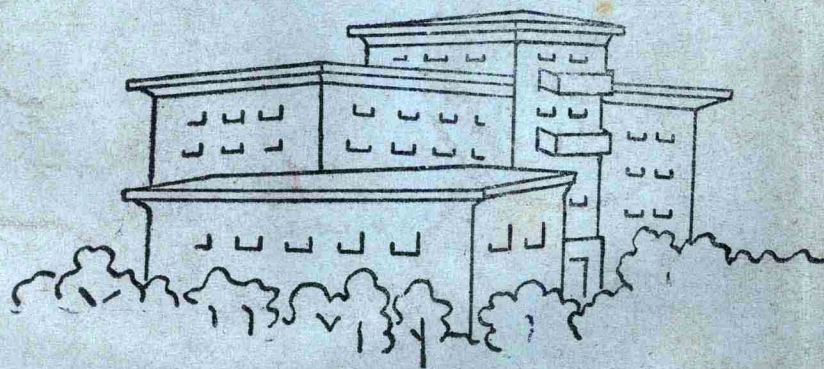


生物化學講義



北京医学院 1959.11

生物化學講義



北京醫學院編

生物化学提綱

第一章	緒論	1
第二章	蛋白質的化学	5
第三章	醣的化学	15
第四章	脂类的化学	21
第五章	酶	27
第六章	維生素	33
第七章	激素	42
第八章	物質代謝总論	49
第九章	醣的代謝	55
第十章	脂类的代謝	63
第十一章	蛋白質的代謝	72
第十二章	醣、脂肪及蛋白質代謝的相互联系	95
第十三章	生物氧化	97
第十四章	无机盐及水的代謝	107
第十五章	肝脏的生物化学机能	114
第十六章	血液	117
第十七章	尿	127
第十八章	神經肌肉和其他組織的生物化学	130

生物化学提綱

第一章 緒 論

第一节 生物化学的对象和目的

生物体具有一定的物質組成。在这具有一定物質組成的生物体内，許多化学反应連續不断地进行。由于这些反应在体内进行、生物才能与其体外环境交換物質。交換的物質包括水、醣、蛋白質、脂肪、气体及无机盐等类。

上述的物質交換亦称物質代謝。因有物質代謝，生物才能生长及繁殖。欲求生长正常，繁殖旺盛，則必須調节物質代謝过程所包括的一切化学反应，并控制其进行方向。欲求調节及控制这些化学反应，則必須詳細了解这些化学反应的进行机制。应用物理、化学及生物学的方法，来了解生物体的物質組成，化学反应机制及其与体外环境相互关系的科学就是生物化学，也就是生命的化学。但生物化学的目的并不限于了解这些現象，而是在于利用已經了解的知識去改进人类的健康，并去改造自然界，使其更适合于人类的生存。

第二节 生物化学在醫學上的重要性

根据上述，生物化学的对象是生物，目的是改进人类的健康，可見其在醫學科学、農業科学及其他应用生物学上的重要性。

(一) 生物化学是在生理学的基础上发展起来的一門科学，所以它同生理学的关系极为密切。其目的之一就是通过化学变化来認識生物体的生理机能，或为生物体的生理机能奠定化学基础。生物化学同其他基础醫學也有密切的关系。近年来，組織学家巧妙利用生物化学的方法，来解决过去用染料或显微镜所不能解决的許多問題，从而建立了一門新的科学，即組織化学。在微生物学及免疫学上，生物化学的原理和方法則更被广泛应用，藥理学主要是研究藥物的化学結構及其在体内的作用；作用的强弱則与藥物对酶体系及代謝过程的影响有密切关系。病理生理学所以不同于病理解剖学就是因为它是根据生理机能的失調及生化程序的紊乱来研究发病的机制，而不是仅仅根据細胞形态的改变和数量的增減来断定病理。

(二) 反过来，生物化学的发展也必須在一定程度上依賴其他基础醫學。例如生物化学家在研究核酸和蛋白質的生物合成时，經常应用組織学的技術来确定各种細胞成分的合成活性。生物化学家在研究物質代謝的机制时，經常利用微生物作为研究对象，并将所得結果与用高等动物所得者互相印証。

(三) 生物化学不独是一門重要的基础醫學，而且对于临床醫學的发展也有重要的貢獻。体内生化过程（即物質代謝过程）的异常或紊乱莫不表现为疾病，例如胰島功能衰竭所引起的醣代謝异常可以表现为糖尿病，維生素D缺乏所引起的鈣及磷代謝紊乱則可以表现为佝偻病。所以在临床上，对某些疾病，必須以病人的物質代謝情况和正常者相比較，才能給患者以正确的診斷和适当的治疗。

(四) 生物化学在預防醫學上也有重大的貢獻。增进人体的健康是預防疾病的一种积极因素，如何供給人体适当的营养，从而增进人体的健康則是生物化学的一个重要問題。适当

的营养不仅可以預防疾病，还可以治疗疾病。

第三节 生物化学的发展

(一) 我国历代人民对于生物化学的貢獻

I. 酶学方面——我国人民在公元前22世紀就知道酿酒。据战国策記載：夏禹（公元前的22世紀）时的仪狄作酒。酿酒用的酒母，古来称为“麴”或“酶”。書詩記載，“若作酒醴，尔为麴蘖”，即作酒必須用麴之意。“酶”字古来通“媒”，即谷类須經麴或酶的媒介作用才能变酒之意。

麴对胃腸病的治疗作用也早被我們的祖先所发现。左传載，魯宣公12年，（即公元前597年），叔展曰“有麥麴乎？曰无，有山麴旁乎？曰无。河魚腹疾奈何？”山麴旁即中葯川芎的別名；河魚腹疾即腹瀉之喻。

周礼即有造醬的記載；醬是由酶促进的发酵产物。同时所造成的醬种类很多，故有“百醬”之称。公元前12世紀，我們的祖先也知道制飴；飴是大麥經发芽及酶作用后生成的麥芽糖醬。周礼載飴为五味之一。詩經載，“周原膴膴薰茶如飴”。

II. 营养方面——公元前約2世紀，內經素問記載一个完全膳食所必須具备的条件，即“五谷为養；五畜为益；五果为助；五菜为充”。

唐朝孟詵（公元后約8世紀）著食療本草，晉殷著食醫心鑑。这二部書可能是我国最早的飲食疗法专書。后来宋朝的圣济总錄（公元后12世紀）詳載食治（即飲食疗法）；元朝忽思慧（公元后約14世紀）所著的飲食正要更举出各种疾病患者應該食用的食物及其烹調方法。这些著作都和現代的飲食学相似。

