

金世琳 编

乳 蛋 白 质

乳品生物化学

下 册

轻工业出版社

乳品生物化学

下册

乳蛋白质

金世琳 编

轻工业出版社

内 容 提 要

本书为《乳品生物化学》的下册,内容为乳蛋白质部分,着重叙述乳中的蛋白质。共分五章,第一章叙述乳蛋白质的生物合成和分泌,介绍乳腺前体物质、乳蛋白质的生成、泌乳以及乳中的其他蛋白质。第二章叙述乳蛋白质的不均一性和分级分离,介绍乳蛋白质的命名和组成,乳蛋白质的分子特性,乳蛋白质的分级分离,乳蛋白质的结构和构象,乳蛋白质的微观不均一性,泌乳后蛋白水解作用。第三章叙述乳蛋白质的电学性质和乳蛋白质的缔合,介绍滴定曲线、电泳;与离子和小分子的缔合,与大分子的缔合,离子结合及酪蛋白的沉淀,酪蛋白胶束,乳清蛋白。第四章叙述工艺过程对乳蛋白质的影响,介绍加热对乳蛋白质的影响,蛋白质分解酶及其对乳蛋白质的作用。第五章叙述乳蛋白质的营养作用,介绍乳蛋白质的营养价值评价,必需氨基酸的供给,乳蛋白质对食品营养价值的增进,乳蛋白质的食用价值,婴儿喂养中的乳蛋白质。

本书可供乳品科研人员,乳品厂技术人员以及轻工院校食品专业师生参考。

乳品生物化学

下册

乳蛋白质

金世琳 编

轻工业出版社

北京前门大街26号

电话: 6391411

北京发行所

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张, 7¹/₂, 插页, 2, 155千字

1988年11月

第一版第一次印刷

印数, 1—3,000

定价 3.00元

ISBN7-5019-0518-5/TS·0358

前 言

本书为《乳品生物化学》的下册，下册内容为乳蛋白质部分，着重叙述乳中的蛋白质。共分五章，第一章叙述乳蛋白质的生物合成和分泌，介绍乳腺、乳蛋白质的前体物质、乳蛋白质生物合成中的分子状态、蛋白质的变更和泌乳中的膜的流动以及乳中的其他蛋白质，如血蛋白和细胞组分等。第二章叙述乳蛋白质的不均一性和分级分离，介绍乳蛋白质的命名和组成，包括氨基酸、多肽和蛋白质的一级结构；乳蛋白质的分子特性；乳蛋白质的分级分离；乳蛋白质的结构和构象；微观不均一性和泌乳后蛋白水解作用。第三章叙述乳蛋白质的电化学性质和乳蛋白质的缔合，包括滴定曲线、电泳、与离子和小分子的缔合、与大分子的缔合、离子结合及酪蛋白的沉淀、酪蛋白胶束和乳清蛋白，包括酪蛋白胶束的形态，酪蛋白胶束的构成成分，酪蛋白胶束成分间的相互作用和酪蛋白胶束稳定性的破坏。在介绍乳清蛋白中包括乳清蛋白的特性、热变性、乳糖的影响、pH的影响、钙离子的影响和乳清蛋白的功能特性。第四章叙述工艺过程对乳蛋白质的影响，介绍加热对乳蛋白质的影响和蛋白质分解酶及其对乳蛋白质的作用。第五章叙述乳蛋白质的营养作用，介绍乳蛋白质的营养价值评价，必需氨基酸的供给，食品营养价值的增进，乳蛋白质的食用价值和婴儿喂养中的乳蛋白质，包括配制奶中之蛋白质，母乳与牛乳的蛋白质价值，乳中蛋白质含量和摄取量，必需氨基酸的合适需要量，乳蛋白质不耐症和

乳蛋白质过敏，以及免疫。

由于蛋白质化学涉及的范围非常广泛，本书只能结合牛乳蛋白质简要地叙述一下有关分子化学和胶体化学方面的情况，包括生物合成和泌乳以及乳蛋白质的一些变化和它的功能特性；另一方面结合牛乳的加工工艺过程对乳蛋白质的影响，特别是加热所引起的乳蛋白质一些主要变化，蛋白分解酶对乳蛋白质的影响和乳制品特别是干酪和发酵乳制品生产中的应用等作了简要的基础理论方面的叙述；又因为乳蛋白质在人类食品中其无比的营养价值，和对于婴幼儿喂养中都是不可缺少的营养源，所以在本书最后的第五章中着重介绍了乳蛋白质营养方面的一些有关问题。由于编者水平有限，可能存在许多问题，错误之处也肯定不少，望读者多加指正。

