牛初乳与牛乳中乳清蛋白质组成及功能的对比分析

乌兰君[1]，杨梅[1]，王满霞[1]，米书慧[1]，吴永锋[1]，武俊瑞[1]，乌日娜[1]，刘彪[2]，岳喜庆[1]
（1.沈阳农业大学食品学院，辽宁沈阳 110866）（2.内蒙古伊利实业集团股份有限公司，内蒙古呼和浩特 010050）

摘要：乳清富含多种功能特性和生物活性的蛋白质，本研究利用 SDS-PAGE 电泳将牛初乳与牛乳中乳清蛋白质的组成部分进行分离鉴定，发现牛初乳与牛乳中乳清蛋白质的组成存在较大的差异，且在牛初乳乳清中鉴定出 290 种蛋白，牛乳乳清中鉴定出 325 种蛋白。由 GO 功能注释分析发现，在生物过程中，牛初乳乳清蛋白在细胞定位建立和细胞定位中的作用略高于牛乳乳清蛋白。在分子功能上酶抑制活性作用是牛初乳乳清蛋白和牛乳中乳清蛋白的主要分子功能。在细胞组成上牛初乳乳清蛋白参与较多的是细胞外部分和细胞外空隙，与牛乳乳清蛋白相比参与的细胞组成大体相同。通过 KEGG 代谢通路分析可知，牛初乳和牛乳乳清蛋白均参与过补体及凝血级联反应通路。对牛初乳乳清蛋白组成进行研究，不仅能够增加牛初乳的利用率，并且为日后以乳清蛋白作为原料生产乳制品提供理论依据。

关键词：牛初乳；牛乳；乳清蛋白；功能分析；KEGG 代谢通路

文章篇号：1673-9078(2017)5-58-63 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.010

Comparative Analysis of Composition and Function of Whey Proteins in Bovine Colostrum and Bovine Milk

WU Lan-jun[1], YANG Mei[1], WANG Man-xia[1], MI Shu-hui[1], WU Yong-feng[1], WU Jun-rui[1], WU Ri-na[1], LIU Biao[2], YUE Xi-qing[1]

(1.College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)
(2.Inner Mongolia Yili Industrial Group Co., Ltd., Inner Mongolia, Hohhot 010050, China)

Abstract: Whey contains proteins with a variety of functional properties and biological activities. Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) was used to separate the whey proteins in bovine colostrum and bovine milk. The results showed significant differences in the whey protein composition between colostrum and normal milk, and 290 and 325 types of proteins were identified in whey from bovine colostrum and bovine milk, respectively. According to the gene ontology (GO) annotations, bovine colostrum whey proteins exhibited a slightly higher impact on the establishment of cellular localization and the cellular localization than normal milk whey proteins. Enzyme inhibition was the main molecular function of whey proteins from bovine colostrum and normal milk. Regarding cellular composition, bovine colostrum whey proteins were involved in the extracellular region and extracellular space, and bovine milk whey proteins showed a similar result. The Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) metabolic pathway analysis suggested that whey proteins from both bovine colostrum and normal milk were involved in the reaction pathways of coagulation and complement cascades. This study of the whey protein composition in bovine colostrum can not only promote the utilization of bovine colostrum, but also provide theoretical foundations for future production of dairy products using whey protein as a raw material.

Key words: bovine colostrum; bovine milk; whey protein; functional analysis; Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) metabolic pathways

乳清蛋白是采用先进工艺从牛奶分离提取出来的珍贵蛋白质，以其吸收率高、纯度高、氨基酸组成最合理等诸多优势被推为“蛋白之王”。乳清蛋白不但容易消化，而且还具有高消化率、高蛋白质功效比、高生物价和高利用率是蛋白质中的精品等特点，是公认的人体优质蛋白质补充剂之一。牛奶的组成中 87%是水，13%是乳固体。而在乳固体中 27%是乳蛋白质，