III. 医疗方面——从公元前3世紀起，我国方士即企图在动物、植物及礦物中寻找长生不死的葯。秦始皇派方士徐福入东海求不死之草，这是人所共知的传说。后来知道食草不能长生，方士遂提倡服石。但服石不仅无益于长生，反可因消化及营养不良而死亡，于是方士們进而烧煉礦石，企图获得長生不老的仙丹。煉丹术虽然不能滿足当时人民要求长生不老的愿望，但确是企图利用化学方法以解决生命問題的开端，亦即生命化学的开端。

公元前約4世紀，庄子載癭病。病即地方性甲状腺肿。至公元后約4世紀葛洪著肘后百一方，首先用海藻酒治疗癭病；海藻含碘，现代亦知其可用以預防癭病。唐朝王焘所著的外台秘要載有疗癭方35种，其中27种皆用含碘植物。

对于缺乏維生素B₁的脚气病，孙思邈（公元531——582年）早知其为一种食米区的病，并按症状分为“肿”、“不肿”及“脚气入心”三种。当时用以治疗脚气病的葯如車前子、防风、杏仁、大豆、楝榔等，經近代分析知其均含有維生素B₁。同时更知食用谷皮和米熬成的粥，以預防脚气病。

关于缺乏維生素A的夜盲症，公元七世紀的巢氏病源已有記載，称为“雀目”。孙思邈首先用猪肝治雀目。我国的第一部眼科专書龍木論，也記載用蒼术、地肤子、細辛、决明子等葯治雀目。猪肝及这些植物类葯物經近代分析知其含有維生素A元

。从公元十世紀起，我国的学者就利用各种动物的脏器来治疗疾病。例如胪胙（雞胃）治糖尿病、羊靨（包括甲状腺的头部肌肉）治甲状腺肿，紫河車（胎盤）作强壮剂，蟾酥（蟾蜍皮肤的分泌物）治創伤、羚羊角治中风及虛勞等病。这些利用脏器的疗法可能就是近代内分泌学的开端。

根据上述，可見自古代起我們的祖先对于生物化学的发展即有很大的貢獻。可惜当时的

封建制度限制了自然科学的发展。从公元十七世紀起，清朝政府为了巩固統治，对外采取閉关自守政策，断絕与世界各国的文化交流，对内則誘惑学者鑽研經書，輕視自然科学为异端邪說。加以近百年来帝国主义的侵略，解放前国民党政府的忽視，自然科学大为落后，生物化学也不能例外。

(二) 近代生物化学的发展。在我国統治者閉关自守，摧殘科学的同时，欧美的自然科学迅速发展。俄罗斯的科学家居蒙諾索夫氏(М.В.Ломоносов. 公元1671——1765)首先发现自然界的总規律，即物質不灭定律及运动不灭定律。

I. 近代生物化学的发展基础

甲、在物質不灭定律和运动不灭定律的基础上，法国的科学家拉瓦西氏(A. B. Lavoisier 1743——1794)闡明了呼吸过程的本質及其与氧化作用的关系。

乙、魏乐氏(F. Wohler. 1800——1882)于1828年第一次用人工方法由无机物(氰酸鉞)合成哺乳动物的代謝产物、尿素。这就証明有机化合物与无机化合物一样，都可以由人工合成。

丙、李毕格氏(J. Liebig. 1803——1873)对于植物的营养問題进行研究，并得出重要的結論，即植物在生长过程中不仅需要由空气中吸取二氧化碳，并且也需要由土壤中吸取无机物質。

丁、巴斯德氏(L. Pasteur. 1822——1895)研究发酵作用。他的研究結果对于发酵工業的发展，具有伟大的貢獻；但他对于发酵作用的基本概念則完全錯誤。他認為发酵作用乃是活的微生物的活动結果；只有活的完整的微生物細胞所含的“活体酶”才能引起发酵作用。若将微生物除淨，則发酵作用不能进行。因此，他就把酶分为完全不同的“活体酶”和“非活体酶”二类。李毕格氏反对这种观点，他認為微生物之所以能使糖发酵并非由于微生物本身的生命活动，而是由于微生物細胞所含有的、沒有生活机能的发酵酶的作用。布克奈氏兄弟(H. Buchner 及 E. Buchner. 1899)用細砂研磨酵母細胞，使之破裂，然后压取汁液，并証明此不含完整活細胞的酵母汁也能使糖发酵。这样才推翻了“活体酶”和“非活体酶”的錯誤概念，并为酶学开辟了新的发展途徑。

戊、早在1878年，革命导师恩格斯即在反杜林論中指出蛋白質与生命現象的关系。他說，“生命是蛋白体的存在形式，这种存在的形式實質上就是在于把这些蛋白体的化学构成要素作經常的自我更新。”他又在自然辯証法中指出，如果有一天用化学方法制造蛋白体成功了，那么它們一定会呈示生命現象和实行新陳代謝，虽然可能是微弱的和短暫的。

己、在1886年，丹尼列夫斯基(А. Я. Данилевский 1839——1923)发现蛋白質的水解产物可藉胃液中酶的催化作用而重新結合成一种类似蛋白質的物質，称为“类蛋白”。在1899年，費齐尔氏(E. Fischer. 1852——1919)合成含有19个氨基酸的多肽。丹尼列夫斯基的类蛋白和費齐尔的多肽虽然都不是真正的蛋白質，但是他們的工作則是人工合成蛋白質的开端。

庚、在1830年，露宁氏(Н. И. Луни 1854——1937)証明一个能够維持动物生存的膳食除含蛋白質、脂肪、糖、盐及水外，还需含有营养所不可缺少的其他物質。在1882年，日本的軍醫高木兼寬用改善营养的措施防治了当时日本海軍中普遍存在的脚气病。在1897年艾克門氏(C. Eijkmans)在雞的身上引起实验性脚气病并进行治疗的研究。在1912年，霍伯金氏(F. G. Hopkins)利用合成膳食以研究动物营养所需要的輔佐因素。在1912年，宋克氏(C. Funk)倡“維生胺”(Vitamine)的学說。这些研究工作是近代維生素研究的开端。

辛、在1897年巴赫氏 (A.H. Бак 1857—1946) 認為生物體內的氧化過程與过氧化物的生成有密切關係。在1908年，巴拉金氏 (В.И. Паладин 1859—1922) 認為植物體內氧化過程的主要催化劑是呼吸色素元。在此之後，瓦布氏 (O. Warburg) 倡生物氧化的氧激活說；維蘭氏 (H. Wieland) 倡生物氧化的氫激活說；凱林氏 (D. Keilin) 倡生物氧化的細胞色素傳遞體學說。這些學說奠定了近代生物氧化研究工作的基礎。