目 录

第一章 乳蛋白质的生物合成和分泌	(1)
第一节 授乳期乳腺	(2)
第二节 前体物质	(4)
第三节 乳蛋白质的生物合成	(5)
第四节 泌乳	(8)
第五节 乳中的其他蛋白质	(10)
第六节 结语	(12)
第二章 乳蛋白质的不均一性和分级分离	(13)
第一节 乳蛋白质的命名和组成	(14)
第二节 乳蛋白质的分子特性	(51)
第三节 乳蛋白质的分级分离	(81)
第四节 乳蛋白质的结构和构象	(88)
第五节 微观不均一性	(102)
第六节 泌乳后蛋白水解作用	(105)
第三章 乳蛋白质的电化学性质和乳蛋白质的缔合	(107)
第一节 滴定曲线	(107)
第二节	(114)
第三节 与离子和小分子的缔合	(117)
第四节 与大分子的缔合	(119)
第五节 离子结合及酪蛋白的沉淀	(129)
第六节 酪蛋白胶束	(130)
第七节 乳清蛋白	(144)

第四章	工艺过程对乳蛋白质的影响	(168)
第一节	加热对乳蛋白质的影响	(168)
第二节	蛋白水解酶及其对乳蛋白质的作用	(183)
第五章	乳蛋白质的营养作用	(193)
第一节	乳蛋白质的营养价值评价	(193)
第二节	必需氨基酸的供给	(199)
第三节	食品营养价值的增进	(201)
第四节	乳蛋白质的食用价值	(205)
第五节	婴儿喂养中的乳蛋白质	(207)
第六节	在儿童、青少年和成人营养中的乳蛋白质	(218)

第一章 乳蛋白质的生物 合成和分泌

近年来，关于乳蛋白质的生物合成及分泌的知识和了解有了很大进展，从很多起端包括血流和各种细胞源，经过许多复杂的途径，前体物质最后会形成乳中的各种成分。其中大部分蛋白质则是于糙面内质网中在遗传控制下，从糙面内质网通过高尔基体和分泌泡，再经进一步在分泌途径中的潜移变化后，与其他的乳成分进入到腔内。这种机制的许多分子状态及其控制，到目前虽已初步了解，但仍然有很多遗留问题有待深入研究。

下面拟围绕乳蛋白质、乳中的血蛋白、乳的生物合成和分泌的一般机制、乳蛋白质的分子状态和在乳的生物合成中及分泌过程中细胞膜的流动关系等各方面加以简要叙述。

现在已经明了乳蛋白质是从一些不同的起源而生成。大部分是从游离氨基酸由具有特殊结构的泌乳细胞在遗传控制下来合成，一些血蛋白也会进入到泌乳中。此外，乳中也会有少量其他蛋白质物质出现，包括分泌细胞和其他类型的细胞。从这些来源而来的蛋白质具有极大的免疫功能和酶功能特性，而且在乳中集中表现为一个复杂的蛋白质系统。在研究乳的合成机制中，虽然可用许多哺乳动物为对象，但对于反刍动物的乳蛋白质系统的研究，特别是脱脂乳部分里面存在的蛋白质，应是我们大量的研究对象，牛乳的正常泌乳中的蛋白质，则是我们研究的重点。至于血蛋白在正常的泌乳中只有很少量存在，但在初乳中和泌乳早期阶段及晚期阶

段含量很高。只是在近年来，才更多地注意到这些少量的蛋白质，在乳的合成和分泌过程中，作为一种“副产物”具有一定的重要性。

第一节 授乳期乳腺

乳腺及其组成细胞，在复杂的内分泌控制下作为一个器官，通过早期阶段的发育，进入到妊娠、泌乳和回归(复旧)的循环中，它是处于一种变化中的激素环境里而起作用。各种激素包括雌激素和黄体酮，无疑会起到促进细胞分裂和形态建成的作用，促进泡和小叶的发育成长。这一进程应是非常谐调地工作，其中特别是激素具有特殊的影响。胰岛素促进泡腔上皮中的细胞分裂；皮质类固醇则促进用来合成泌乳中蛋白质的细胞结构的形成、发育和维护；催乳激素则在泌乳细胞体的起始和功能维护上是必不可少的。