收稿日期：2016-05-06
基金项目：“十二五”农村领域国家科技计划课题(2013BAD18B03-02)
作者简介：乌兰君（1992-），女，硕士，研究方向：动物性食品加工理论与技术
通讯作者：岳喜庆（1966-），男，博士，教授，研究方向：动物性食品加工

乳蛋白质中只有 20%是乳清蛋白，其余 80%都是酪蛋白，因此乳清蛋白在牛奶中的含量仅为 0.7%[1]。对其营养特点而言，首先在各种蛋白质中，乳清蛋白的营养价值是最高的。一般而言，必需氨基酸种类和含量齐全并能提供人体需要的蛋白质可以称为优质蛋白质，也叫完全蛋白质。乳清蛋白属于优质的完全蛋白质，也是动物性蛋白[2]。它含有人体必需的 8 种氨基酸，且配比合理，接近人体的需求比例，是人体生长、发育和抗衰老等生命活动不可缺少的精华物质[3]。第二，乳清蛋白较易被消化吸收，此外，乳清中富含半胱氨酸和蛋氨酸，它们能维持人体内抗氧化剂的水平还有许多实验研究都证明，服用乳清蛋白浓缩物能促进体液免疫和细胞免疫，刺激人体免疫系统，阻止化学诱发性癌症的发生。所以乳清蛋白又是一种非常好的增强免疫力的蛋白[4,5]。第三，乳清蛋白中脂肪、乳糖含量低，但它含有 β-乳球蛋白、α-乳白蛋白、免疫球蛋白，还有其他多种活性成分[6]。正是这些活性成分使乳清蛋白具备了有益于人体的诸多保健功能，因此它被认为是人体所需的优质蛋白质来源之一[7]。从营养学的角度来看，经动物性蛋白质来源的食物中含有对人体有害的过量饱和脂肪、胆固醇等有害物质，过量食用易导致人体脂肪和胆固醇升高，从而导致心血管疾病的发生[8,9]。通过服用蛋白粉可以在补充蛋白的同时避免这些问题。再加上它服用方便，吸引利用率高，能减少肠胃负担。

近年来，国内外对乳清蛋白的研究实例不是很多，而对牛初乳与牛乳在乳清蛋白质组成及功能上的差异几乎没有报道[10,11]。本试验结合 SDS-PAGE 电泳对牛乳清中主要蛋白进行分析，将酶解后的蛋白进行质谱鉴定，将鉴定后的结果通过 GO 功能注释以及 KEGG 代谢通路进行分析，通过比较初乳和牛乳中乳清蛋白含量的差异，以揭示初乳和牛乳乳清中主要蛋白含量的变化规律。

1 材料与方法

1.1 原料

采集 30 份健康奶牛的牛乳并在实验前进行混合，由沈阳辉山乳业奶牛场提供。

牛血清蛋白，北京索莱宝科技有限公司；测序级胰蛋白酶，上海雅心生物有限公司；丙酮、Na_2HPO_4、NaH_2PO_4、冰醋酸、考马斯亮蓝 G-250、DTT、碳酸氢铵、甲酸和乙腈，北京鼎国生物试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

高速冷冻离心机，上海翼悭机电有限公司；超声波清洗器，北京佳源兴业科技有限公司；真空冷冻干燥机，上海比朗仪器制造有限公司；小型垂直电泳槽：美国 Bio-Rad 公司；毛细管高效液相色谱，美国 Agilent；LTQ VELOS 质谱仪，赛默飞世尔科技。

1.3 实验方法

1.3.1 牛初乳和牛乳的乳清蛋白的提取

分别取牛初乳和牛乳各 50 mL 乳样，在 4 ℃，10000 r/min 离心 15 min，分离获得乳脂肪部分和下层乳清、乳粒部分。将上层的乳脂肪用 PBS 清洗三次，每次清洗时 80 W 超声 15 min。将清洗后的乳脂部分在 4 ℃，12000 r/min 离心 30 min，下层的样品即乳清、乳粒部分，将下层样品继续在 4 ℃，12000 r/min 离心 45 min，收集上清样品，沉淀即为乳粒样品的粗提物。上清样品利用等电点法除去酪蛋白后，即为乳清部分。加入适量预冷的丙酮沉淀，收集乳清蛋白样品，冻干待用。