在本世紀的初期，我國的生物化學家在血液分析、蛋白質化學，免疫化學及營養學方面都有一定的貢獻。在血液分析方面，血濾液的製備方法及血糖的測定方法至今仍為世界各實驗室所採用。在蛋白質化學方面，變性學說是世界公認的有價值的貢獻。在免疫化學方面，我國的學者首先以定量分析的方法來研究免疫反應的機制。在營養方面，我國的學者比較雜食與素食的不同，從而確定了改善我國人民營養的依據。這些工作應該可以作為我國生物化學的發展基礎，可惜當時的政府並未加以支持，因而限制了它的發展。在抗日戰爭及解放戰爭期間，這些工作完全停頓，誠堪惋惜。解放後，由於黨和政府的關懷及扶植，久被忘棄的生物化學研究工作又蓬勃開展。在1956年所規定的自然科學研究規劃中，生物化學被列為一種重要的基本科學。全國的綜合性大學及高等醫藥院校正為社會主義的祖國培養大量生物化學人才；中國科學院的生化研究所及中國醫學科學院的生物化學系也在生物化學的各方面進行理論及實踐的研究。我們相信，在最近的將來，我國的生物化學必能在發揚祖國醫學遺產及學習世界各國先進技術的基礎上，趕上國際水平。

I. 近代生化發展的三個階段

在最近的四十餘年中，生物化學的發展極為迅速。發展的過程可以分為三個階段：第一階段的主要內容是利用化學分析的方法來研究各種生物及不同器官的物質組成，並根據物質組成來敘述各種生物及各種器官的性質；所以這一階段可以稱為“敘述生物化學”。第二階段的主要內容是研究生物體內組成物質的代謝變化，以及酶、維生素及激素在代謝過程中的作用；所以這一階段可以稱為“動態生物化學”。在十九世紀的初期，巴甫洛夫 (И.П. Павлов 1849—1936) 利用條件反射的研究方法，證明生物體的一切機能活動，包括物質代謝，都是受着高級神經系統，特別是大腦皮層的統一支配。這一天才工作不獨在生理學上開辟了一個新的領域，同時也將生物化學的發展推進到更高的第三階段，即“機能生物化學”的階段。這一階段的主要內容是聯繫生理機能、中樞神經活動及環境影響來研究生物體內的化學變化。這樣的聯繫既可以是為生理機能奠定化學基礎，也可以是為代謝變化建立生理意義。

上述三個階段是生物化學在發展過程中必經的步驟。它們之間不是彼此脫節，而是互相銜接。如果不先研究敘述生物化學（即測定體內的物質組成），無論如何也不可能了解動態生物化學、機能生物化學也無從發展。換言之，機能生物化學是敘述生物化學及動態生物化學的更高發展階段。

上述三個發展階段不獨前後銜接，而且互相交跨。機能生物化學的階段雖已出現，敘述及動態生物化學的研究工作仍在進行。敘述及動態生物化學方面的新資料可以幫助機能生物化學的發展；機能生物化學的發展又向敘述及動態生物化學提出新要求。

第四節 本課程的內容

前已述及，要研究體內的物質代謝，必須首先了解體內的物質組成。蛋白質、醣及脂肪是人體的主要組成物質也是食物的主要成分；所以討論這三大類物質的化學及生物學性質是

本課程的第一部分。

上述三類物質在實驗室內相當穩定，但在生物體內則經常發生代謝變化。其原因是體內含有促進及調節代謝反應的物質，如酶、維生素及激素等。所以討論這三大類物質的性質，作用以及它們之間的相互關係是本課程的第二部分。

在了解體內組成物質的性質以及酶、維生素及激素的作用之後，我們就進入本課程的第三部分，即物質代謝以及隨着物質代謝而發生的能量代謝。

肝臟是體內的中心實驗室，代謝過程多在其中進行。參加代謝過程的代謝物及產物主要依靠血液輸送；代謝過程的廢物，特別是蛋白質代謝的廢物則主要隨尿排出體外。所以討論肝臟的代謝機能，血和尿的化學成分以及物質代謝對於血和尿的影響是本課程的第四部分。

本課程的第五部分討論神經、肌肉及其他組織的生物化學。這一部分不獨要討論這些組織的化學成分，還要討論這些組織的物質代謝及其與生理機能的关系。

第二章 蛋白質的化學

第一節 蛋白質對生命的重要性

(一) 蛋白質是生命的物質基礎 恩格斯在“反杜林論”中說：生命是蛋白體的存在形式。這種存在的形式實質上就是在於把這些蛋白體的化學構成要素，作經常的自我更新”。他又說：“無論在什麼地方要是我們遇到生命，我們總是看到生命是與某種蛋白體相聯系的；並且無論在什麼地方要是我們遇到任何未處於解體過程中的蛋白體，那麼我們必然看到生命的表現。……我們所知道的最低等的生物，剛剛只是單純的蛋白體，可是這些生物已經表現了一切基本的生活現象”。恩格斯的這些名言明顯的指出了，蛋白質是生命的物質基礎。

(二) 蛋白質是生物體最重要的組成成份 上面恩格斯的幾段話還說明了，一切生物體都含有蛋白質。事實也是如此，蛋白質是所有生物體的重要組成成份。植物體內的有機物質雖然絕大部分都是醣，但其每一個細胞內的原生質主要還是蛋白質。在動物體內的有機組成成份中，蛋白質最多。每一個動物細胞的壁及原生質都主要由蛋白質組成；細胞間的物質也是如此。人體各種器官及組織中蛋白質的含量見表 1。

從表 1. 可以看出，所有器官及組織都含有蛋白質，甚至脂肪組織也含蛋白質約 14% (干重)；在量方面，人體干重的 45% 都是蛋白質，同時某些器官及組織的蛋白質含量甚高，例如脾臟、肺臟及橫紋肌等所含的蛋白質甚至達到其干重的 80% 以上。由此可見，蛋白質是人體最重要的組成成份。

(三) 蛋白質的生物學性質 蛋白質不但在量上，除水之外是構成人體最重要的成份，而且還在體內一切生命活動過程中起着催化、管制及調節等作用，同時也與生長、繁殖、感覺及運動等機能有密切的關係。