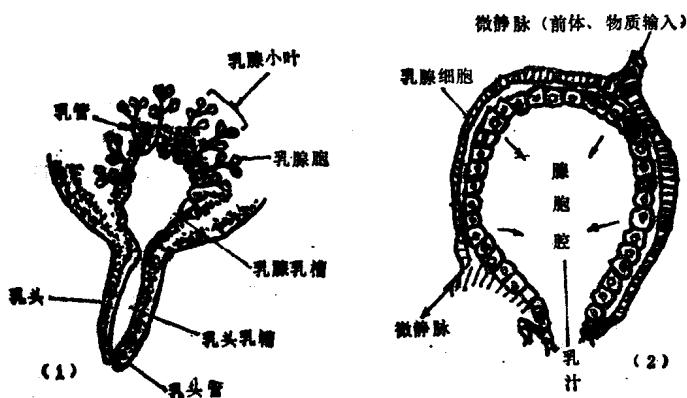


图1-1 乳腺构造及射出乳汁示意图

(1) 乳房断面示意；(2) 乳腺胞断面示意

在分泌细胞中乳蛋白质的合成，是在遗传控制下，每一种蛋白质都是在每个细胞的脱氧核糖核酸（DNA）中，按

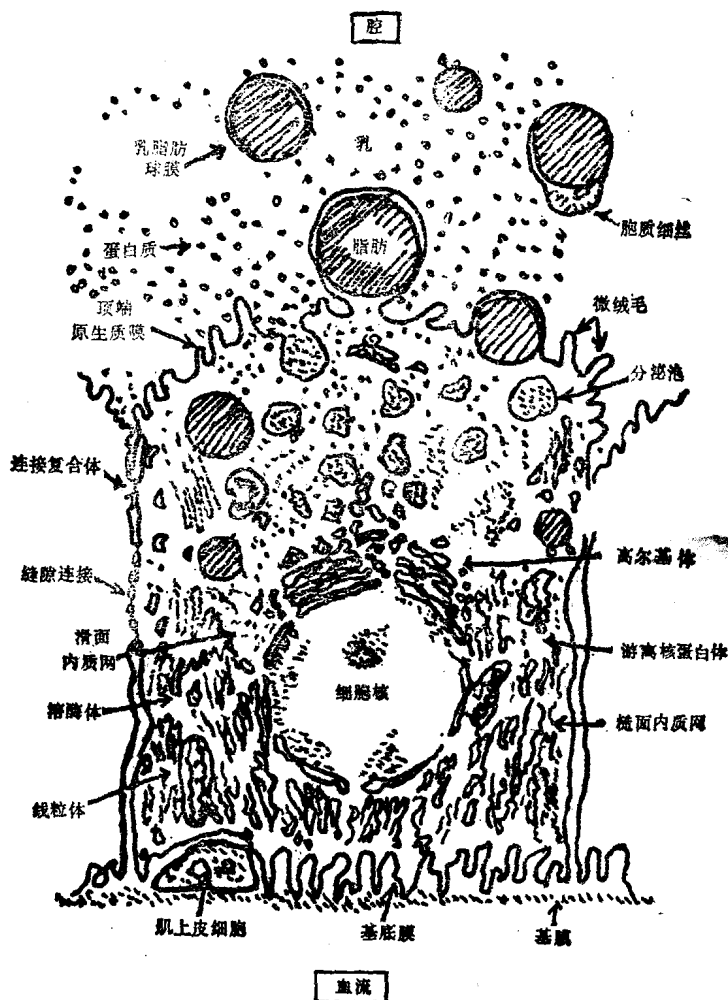


圖1-2 乳腺的分泌上皮中細胞的断面示意图

其遗传密码的排列来合成的。许多乳蛋白质的遗传变异体，是从基因突变所造成。有时蛋白质的不同的遗传变异体，其氨基酸的差别，可能在蛋白质性质上产生显著变化。

乳腺的分泌组织，是在小叶中与每一个所含有的小泡簇丛排列起来，每一个小泡含有一个泌乳细胞的单层，围绕中心腺胞腔来射出乳汁（见示意图图 1-1）。

把这种泌乳细胞的单层叫作乳房的屏障，在血液与分泌的乳汁间，虽然有血管细胞和基膜存在，但血液成分会出现于上皮泌乳细胞屏障的下面和之间的空隙处，形成紧密结合的复体。典型的泌乳细胞构造见示意图图 1-2。