1.3.2 乳清蛋白的 SDS-PAGE 电泳及定量分析

用 5%浓缩胶和 12%分离胶，分离胶电泳 30 min，浓缩胶电泳 1 h。初乳乳清稀释 40 倍后上样，牛乳稀释 5 倍后上样，上样量均为 8 μL。通过 Bio-Rad 凝胶成像系统观察 SDS-PAGE 电泳结果[12]，利用 Quantity One 软件的 Volumes Quick Guide 分别对电泳条带及各蛋白条带进行定量分析，并用 BandAnalysis 对泳道内的蛋白条带进行分子量确定，以低分子 marker 标准为参比，得到所需蛋白条带分子。

1.3.3 蛋白样品酶解

每组乳清样品取 200 μg 进行酶解，使用 HU buffer 调整样品体积为 40 μL。加入 DTT 至终浓度为 10 mM，37 ℃孵育 1.5 h 后加入 IAA 至终浓度 50 mM，600 r/min 振荡 1 min，避光室温 30 min。每个样本加入 100 μL、25 mM 碳酸氢铵溶液，混匀后加入 2 μg 的 Lysyl C，室温反应 3 h。再向反应体系中加入 250 μL、25 mM 碳酸氢铵溶液，加入 10 μL Trypsin（20 μg Trypsin in 50 μL Dissolution buffer），600 r/min 振荡 1 min，37 ℃、16 h，使用 C18 柱进行脱盐，脱盐样本取 1 μL 进行 MALDL TOF 质谱分析。样本脱盐冻干之后使用 0.1%的 FA 复溶，OD_{280} 肽段定量，取 3 μg 样本进行后续 ESI 质谱鉴定实验

1.3.4 毛细管高效液相色谱

液相 A 液为 0.1%甲酸水溶液，B 液为 0.1%甲酸乙腈水溶液（乙腈为 84%）。色谱柱 0.15 mm×150 mm (RP-C18)（Column Technology Inc.）以 95%的 A 液平衡。样品由自动进样器上样到 Zorbax 300SB-C18

peptide traps（Agilent Technologies，Wilmington，DE），再经色谱柱分离，相关液相梯度如下：0 min~50 min，B 液线性梯度从 4%到 50%；50 min~54 min，B 液线性梯度从 50%到 100%；54 min~60 min，B 液维持在 100%。

1.3.5 ESI 质谱鉴定及数据分析

酶解产物经毛细管高效液相色谱脱盐及分离后用 LTQ VELOS 质谱仪（Thermo Finnigan，San Jose，CA）进行质谱分析。进样方式：Microspray，毛细管温度：200 度，检测方式：正离子。多肽和多肽的碎片的质量电荷比按照下列方法采集：每次全扫描（full scan）后采集 20 个碎片图谱（MS2 scan）。

利用 Proteme Discoverer 1.4 和 Sequest 软件搜索相应的数据库，最后得到鉴定的蛋白质结果。搜索使用的数据库为 uniprot，结果过滤参数为：charge =1，XCorr≥1.5；charge=2，XCorr≥2.0；charge=3，XCorr≥2.25，Delta cn<0.1。

1.3.6 GO 功能注释及 KEGG 代谢通路分析

Gene Ontology (GO)数据库包含了生物过程(Biological Process)、分子功能((Molecular Function)和细胞组成(Cellular Component)三方面的功能信息。利用 DAVID Bioinformatics Resources 在线工具进行数据库查询及检索，得到 GO 功能信息及 KEGG 代谢通路结果。