(甲) 催化作用——酶。現已發現的酶都是蛋白質。體內的各種分解及合成代謝都是由這些酶促成。例如，食物在腸內的消化，在細胞內的氧化都是屬於體內的分解代謝，都是由酶促成。酶還促成各種組織的生長及修補。組織的生長及修補都是屬於體內的合成代謝；兒童的成長、成年人體重的增加也都是合成代謝的顯著例子。

(乙) 調節作用——激素。有些激素是蛋白質；在體內具有管制及調節代謝的作用，例

胰岛素有调节血糖浓度的作用，能将血糖浓度降低。

(丙) 生长及繁殖机能——核蛋白对于生物的生长及繁殖机能，遗传及变异特征都起主导作用。

核蛋白本身，为晶体的病毒及嗜菌体，在适当的环境中，就能生长和繁殖。

(丁) 感觉机能——蛋白质在中枢神经系统的活动中起着主要的作用。

(戊) 运动机能——肌肉的收缩完全是肌原纤维中肌动球蛋白所表现的作用。

(己) 种特异性——蛋白质还具有种属特异性。在不同种类动物体内，蛋白质分子的化学组成及结构都不完全相同，所以不同种类动物都各具有特有的蛋白质。一种动物的特有蛋白质对于另外一种动物来说即是异种蛋白质。当异种蛋白质未经消化即直接进入体内后，体内为消除这种外来物，即会产生一种特殊的物质，能与这种异种蛋白质起沉淀或凝集反应。这种作用就叫作免疫作用。在免疫作用中，异种蛋白质称为抗原，与抗原起沉淀反应的物质称为抗体。抗体也是蛋白质。免疫作用就是蛋白质种属特异性的一种表现。

第二节 蛋白质的分子组成

(一) 蛋白质的元素组成

C	50—55%
H	6—7.3%
O	19—24%
N	14—19% (平均为16%)
S	0—4%

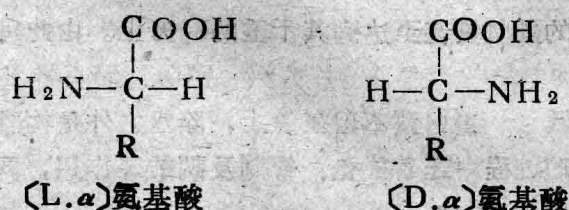
有时也含磷、铁、铜、碘、锌等；其中除碘之外，都不是构成蛋白质基本单位（氨基酸）的元素。

(二) 蛋白质的水解

大的复杂的蛋白质分子可为酸、硷或酶水解成为小的较简单的化合物，如胨、胍、肽、肽、肽及氨基酸等。单纯蛋白质的水解最终产物中只含有氨基酸，足见氨基酸是蛋白质分子的构造单位。

(三) 氨基酸

1. 氨基酸的一般构造。氨基酸是含氨基（ $-NH_2$ ）的有机酸，构成蛋白质的氨基酸（即天然氨基酸），除脯氨酸及羟脯氨酸（亚氨基酸）之外，都是 α 氨基酸；除甘氨酸之外，其立体的构造都是属于L型。



