曲线S型，有利红细胞运氧，协同变构好效应。
肌红蛋白在肌肉，有利肌C氧利用。

表 1-13 肌红蛋白和血红蛋白的比较

肌红蛋白 (Mb)		血红蛋白 (Hb)
来源	肌肉组织	红细胞
种类	1 种	3 种：HbA ₁ (成人 98%)、HbA ₂ (成人 2%) 和 HbF (胎儿)
一级结构	1 条肽链，153 个 aa，其中的 83 个 aa 为保守序列	4 条肽链，α 亚基约 141aa，β 亚基约 146aa；HbA ₁ 为 α ₂ β ₂ ，HbA ₂ 为 α ₂ δ ₂ ，HbF 为 α ₂ γ ₂
二级结构	75%α 螺旋，有 A、B、C、D、E、F、G 和 H 共 8 段螺旋，中间由无规卷曲或转角来连接	每条链同 Mb
三级结构	典型的球蛋白，分子表面形成 1 个疏水口袋，血红素即藏在其中	每条链同 Mb
四级结构	无 (只有三级结构)	4 个亚基占据着四面体的 4 个角，链间以离子键结合，1 条 α 链与 1 条 β 链形成二聚体，Hb 可以看成是由 2 个二聚体组成的 (αβ) ₂ ，在二聚体内结合紧密，在二聚体之间结合疏松
辅基	血红素 (Fe ²⁺)，结合氧气	每个亚基结合 1 分子血红素 (Fe ²⁺)，1 分子 Hb 可结合 4 分子氧气

续表

肌红蛋白 (Mb)		血红蛋白 (Hb)
协同变构效应	无	正协同效应
氧合曲线	双曲线	S 曲线
2, 3-BPG	很难结合	2 条 β 链之间可结合一分子 BPG
功能	肌肉组织中贮存氧气, 运输氧气 在血液中运输氧气 到线粒体	

注释: aa 指氨基酸, 2, 3-BPG 为 2, 3- 二磷酸甘油酸。

四、蛋白质的理化性质

 蛋白质的理化性质

酸正碱负两游离, 正负相等 pH 值, 电呈中性等电点, 蛋白不同各不一,
去电除水可沉淀, 不透半膜是胶体, 理化因素可失活, 呈色反应加试剂。

表 1-14 蛋白质的理化性质

理化特性	说明
两性解离	① 两端氨基和羧基 + 侧链上的某些基团解离 ② 若溶液 $pH < pI$, 蛋白质带正电荷 ③ 若溶液 $pH > pI$, 蛋白质带负电荷 ④ 若溶液 $pH=pI$, 为兼性离子, 电荷为 0
等电点 (pI)	体内各种蛋白质的 pI 不同, 多接近 5.0
紫外吸收	蛋白质 OD_{280} 与其浓度成正比, 故可测定蛋白质的含量
茚三酮反应 (呈色反应)	氨基酸与茚三酮共同加热, 最终可形成蓝紫色的化合物, 其最大吸收峰在 570nm 处, 利用此原理可进行氨基酸定量分析
双缩脲反应	阳性。用于检测蛋白质水解程度
胶体性质	有
变性、沉淀、凝固	有

 构象与构型的比较

分子构象与构型, 二者含义有差异。

表 1-15 构象与构型的比较

	构象	构型
定义	指分子中由于共价单键的旋转所表现出的原子或基团的不同空间排布	指在立体异构体中的原子或取代基团的空间排列关系
形式	有多种形式	有 D 型和 L 型两种
共价键的断裂	构象改变不涉及共价键的断裂或重新组成	构型改变涉及共价键的断裂和重新组成
光学活性的变化	无	有

五、蛋白质的分离纯化与结构分析



蛋白质分离纯化方法及原理

沉淀离心膜过滤，还有层析与电泳。氨基酸序列可分析，可测蛋白结构域。

表 1-16 蛋白质的分离纯化方法及原理

蛋白质分离纯化方法	作用原理
沉淀法	
盐析	溶解度
等电点沉淀	溶解度
有机溶剂沉淀	溶解度
离心法	
超速离心法	大小、形状、密度
膜过滤技术	
透析法	大小、形状
超滤法	大小、形状
电泳法	
凝胶电泳	电荷、形状、大小
双向电泳	等电点、电荷、大小、形状
等电聚焦电泳	等电点
高效毛细管电泳	电荷、大小、等电点等
层析法	
吸附层析	各组分在作为固定相的固体吸附剂表面的吸附能力不同
分配层析	各组分在流动相和静止液相（固定相）中的分配系数不同
离子交换层析	固定相是离子交换树脂，各组分因所带电荷状况不同，与离子交换树脂的亲合力不同
凝胶层析	固定相为多孔凝胶，各组分的分子大小不同，因而在通过凝胶时受阻滞的程度不同
疏水层析	固定相为带有强疏水基团的树脂，各组分的疏水性不同，导致其与树脂的结合能力不同
亲和层析	固定相只能与一种待分离组分专一结合，以此达到与无亲和力的其他组分分离的目的

表 1-17 蛋白质中氨基酸测序分析的基本步骤

基本步骤	说明
分析已纯化的蛋白质氨基酸残基的组成	用盐酸将已纯化的蛋白质水解成氨基酸，测定各种氨基酸的含量，计算其在蛋白质中的百分比或个数
测定蛋白质两端的氨基酸	即测定蛋白质氨基末端和羧基末端的氨基酸
水解蛋白质成肽段	分离各肽段
测定各肽段的氨基酸序列	常用 Edman 法
确定蛋白质中氨基酸序列	将结果组合排列对比，得出整条肽链的氨基酸序列

表 1-18 蛋白质空间结构的测定

测定步骤	方法
蛋白质二级结构含量测定	圆二色光谱法，测定 α 螺旋较多的蛋白质时，结果较为准确
蛋白质三维空间结构测定	X 射线衍射法和磁共振成像技术等