2 结果

2.1 SDS-PAGE 电泳结果分析

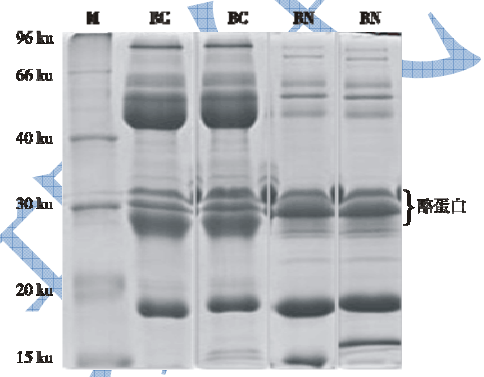


图 1 牛初乳与牛乳中乳清蛋白的 SDS-PAGE 电泳图

Fig.1 SDS-PAGE patterns of whey proteins in colostrum and milk

注：M 表示 marker；BC 表示牛初乳乳清蛋白；BN 表示牛乳乳清蛋白。

将牛初乳与牛乳中提取的乳清蛋白进行 SDS-PAGE 电泳分析，结果如图 1 所示。由牛初乳与牛乳中乳清蛋白的电泳图可以看到，牛初乳与牛乳中乳清蛋白在组成及含量上并不完全相同。牛乳中酪蛋白含量较高，这可能会掩盖一些低丰度蛋白的表达。也可以看出牛初乳与牛乳中乳清蛋白具有一些相同表达蛋白，如果将牛初乳中乳清蛋白提取充分利用加工成各种功能性食品和基料具有广阔前景。

2.2 牛初乳与牛乳中乳清蛋白酶解后的鉴定结果分析

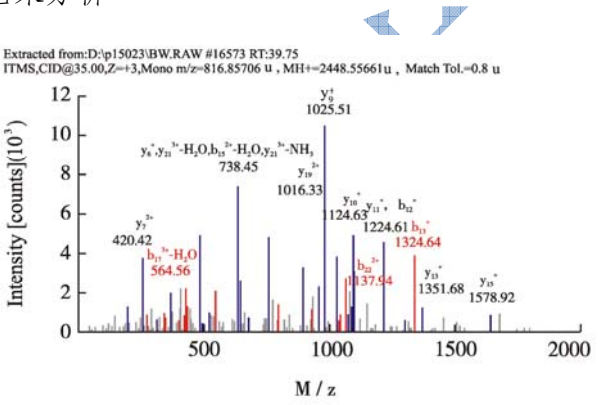


图 2 Q4TZH2-LILTLTHGTAVCTR 的二级质谱图

Fig.2 MS/MS mass spectrum of the Q4TZH2-LILTLTHGTAVCTR

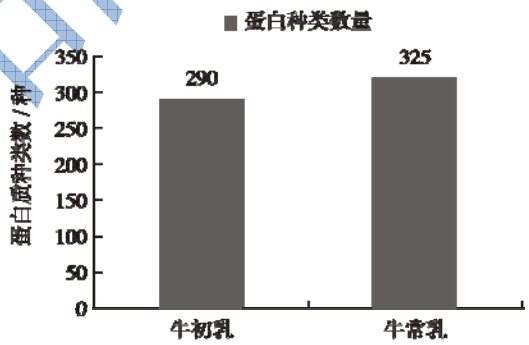


图 3 牛初乳与牛乳中乳清蛋白组成

Fig.3 Composition of whey proteins in colostrum and milk

图 2 所示是 Uniprot 登录号为 Q4TZH2（脂肪酸结合蛋白）的二级质谱图。将牛初乳与牛乳中乳清蛋白质酶解后的肽段进行液质联用分析，然后进入 DAVID 数据库进行比对，鉴定结果如图 3 所示。研究表明，具有 Unique Peptides 完整肽段的蛋白质鉴定结果具有极高的可信度。经过鉴定，牛初乳乳清蛋白中 Unique Peptides≥1 的鉴定出 290 种蛋白，牛乳乳清蛋白中鉴定出 325 种蛋白，牛乳乳清蛋白的种类数多于牛初乳乳清蛋白，大约是牛初乳乳清蛋白种类数的 1.12 倍。这可能是由于牛初乳中酪蛋白含量过高，导致影响一些低丰度蛋白表达的原因。但是牛乳并不能完全代替牛初乳添加到婴幼儿乳品的加工中，可能是牛初乳中含有一些特异性表达蛋白并且发挥着至关重