在自然界中，少数几种d构型的 α 氨基酸亦已发现。

I. 氨基酸的分类

甲、脂肪族氨基酸

1. 一氨基一羧基酸 除一般直链的一氨基一羧基酸之外，还包括含羟基及含硫的氨基酸。

2. 一氨基二羧基酸

3. 二氨基一羧基酸

乙、芳香族氨基酸

丙、雜环氨基酸

1. 亚氨基酸

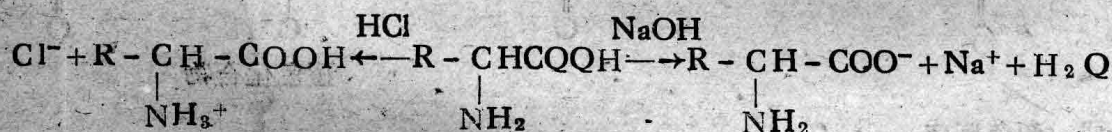
2. 其他雜环氨基酸

II. 氨基酸的理化性質

甲、一般物理性質 氨基酸都是白色結晶体，能溶于强酸及强硷溶液中；其在水中的溶解度則大小不一。

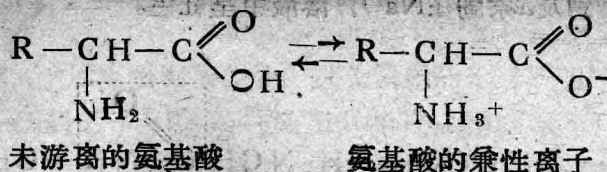
除甘氨酸外，天然氨基酸都具有旋光性。L系氨基酸具有苦味或无味。

乙、两性游离与等电点：氨基酸分子中含有羧基及氨基，故在酸性溶液中游离成阳离子，在硷性溶液中游离成阴离子



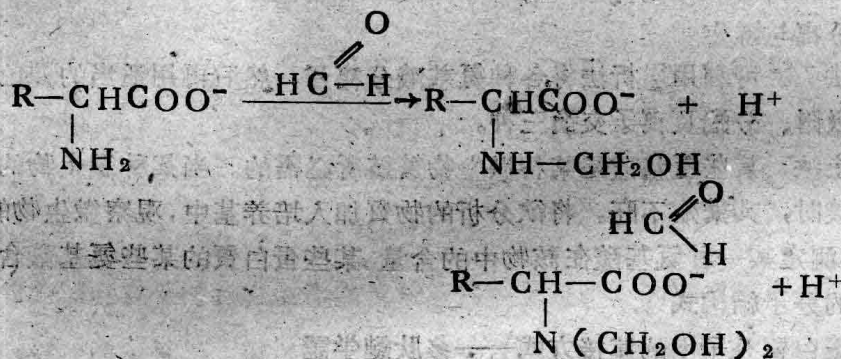
氨基酸在溶液中游离成阳离子与游离成阴离子相等时的PH即是氨基酸的等电点。

在等电点时，氨基酸是未游离分子与两性游离分子的混合物。所謂两性游离分子，就是在同一分子上形成等量的阳离子及阴离子，故亦称兼性离子。



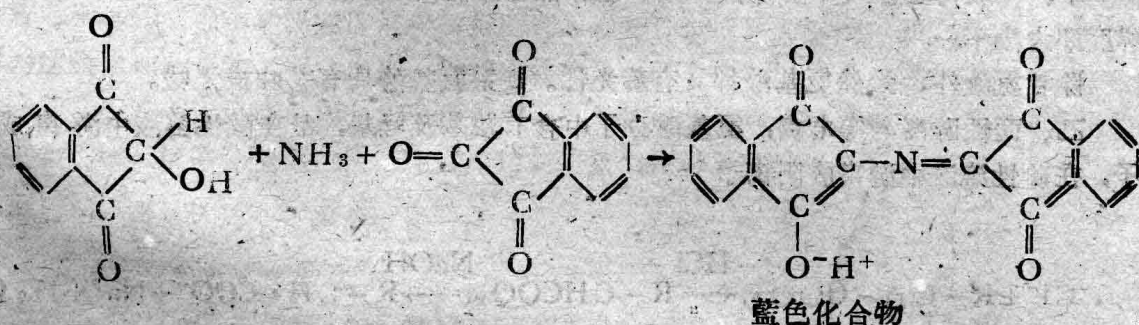
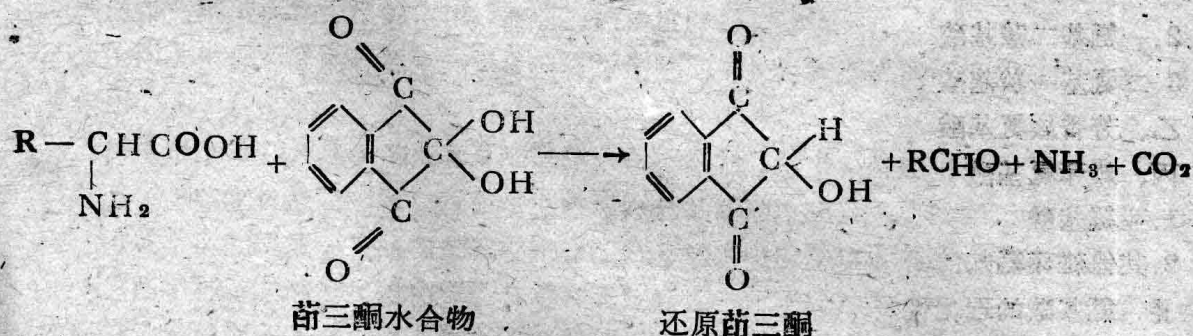
各种氨基酸的等电点各不相同，大多数是小于7.0（見表3）

丙、甲醛反应 氨基酸的氨基能与甲醛化合成羥甲氨基衍生物：



与甲醛化合后，氨基酸的羧基可被硷滴定。这是甲醛滴定的原理。

丁、茚三酮反应



戊、颜色反应

含苯环的氨基酸呈蛋白黄色反应

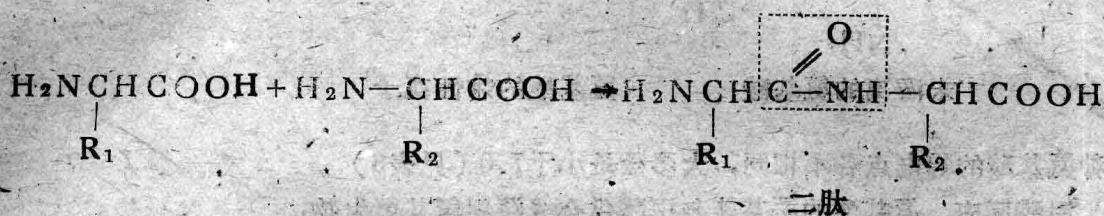
含酚基的氨基酸呈米伦氏反应

含吡啶基的氨基酸呈乙醛酸反应

含硫的氨基酸呈硫的反应

含胍基的氨基酸与次溴酸钠及α萘酚在NaOH溶液中呈红色。

己、缩合成肽



肽分子中两个氨基酸之间的连接键称为肽键。

IV. 氨基酸的分离与鉴定

甲、色层分析法 可利用层析法将各种氨基酸分离开，然后再用适当的颜色反应来鉴定。层析法可分为吸附、分配及离子交换三种。

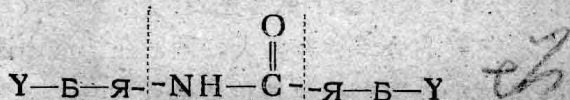
乙、微生物鉴定法 某些氨基酸是某种微生物繁殖所必需的。当某种微生物的培养基中缺少其必需的氨基酸时，其繁殖不旺。将欲分析的物加入培养基中，观察微生物的繁殖率，再与对照相比，即能测定某一种氨基酸在该物中的含量。某些蛋白质的某些氨基酸含量见表4。

(四) 蛋白质的分子结构式

I. 氨基酸在蛋白质分子中的连接方式——多肽键学说

(甲) Данилевский 氏在研究双缩脲反应之后指出，在蛋白质分子中氨基酸的特殊结合

方式是一 $\text{C}-\text{N}$ 键，他将蛋白质分子中两个氨基酸之间的连接方式表示为



(乙) Fischer氏发展 Данилевский氏的概念, 提出肽键学说, 并认为蛋白质分子中氨基酸间的主要连接方式为肽键。故由两个氨基酸藉肽键合成的化合物称为二肽, 由三个氨基酸合成的称为三肽, 由四个氨基酸合成的称为四肽, 依此类推。Fischer氏曾用十九个氨基酸制成一个多肽。他合成的多肽也具有双缩脲反应, 并且其他的物理及化学性质与蛋白质者, 特别与蛋白质衍生物(如脲)者很近似。

I. 多肽键的结构和性质

甲、开链多肽 体内一些激素如催产素, 加压素及促肾上腺皮质激素等, 都是开链多肽, 许多蛋白质如蚕丝, 毛发中的硬蛋白, 胰岛素等, 也都具有开链多肽的结构。

乙、环状多肽 最简单的环多肽是环二肽, 即二酮吡嗪类物质。

Зелинскый氏认为二酮吡嗪是蛋白质分子的组成单位。近年已知某些抗生素与生物碱是环状多肽; 例如苏联短桿菌肽C、短桿菌酪肽及多粘桿菌肽D都是环十肽, 伞菌毒素是环七肽, 桿菌肽A是具有枝链的环六肽。

某些蛋白质也具有环状多肽的结构; 例如卵清蛋白与肌球蛋白等。

II. 蛋白质分子中的其他结合键 近来证实, 蛋白质分子中的氨基酸主要是以肽键连接成肽, 也可能含有二酮吡嗪; 由这种方式连接成的多肽键之间, 还有以二硫键、氢键、盐键、醚键及脂键等相连接者, 这些都可看作是构成蛋白质分子的副键。

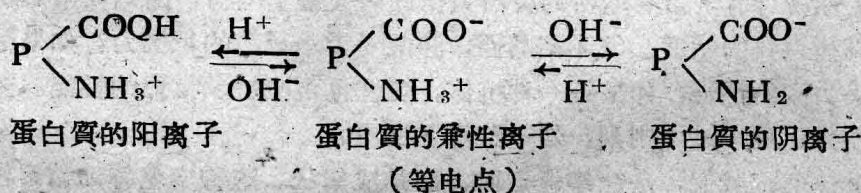
(五) 蛋白质人工合成工作的进展 人工合成蛋白质是可能的。在弄清楚蛋白质分子的构造及其他性质以前, 人工合成蛋白质尚有困难。