前体物质进入到细胞，再经基底膜形成分泌的乳汁，通过顶端原生质膜射入到胞腔里，这时低分子量物质在接近的细胞之间，通过接点界隙可能有显著的互换。存在于特别的小泡中的所有泌乳细胞，在向胞腔里周期性地排射乳汁动作上是同步的。

图 1-2 中各种细胞器在本书中不准备过多叙述，这里最主要的是糙面内质网，它含有丰富的核糖体，在这里可以合成蛋白质的多肽链；高尔基体则补给修饰体簇，与其他合成组分将蛋白质包起，送到泌乳中。含有蛋白质及其他合成了的乳的非脂质组分的分泌小泡，移动到细胞的顶端部位，然后将其内容物排射到胞腔内（见图 1-1）。

第二节 前体物质

乳蛋白质是从游离氨基酸来合成，其大部分是从血流中吸收而来。细胞对所有的必需氨基酸都一律需要，呈强制性的吸收，大量的非必需氨基酸也从血流而来。氨基酸通过基

底膜，被吸收到细胞里的过程还不太清楚，可能不止是一种系统在起作用，而且全部过程似乎都是有活性地运转。最近的研究表明， γ -谷氨酰胺酶循环，可能是乳腺中显著的氨基酸来源。

关于乳的前体物质（包括氨基酸），通过细胞进入到胞腔里，在那里被用来合成乳的成分的移动情况了解得还很少。用放射性同位素示踪原子标记了的必需氨基酸，在牛体中的移动观察结果，看出呈现大量的示踪元素通过细胞而移动。大约一半的有示踪元素的氨基酸，在10分钟后发现于糙面内质网的中部，30分钟后在高尔基体内和顶端区域出现，100分钟后在腺胞腔内出现于分泌的乳汁中的蛋白质里。

作为泌乳细胞的一般代谢之用的前体物质，并且从它来合成乳中的其他成分的这些前体物质，是从血流中而来。为这些前体物质的初级底物所利用的成分是葡萄糖、乙酸、 β -羟基丁酸、氨基酸和脂肪酸以及矿物质组分。嘌呤和嘧啶核苷是用于DNA及核糖核酸（RNA）的合成和乳糖的合成，及其他细胞功能的形成，它们都是在细胞内来合成的。

第三节 乳蛋白质的生物合成

一、分子状态

乳蛋白质生物合成的全部途径是通过很多阶段，由许多类型的RNA来构成。虽然一般的路径是相同于其他系统，包括以DNA传递遗传信息于信息核糖核酸（mRNA）中，但其在氨基酸中的核糖体水准及多肽链间的迁移，和许多分子状态方面的详细情况，仍然是不甚了解的。

关于蛋白质合成和基因表达的细节，只是从原核生物系

统的研究,才达到了较为更多的了解,如果依此细节去解释具有更为复杂的DNA和细胞间相互关系的真核生物,则很难于阐明清楚。泌乳细胞就是一个例子,含有非常发育了的、与核糖体结合的糙面内质网细胞,可大量地合成少数几种划明白了的蛋白质,成为泌乳中的蛋白质;而与此相对照,那些未与核糖体结合的滑面内质网细胞,则合成多数的细胞蛋白质,而不是泌乳中的蛋白质。

目前,围绕分泌细胞作为一个典型系统,来研究蛋白质合成中基因表达的基本机理,形成了非常吸引人们注意的中心课题,关于泌乳细胞的现时重点工作,是分离并研究mRNA的特性,和由其功能所控制的机理。

为了解mRNA的作用机理,需要体外(试管内)蛋白质合成系统基础的发展,需要制备纯的mRNA为其他蛋白质和其他类型的RNA编码,并且还要鉴定这种从mRNA合成的特殊蛋白质。使用具有功能的mRNA,从许多非乳腺细胞源,来合成不含细胞的蛋白质合成体系,已有所发展。凝胶电泳和其他技术已被用来鉴定由这种体系所合成的特殊蛋白质。