要的作用，但牛乳并不能代替。与此同时乳清蛋白是目前应用最为广泛的乳制品原料，具有较高的利用价值。

2.3 牛初乳与牛乳中乳清蛋白的组成分析

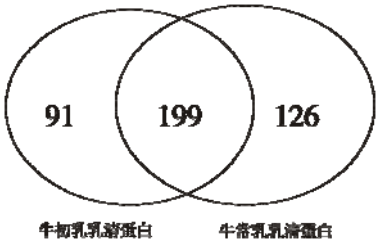


图 4 牛初乳与牛乳中乳清蛋白的维恩图

Fig.4 Venn diagram of whey proteins in colostrum and milk

如图 4 所示，牛初乳与牛乳乳清蛋白中共有 199 种相同表达蛋白，牛初乳乳清中有 91 种特异性表达蛋白，牛乳乳清中有 126 种特异性表达蛋白。牛乳中特异性表达蛋白高于牛初乳，这也说明牛初乳与牛乳乳清蛋白在组成上存在较大的差异。并且牛乳乳清蛋白中存在的蛋白质种类较多，但并不能说明牛初乳在加工利用价值不高，恰恰相反的是牛初乳中含有丰富的营养物质，能够为机体提供均衡的营养，表明牛初乳乳清蛋白在机体内可能发挥着重要的作用。

2.4 GO 功能注释分析

2.4.1 牛初乳与牛乳中乳清蛋白组成参与的生物过程分析

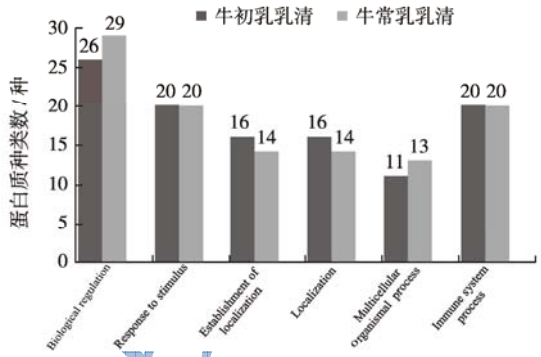


图 5 牛初乳、牛乳中乳清蛋白的生物过程

Fig.5 Biological process of whey protein in colostrum and milk

如图 5 所示，通过对牛初乳和牛乳中乳清蛋白数据库的检索，选择主要的生物过程。牛初乳和牛乳中乳清蛋白的生物过程主要是生物调控（Biological regulation）、应激反应（Response to stimulus）、细胞定位的建立（Establishment of localization）、细胞定位（Localization）、多细胞生物过程（Multicellular organismal process)和免疫系统过程（Immune system process）。通过对生物过程的分析可知，牛乳中乳清蛋白在生物过程中发挥的作用略要高于牛初乳乳清蛋白，尤其体现在生物调控中的作用。而牛初乳在细胞定位建立和细胞定位中的作用略高于牛乳。

2.4.2 牛初乳与牛乳中乳清蛋白组成参与的分子功能分析

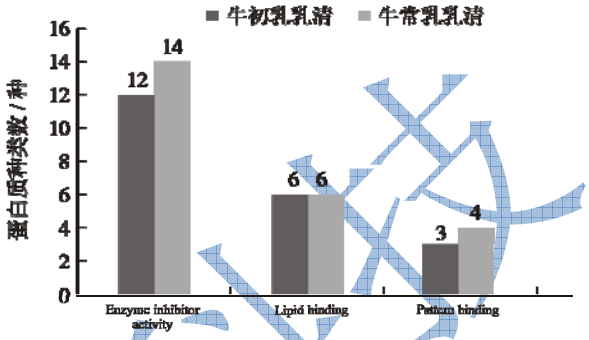


图 6 牛初乳、牛乳中乳清蛋白的分子功能

Fig.6 Molecular function of whey protein in colostrum and milk

如图 6 所示，牛初乳和牛乳中乳清蛋白的分子功能主要为酶抑制活性（Enzyme inhibitor activity）、脂质结合（Lipid binding)、绑定模式（Pattern binding）。其中酶抑制活性作用是牛初乳和牛乳中乳清蛋白的主要的分子功能。