甲、Ланилевский氏的工作: Ланилевский氏用胃蛋白酶将蛋白质水解, 再将水解产物浓缩并调节其PH至4然后再用胃蛋白酶促进此浓缩的水解产物重新合成, “类蛋白质”。

乙、Бреслер氏的工作: Бреслер氏用5,000至10,000大气压力将蛋白质的不完全水解产物(五肽、六肽或七肽)在酶的作用下, 再合成为蛋白质近似的物质。

第三节 蛋白质的性质

(一) 蛋白质的两性游离及等电点 蛋白质分子是由许多氨基酸分子所组成, 含有若干自由的氨基及羧基, 所以蛋白质也象氨基酸那样, 是两性电解质。



蛋白质的等电点是随其自由氨基及羧基的数量及相对的游离程度而定。

二蛋白质的分子量 蛋白质的分子非常巨大, 容易变性; 在溶液中还常以分子集体存在。因此在测定蛋白质的分子量时, 沸点升高法及冰点降低法都不太适用, 测定蛋白质分子量的方法常用的有沉降率法。在超速离心机中, 若离心力超过扩散力时, 蛋白质分子即沉降; 其沉降速度与分子量成正比, 故测定沉降速度, 即能推算出蛋白质的分子量。

Svedberg 氏用此法測定出許多种蛋白質的分子量（見表5）

（三）蛋白質的胶态性質 蛋白質的分子量非常大，同時在溶液中還常以分子集合體存在，所以蛋白質在水溶液中具有胶体的性質。蛋白質形成的胶体是親水胶体，是因水合作用及帶有電荷而穩定；若將蛋白質的胶体溶液的 pH 調節到等電點（去電荷），再經脫水作用，則變為不穩定的顆粒，稍久即成沉淀；或先將帶電荷的胶体顆粒脫水，使其變成懸胶，再將溶液的 PH 調節至等電點，亦可變成不穩定的顆粒而下沉（見圖6）

（四）蛋白質的沉淀、變性及凝固

I. 蛋白質的沉淀 蛋白質在水溶液中是以親水胶体的狀態存在，故要使蛋白質從溶液中沉澱出來，必須破壞其水膜，中和其電荷。另外，用重金屬鹽或某些酸與蛋白質形成更複雜的鹽，也可以使蛋白質從胶体溶液中沉澱出來。

（甲）鹽析 加大量礆金屬的中性鹽于蛋白質溶液中，可破壞蛋白質胶粒的水膜，也可壓縮胶粒周圍的電雙層而中和其電荷，因此蛋白質即會從溶液中析出。這就是蛋白質的鹽析作用。鹽析蛋白質時常用的中性鹽有硫酸銨，硫酸鈉及氯化鈉等。不同種類的蛋白質鹽析時所需要中性鹽的濃度不同；因此，適當控制所加中性鹽的量，可以分離溶液中不同種類的蛋白質。

（乙）重金屬鹽及某些酸的沉淀作用 重金屬鹽（如氯化汞，硝酸銀、硫酸銅、醋酸鉛、氯化鐵等）的金屬離子能與蛋白質的酸性基結合，並成為不溶物而沉澱出來。某些酸（如苦味酸、磷鎢酸、鞣酸、三氯醋酸、偏磷酸等）能與蛋白質的礆性基化合，並成為不溶物而沉澱出來。這樣看來，重金屬鹽及某些酸沉淀蛋白質的作用主要是形成不溶的更複雜的蛋白質鹽，因而從溶液中析出。

（丙）脫水作用 甲醇、乙醇及丙酮等能脫去蛋白質胶粒表面的水膜。如在蛋白質溶液中，特別在蛋白質等電點的溶液中加入這種化合物，蛋白質胶粒即會聚集而沉澱。

II. 蛋白質的變性凝固 天然蛋白質具有一定的氨基酸成分，組成一定的結構，因此也有一定的化學、物理及生物學性質。蛋白質的結構非常複雜，稍經物理或化學方法處理，即可改變。結構若有改變，其各種性質也因之改變。性質改變了的蛋白質，稱為變性蛋白質；使蛋白質變性的作用稱變性作用。

能使蛋白質變性的化學藥品及物理方法甚多。屬於化學藥品者有強酸、強礆、重金屬鹽、尿素、酒精及丙酮等。屬於物理方法者有乾燥，加熱、振盪、紫外光及X光的照射等。

蛋白質變性後的最顯著表現，為溶解度的降低；此種降低在等電點時特別明顯。在等電點時溶解度特別低的原因可能是帶有電荷的蛋白質在此時失去了電荷，因此互相團聚而析出。變性作用可增高蛋白質的粘度，破壞結晶性，減低對於水解酶的抵抗力。如果蛋白質是一種酶，變性後就失去酶的活性，如果是一種抗體，變性也可減低其抗體的性能。

蛋白質的變性作用，如不過于劇烈，是一種可逆反應。

變性蛋白質因其溶解度減低，故在等電點時，即結成絮狀。這種變化稱為結絮作用。若使溶液的 pH 離開等電點，絮狀物仍能溶解。但絮狀物一經加熱，即凝固成塊，這就是蛋白質的凝固作用。凝固了的蛋白質不易被稀酸或稀礆溶解。

關於蛋白質變性作用的學說甚多。我國一些生物化學家根據多年的研究結果，約在三十年前即提一個國際公認為最合理的變性學說。根據這個學說，天然蛋白質的多肽鏈依賴一些副鍵，按照一定排列次序，構成緊密的結構。變性作用破壞了這些副鍵，使排列的次序紊亂，緊密的結構成為疏松散漫。若變性蛋白質分子互相撞遇而纏結，則結成絮狀或凝固成

塊。

第四节 蛋白質的分类及各类蛋白質的性質

(一) 蛋白質的分类 蛋白質的化学构造复杂，目前尚不能完全按照化学结构将其分类，但可根据物理（特别是溶解度）及某些化学组成而区分之。按照化学组成，可简单将蛋白質分为单纯蛋白質及结合蛋白質两大类。单纯蛋白質的水解最终产物只是氨基酸，足見其分子只由氨基酸所组成。结合蛋白質是单纯蛋白質与非蛋白質物质（或称辅基）结合而成，故在其水解液中，除氨基酸之外，还有其他的物质存在。