在体外用制备的纯mRNA来对乳蛋白质进行编码,合成不含细胞的蛋白质合成体系中所得蛋白质,与在体内合成的,从正常乳分离的蛋白质之间,在表现分子量上呈现出一些差别。于某些情况下,在体外合成的酪蛋白的主要组分(α_1 -、 β -、 κ -)的分子量呈现一致,但其他组分则不一致。这一现象很难说明清楚,因为酪蛋白组分在体内合成时,有的是被磷酸化了;有的是被糖基化了;另外也可能是在不同的细胞区域里被变更了(见本节二、蛋白质的变更)。

在乳腺细胞中进行乳蛋白质生物合成的机制,总的来

说，是与生物体组织的一般机制，基本上没有什么区别。

乳蛋白质的生物合成是以血液中的氨基酸为出发点，在乳腺细胞中由腺苷三磷酸（ATP）与氨基酸活化酶相反应，生成腺苷二磷酸（AMP）-氨基酸-酶的复合体而被激活。这种活性的氨基酸与在细胞中生成的转移核糖核酸（tRNA）相结合，生成氨酰转移核糖核酸（氨酰tRNA），被送到细胞质的核糖体表面上，在那里按着mRNA传递的遗传密码，来进行蛋白质的氨基酸排列，而形成多肽链的一级结构，再经过二级和三级结构的聚合，而完成为具有立体结构的乳蛋白质的基础分子，从核糖体上离开。这种蛋白质是属于乳白蛋白和乳球蛋白系统的单纯蛋白质。

作为乳蛋白质之主要部分的酪蛋白，乃是属于复合蛋白质之一种的磷蛋白质。为了生成这种蛋白质，多肽链还要与磷酸进行附加反应，是由磷酸化酶的作用，在高尔基体中形成。此外，酪蛋白中的 κ -酪蛋白则含有糖类，也是在高尔基体中由碳水化合物附加，经过糖配巨肽而生成酪蛋白。其他还有从血液而来的血清白蛋白，和初乳中多量存在的免疫球蛋白，也都存在于乳中。

二、蛋白质的变更

随着多肽链的合成，乳蛋白质从位于糙面内质网外层表面上的核糖体中脱离，然后传送到高尔基体，在高尔基体中某些乳蛋白质会产生变更，同时合成乳中的其他组分。乳糖是从葡萄糖和尿苷二磷酸半乳糖，通过膜结合的半乳糖转移酶的间介作用而合成。半乳糖转移酶是与 α -乳白蛋白形成功能酶复合体——乳糖合成酶。高尔基体区域也是分泌细胞中其他葡萄糖转移酶存在的场所，在这里可能和乳蛋白质进行糖基化作用。 κ -酪蛋白就是如此形成的。

酪蛋白的磷酸化可能是由高尔基体中专一性的蛋白质激酶在膜结合的区域产生。乳房组织含有许多蛋白质激酶，具有各种性质，如同其他组织一样，激酶需要二价阳离子，这里 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 都具有功能作用，高尔基体区域成为钙通过膜而被结合到形成中的乳里面去的场所。这些过程大部分都是一种活性运转体系，比如乳糖、矿物质及其他组分都是如此积累起来，水分也是由渗透关系的变化而进入到乳中。

某些蛋白质的选择性分裂，也可能在高尔基体中产生，而且也可能继续进入到乳中。牛乳的 γ -酪蛋白组分是 β -酪蛋白的分裂产物，可溶性状态的某些膜结合的蛋白质，如乳糖合成酶的半乳糖转移酶，也存在于乳中。具有低的蛋白水解活性的纤维蛋白溶酶样的蛋白酶，也存在于乳中。

第四节 泌 乳

一、结构

电子显微镜技术在细胞的显微结构观察中的应用，使人们对于乳的合成和分泌的一般过程以及细胞内路径的了解和阐明，作出巨大贡献。与其他细胞学方面的研究工作相合作，对于特殊的亚细胞结构的分离和特性描述，揭示出了泌乳过程的一般图景（如示意图1-2及图1-3）。