2.4.3 牛初乳与牛乳中乳清蛋白组成参与的细胞组成

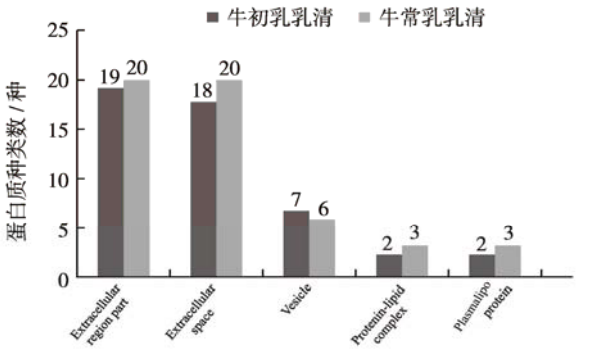


图 7 牛初乳、牛乳中乳清蛋白参与的细胞组成

Fig.7 Cellular components of whey protein in colostrum and milk

如图 7 所示，牛初乳和牛乳中乳清蛋白主要参与的细胞组成为细胞外部分（Extracellular region part）、细胞外空隙（Extracellular space）、囊泡（Vesicle）、蛋白质-脂类复合物（Protein-lipid complex）和血浆脂蛋白（Plasma lipoprotein）。其中牛初乳乳清蛋白参与较多的是细胞外部分和细胞外空隙，与牛乳的乳清蛋白相比参与的细胞组成大体相同，这也就说明了无论是牛初乳乳清蛋白还是牛乳乳清蛋白都具有较高的利用价值。

2.5 牛初乳与牛乳中乳清蛋白不同组成部分的 KEGG 代谢通路分析

表 1 牛初乳和牛乳中乳清蛋白不同组成部分的 KEGG 代谢通路

Table 1 KEGG Pathway of the different whey protein components in colostrum and milk

代谢通路	牛初乳乳清蛋白		牛乳乳清蛋白	
KEGG Pathway Name	count	Percent/%	count	Percent/%
Complement and coagulation cascades	11	10.2	14	13.7
Systemic lupus erythematosus			5	4.9

表 2 参与 KEGG 代谢通路的乳清蛋白

Table 2 Whey proteins involved in KEGG pathway

Uniprot 登录号	蛋白名称	蛋白质的氨基酸数	分子量/ku	等电点/PI	牛初乳	牛乳
A8DC37	Fc 片段免疫球蛋白	278	31.1	8.72		√
Q5E9E3	补体结合成分	244	25.8	8.94		√
Q0VCX1	补体物质 1	698	76.6	5.08		√
Q2UVX4	补体物质 3	1661	187.1	6.84	√	√
Q3MHN2	补体物质 9	548	62	5.90	√	√
Q7SIH1	α2-巨球蛋白	1510	167.5	6.02	√	√
P00735	血凝酶	625	70.5	6.33	√	√
P00741	凝血因子 ix	416	46.8	5.66		√
P81187	补体因子 B	761	85.3	7.68	√	√
Q3SZZ9	纤维蛋白原 Y 链	435	49.1	5.87	√	√
Q28085	补体因子 H	1236	140.3	6.81	√	√
P23955	Serpin 肽酶抑制剂，进化枝 A	416	46.1	6.52	√	√
A6QPP2	Serpin 肽酶抑制剂，进化枝 D	496	55.2	6.86	√	√
P50448	Serpin 肽酶抑制剂，进化枝 G	468	51.7	6.67	√	√
Q28065	补体物质 4 结合蛋白 α	610	68.8	6.38	√	√