单纯蛋白質，主要按其溶解度的不同，又可分为：清蛋白类、球蛋白类、谷蛋白类、醇溶谷蛋白类、硬蛋白类、组蛋白类及鱼精蛋白类。

结合蛋白質，按其辅基的不同，又可分为：核蛋白类、色蛋白类、醣蛋白类、磷蛋白类及脂蛋白类。

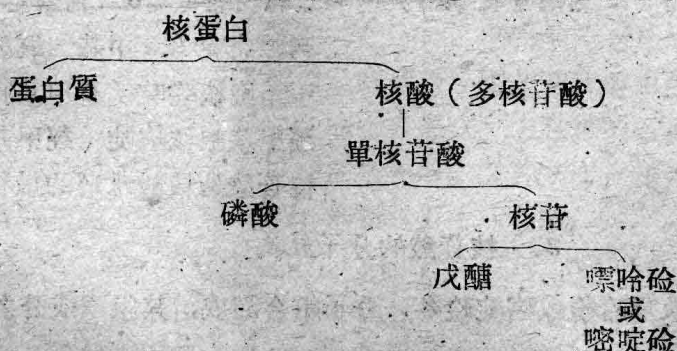
(二) 单纯蛋白質 单纯蛋白質有上述七大类。现仅将清蛋白类及球蛋白类作为例子，简述于后。

清蛋白及球蛋白在自然界中分布甚广，几乎同时存在于许多种动植物组织中：例如，卵清蛋白与卵球蛋白，乳清蛋白与乳球蛋白，血清清蛋白与血清球蛋白，豆清蛋白及豆球蛋白等。清蛋白之分子量比球蛋白的要小，能溶于水及中性盐溶液中，而球蛋白则不溶于水而仅能溶于稀盐溶液中。在用同一种中性盐盐析时，清蛋白在盐的浓度很大时方能析出，而球蛋白则在盐浓度较小时即可沉淀出来。例如，血清球蛋白在半饱和的硫酸铵溶液中即沉淀出来，而血清清蛋白则必需在饱和的硫酸铵溶液中才能析出。

(三) 结合蛋白質 在结合蛋白質中以核蛋白及色蛋白类中的血红蛋白对于医务工作者较为重要。核蛋白是一切生物的细胞中不可缺少的物质，而血红蛋白则是红血球中最主要的蛋白質。现仅将它们分述于后。

I. 核蛋白 核蛋白是动植物细胞核的主要组成成分，胞浆中也有小量存在。细菌，噬菌体及病毒也都含有核蛋白；某些噬菌体及结晶的病毒还是纯粋的核蛋白。由此可见，核蛋白在生物界分布之广，的确是一切生物所不可缺少的物质。

核蛋白是蛋白質与核酸组成的一类结合蛋白質，其水解过程可表示如下：

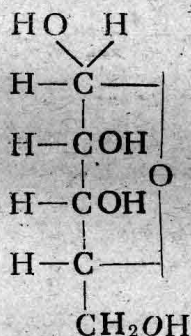


按照其辅基（核酸）所含戊糖的不同，核蛋白可分为核糖核酸蛋白及脱氧核糖核酸蛋白两种。在生物体内的功用上，核糖核酸蛋白参与蛋白質的合成，而脱氧核糖核酸蛋白则与细胞的繁殖有关。

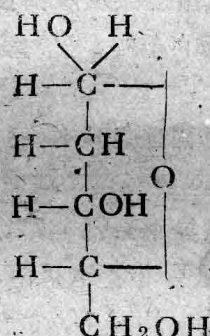
(甲) 核酸的分子组成 核蛋白是由蛋白質与核酸结合而成。其蛋白質部分的化学可参看本章前数节。已发现的核酸有核糖核酸及脱氧核糖核酸两种，其组成成分如下：

	核糖核酸	脫氧核糖核酸
磷酸戊糖嘧啶嘧啶	磷酸核糖腺嘌呤，鳥嘌呤胞嘧啶，二氧嘧啶	磷酸脫氧核糖腺嘌呤，鳥嘌呤胞嘧啶，胸腺嘧啶（一般生物） 胞嘧啶，胸腺嘧啶，甲基胞嘧啶（多数动植物組織） 胸腺嘧啶，羥甲基胞嘧啶（大腸桿菌，噬菌体）