许多小泡中含有乳的各种组分，从高尔基体上变成芽体分离出来，并且向着细胞的顶端部位移动，用电子显微镜观察到小泡中的含有物，显示了乳蛋白质（酪蛋白）集合物的成熟迹象，新形成的泌乳小泡含有长的纤维状蛋白质丝，这明显地表示，此刻的酪蛋白尚未形成折叠，较为成熟的小泡则含有环绕起来的、致密的、着色的粒状，这表示已形成酪蛋

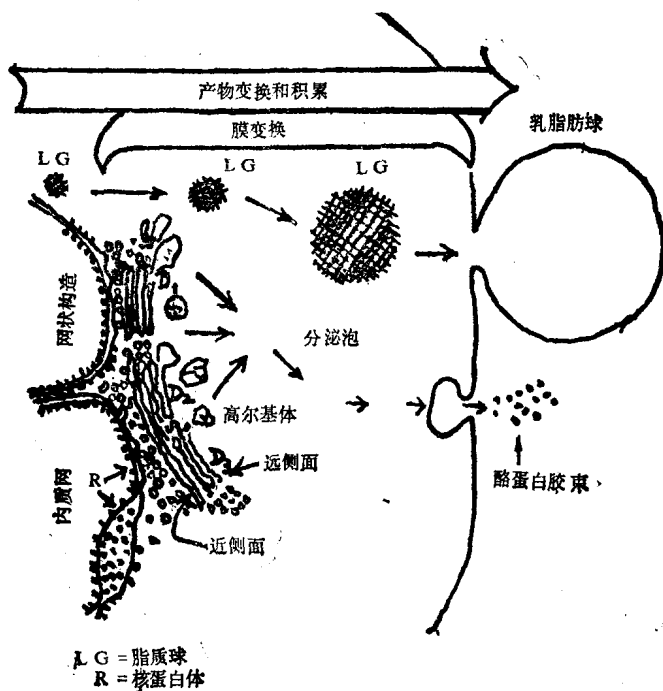


图1-3 泌乳细胞中膜的流动和乳组分的变换与积累的示意图

白胶束，相同于乳中所含酪蛋白的观察结果。脂质小珠，甘油三酸酯的原始组织，在细胞质的另外一处形成，然后也同样移向顶端表面部位，变成凸起的芽体，象一个球，从细胞的顶端细胞质膜分离出来，成为乳中的脂肪球（关于脂肪球请参看本书上册）。

二、膜的流动

乳组分的主要物质，在细胞内移动情况是呈现一种连续的状态。mRNA一定要从细胞核移向糙面内质网中的核糖

体上。合成的蛋白质又从糙面内质网移向高尔基体去进行修饰加工,并与乳的其他成分相会合。然后泌乳小泡移向细胞的顶端部位,与原生质膜融合。脂肪球膜是泌乳过程中的一个极重要部分,它含有许多类型的脂类和蛋白质。其蛋白质中既含有嵌入蛋白质;也含有表在蛋白质,前者牢牢地嵌入固着于脂类基质中;后者则通过离子相互作用,而被结合于表面上。

在对于乳合成的了解中,膜的起源和流动及其蛋白质组分是一个极重要部分,内膜假说及其对泌乳细胞的应用,反映出目前最好的阐明。在膜流动的功能概念中,核膜、内质网,包括糙面内质网和滑面内质网,高尔基体、分泌小泡及顶端原生质膜,都被认为是功能地连结着的。其他膜包括外线粒体和溶酶体也可能包含在内。对于亚细胞膜部分的分离,及分析其脂类成分和蛋白质成分技术的进展,在阐明它们的相互关系中是非常重要的。

第五节 乳中的其他蛋白质

一、血蛋白

某些血液成分的渗出往往是通过乳房屏障,在复合体结合点的漏孔处,进入到非泌乳腺的乳糜管中;或者在泌乳期中处于异常状态,例如乳腺炎感染时也会发生血液成分的渗出。然而在初乳中和正常乳中出现的血蛋白,则可能不是通过上述路径。虽然对于血清白蛋白的存在关系,尚不十分清楚,但我们可以认为不是通过上述路径。乳中的组分,包括蛋白质可能从别的方向,在内旋时流到血液中去,特别是当挤奶停止时形成高的乳房外压,会破坏乳房上皮,具有免疫