注：“√”表示含有。

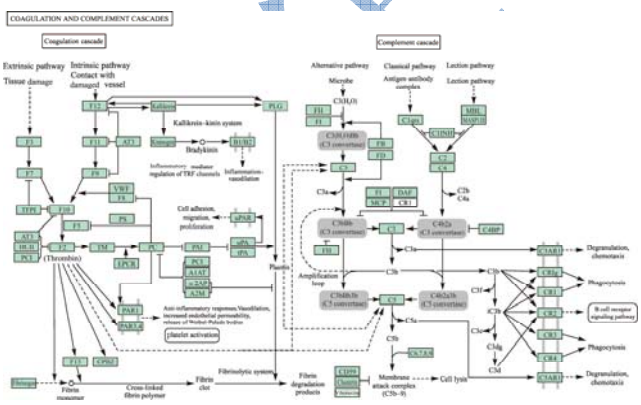


图 8 补体及凝血级联反应 KEGG 通路

Fig.8 KEGG pathway analysis for the coagulation and complement cascades

如表 1 和表 2 所示，牛初乳中乳清蛋白的不同组成部分中有 11 种蛋白参与 KEGG 代谢通路中的补体及凝血级联反应。牛乳中乳清蛋白的不同组成部分中有 15 种蛋白参与 KEGG 代谢通路。如图 8 所示，牛初乳乳清蛋白主要参与的是外源途径、内源途径、交替途径、经典途径和凝集素途径。补体系统的组成包括 30 多中活性成分，按其性质和功能可以分为三类，本文所述为以可溶性形式或膜结合形式存在的各种补体调节蛋白。其中经典途径是指主要由 C1q 与激活物结合后顺序活化 C1r、C1s、C2、C4 和 C3，形成 C3 转化酶与 C5 转化酶的级联酶促反应过程[13]。其他途径与之类似。牛初乳中大大包含这些补体调节蛋白，因此牛初乳将更具有潜在的资源和市场。

3 结论

3.1 利用 SDS-PAGE 电泳将牛初乳与牛乳中乳清蛋白进行分离，能够发现牛初乳与牛乳乳清蛋白存在一定的差异。并在牛初乳乳清蛋白中鉴定出 290 种蛋白，牛乳乳清蛋白中鉴定出 325 种蛋白。其中有 199 种相同的蛋白，说明牛初乳和牛乳乳清蛋白中蛋白组成存在一定的差异。通过分别对牛初乳和牛乳中乳清蛋白

的 GO 功能注释及 KEGG 代谢通路分析表明，牛初乳和牛乳中乳清蛋白在生物学过程、分子功能、细胞组成及代谢通路上同样存在一定的差异。通过对生物过程的分析可知，牛乳中乳清蛋白在生物过程中发挥的作用略要高于牛初乳乳清蛋白，尤其体现在生物调控中的作用。而牛初乳在细胞定位建立和细胞定位中的作用略高于牛乳。酶抑制活性作用是牛初乳和牛乳中乳清蛋白的主要的分子功能。对细胞组成而言牛初乳乳清蛋白参与较多的是细胞外部分和细胞外空隙，与牛乳的乳清蛋白相比参与的细胞组成大体相同，这也就说明了无论是牛初乳乳清蛋白还是牛乳乳清蛋白都具有较高的利用价值。