1. 核糖及脫氧核糖的結構

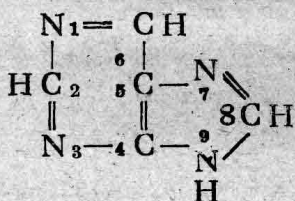


D核糖

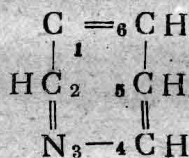


D-2-脫氧核糖

2. 嘌呤及嘧啶的構造



嘌呤



嘧啶

腺嘌呤（6 氨基嘌呤）

鳥嘌呤（2 氨基 6 氧嘌呤）

胞嘧啶（2 氧 6 氨基嘧啶）

二氧嘧啶（2,6 二氧嘧啶）

胸腺嘧啶（5 甲基二氧嘧啶）

甲基胞嘧啶（5 甲基胞嘧啶）

羥甲基胞嘧啶（羥甲基胞嘧啶）

核苷酸是核酸水解的最初

3. 核苷酸的分子結構

产物，由磷酸，戊糖及嘌呤或嘧啶各一分子組合而成，其組成成分之間的連接关系如下：

核 苷 酸

嘌呤或

核糖或

嘧啶……

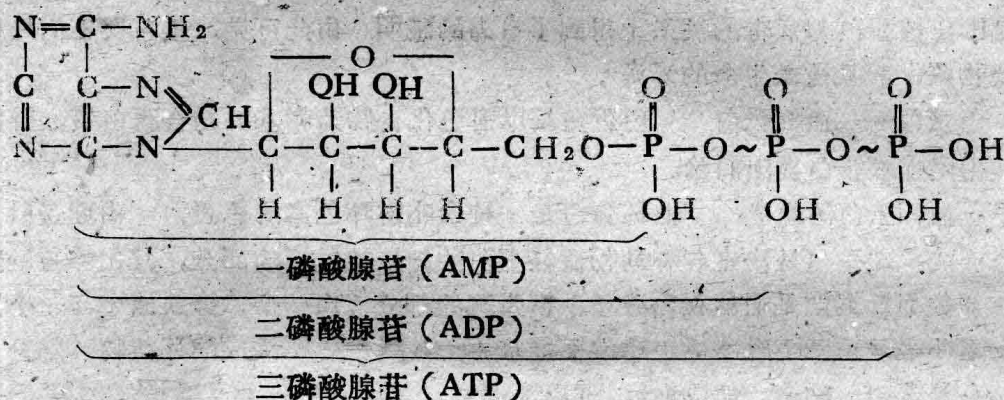
……脫氧核糖……

磷酸

核苷

磷酸酯

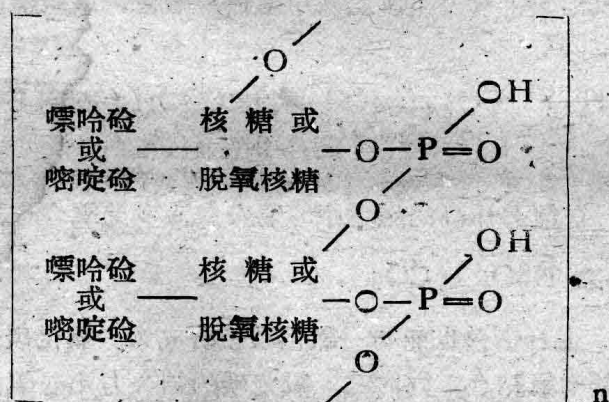
体内自由存在的核苷酸，有单核苷酸及二核苷酸等，种类很多，依其含嘌呤或嘧啶的不同而异；在单核苷酸中有含一个磷酸基者有含两个者，也有三个者，如一磷酸腺苷，二磷酸腺苷及三磷酸腺苷等就是常见的例子。



上式中磷酸与磷酸之间的结合键含能甚高（约为 12000 卡）故称高能磷酸键，习惯以 ~ 表示之。

4. 核酸的分子结构

核酸是许多个单核苷酸缩合而成的，其分子结构可简单表示如下：



(乙) 核蛋白与病毒 病毒是比细菌还小的致病物质，能使动物、植物及细菌发生疾病。使细菌发生疾病的病毒，一般称为噬菌体。病毒的体积甚微小，在普通显微镜下不能看见，并且也能通过一般生物所不能通过的滤膜，因此常称为滤过性病毒。病毒只能在生物细胞内生长繁殖，且具特异性，即一种病毒只能在一定种类的寄主体内生长繁殖，并使其发生疾病。这种特异性也可能改变，以适应新环境。多种病毒也能使寄主产生免疫作用。由于这些原因，病毒常被認為是一些不能看见的有生命的物体。

Stanley 氏在 1935 年从感染有斑纹病的烟叶中，提出一种高分子量（四千万）的蛋白质晶体，此种结晶的蛋白质具有烟叶斑纹病毒的一切性质，能在健康的烟叶上生长繁殖，并使烟叶发生斑纹病。因此，他认为这种结晶蛋白质就是纯粹的烟叶斑纹病毒。他还证明此种结晶的蛋白质是 95% 蛋白质与 5% 核糖核酸组合而成的核蛋白。自此以后，许多种病毒都被证明为核蛋白。

人及动物的许多疾病，如天花、黄热病、骨髓灰白质炎、麻疹、腮腺炎、感冒、流行性感冒及马的脑脊髓炎等，都是感染一定的病毒所致，这些病毒也都是核蛋白。一般动物病毒的构造，均较植物病毒复杂，其分子量也较大。

从感染病毒的生物体内提出的结晶蛋白质，在适宜的环境中，不但能使寄主致病，其本身且能生长繁殖。换言之，结晶核蛋白也能表现生命的特征。恩格斯说：“我们所知道的最等生物，刚刚只是单纯的蛋白体，可是这些生物已经表现了一切基本的生活现象”。这一伟大预见已在核蛋白与病毒的关系上得到了有力的证明。由此可见，蛋白质不但是构成生物体的重要物质，而且还是生命的来源。

I. 色蛋白——血红蛋白 色蛋白是以有色化合物为辅基的结合蛋白质，种类繁多，现仅就其中的血红蛋白提出讨论。

(甲) 血红蛋白的组成 血红蛋白是一种含卟啉环色素的色蛋白，由珠蛋白与亚铁血红素相合而成。珠蛋白是决定各种动物血红蛋白的种属特异性的部分，其化学与一般蛋白质的无异。亚铁血红素则是血红蛋白分子中携带氧的部分，由一个二价铁原子与一个原卟啉结合而成。原卟啉是由四个吡咯衍生物借甲烯基（ $-\text{CH}=\text{}$ ）连接成的环状物。四分子亚铁血红素与一分子珠蛋白结合，即成血红蛋白。

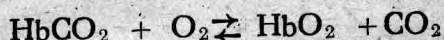
(乙) 血红蛋白的衍生物

1. 氧合血红蛋白 血红蛋白在体内的功用主要是携带氧，与从肺吸入的氧气结合，随血流将氧输送到各个组织。血红蛋白与分子氧结合的物质，称为氧合血红蛋白。

2. 氨基甲酸血红蛋白 血红蛋白在体内还有携带二氧化碳的功用其珠蛋白所含的自由氨基能与生物氧化产生的二氧化碳化合，生成氨基甲酸血红蛋白，从组织随血流而运送到肺，再呼出体外。



氨基甲酸血红蛋白极不稳定；在氧分压高的环境中容易分解而变为氧合血红蛋白。



3. 一氧化碳血红蛋白 血红蛋白也能与一氧化碳结合成为一氧化碳血红蛋白。血红蛋白与一氧化碳结合后，就不能与氧结合，同时与一氧化碳的结合力比与氧的结合力约大 210 倍，所以在含有一氧化碳的空气中，人及动物常因缺乏氧而死亡。煤气中毒就是这个原因。一氧化碳血红蛋白在氧的分压高的环境中，还可变为氧合血红蛋白，所以煤气中毒被发觉较早者仍可用纯氧或人工呼吸以急救之。

4. 高铁血红蛋白 血红蛋白或氧合血红蛋白能被氧化剂（如高铁氰化钾）氧化成为高铁血红蛋白。高铁血红蛋白无带氧的功能，其辅基称为高铁血红素。高铁血红素能被还原剂（如 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ） $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 等。还原成亚铁血红素。

5. 氯化血红素 血红蛋白与氯化钠及醋酸混合摇盪，即会生成氯化血红素。氯化血红素分子中的铁是三价。氯化血红素容易形成结晶，且具有一定的晶形，在显微镜下极易识别，故常被利用为血液定性的一种方法。