3.2 目前，母乳并不能完全满足婴幼儿的需求，市场上以牛乳作为其替代品，也主要是由于牛乳中乳蛋白的价值较高。而通过本文研究表明，牛初乳的的利用价值要高与牛乳。牛初乳中含有丰富的营养物质，能够为机体提供均衡的营养。本文主要讨论牛乳中乳清蛋白的组成及功能的分析，牛初乳乳清含有广泛的生物活性蛋白质，完整的乳清蛋白质具有一定的免疫刺激作用。因此乳清蛋白质在免疫低下患者人群中以及预防食物引起的癌症中具有潜在应用前景。目前开发成产品的有乳铁蛋白、乳过氧化物酶和抗体，这些蛋白质具有抗菌功能，是体内抵抗微生物侵染的主要非细胞防御因素，应用领域主要包括动物饲养、食品保藏、预防和治疗人体或家畜多种疾病侵染。牛初乳乳清抗体及衍生的生物活性多肽等具有潜在的资源及市场。除了常规乳清蛋白质以外，牛初乳是一种亟待开发的新资源。牛初乳在蛋白质的含量和组成上与正常牛乳存在区别。其中乳清蛋白中含有大量免疫因子、酶等活性组分，受到广泛关注。乳清蛋白质水解物中的主要应用在低过敏性婴儿配方奶粉。从而可以更好的配合我国大力发展乳品工业，跟随世界保健潮流。

参考文献

[1] Giroux H J, Lanouette G, Britten M. Effect of whey protein aggregates of various sizes on the formation and properties rennet-induced milk gels [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 45: 272-278

[2] Boudry C, Dehoux J P, Portetelle D, et al. Bovine colostrum as a natural growth promoter for newly weaned piglets: a review [J]. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 2008, 12(2): 157

[3] Lollo P C B, Amaya-Farfan J, Faria I C, et al. Hydrolysed whey protein reduces muscle damage markers in Brazilian elite soccer playerscompared with whey protein and maltodextrin. A twelve-week in-championship intervention [J]. International Dairy Journal, 2014, 34(1): 19-24

[4] Geoffrey W Krissansen. Emerging health properties of whey proteins and their clinical implications [J]. Journal of the American College of Nutrition, 2007, 26(6): 713-723

[5] Marshall K. Therapeutic applications of whey protein [J]. Alternative Medicine Review, 2004, 9(2): 136-156

[6] Shi Jin, Tauriainen E, Martonen E, et al. Whey protein isolate protects against diet-induced obesity and fatty liver formation [J]. International Dairy Journal, 2011, 21(8): 513-522

[7] Li Xu, Lan-wei Zhang, Yu-mei Zhang, et al. Qualitative and quantitative comparison of hormone contents between bovine and human colostrums [J]. International Dairy Journal, 2011, 21(1): 54-57

[8] ZoranHerceg, Vesna Lelas, Greta Krešićetal. Functionality of whey protein isolates and hydrolyzed whey proteins [J]. Mljekarstvo, 2005, 55(3): 171-184

[9] Gapper L. Determination of bovine immunoglobulin G in bovine colostrum powders, bovine milk powders, and dietary supplements containing bovine colostrum products by an automated direct immunoassay with optical biosensor: collaborative study [J]. Journal of AOAC International, 2013, 96(5): 1026-1032

[10] K A Al-Busadah. Efficacy of feeding bovine and caprine colostrum to neonatal camel [J]. Journal of Animal and Veterinary Advances, 2012, 6(1): 5-7

[11] 于立芹,庞广昌.牛初乳中生物活性成分的研究进展[J].食品科学,2007,28(9):604-609
YU Li-qin, PANG Guang-chang. Advances in bioactive components of colostrums [J]. Food Science, 2007, 28(9): 604-609

[12] 张春刚,王加启,刘光磊,等.牛初乳、常乳和免疫乳乳清中主要蛋白的SDS-PAGE分析[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2008,29(2):43-47
ZHANG Chun-gang, WANG Jia-qi, LIU Guang-lei, et al. Colostrum, mature milk and immune milk whey protein in SDS-PAGE analysis of major [J]. Yangzhou University (Agriculture and Life Sciences), 2008, 29(2): 43-47

[13] 余英才,张纯,夏循礼,等.补体系统的进化[J].生命科学,2012,4:362-367
YU Ying-cai, ZHANG Chun, XIA Xun-li, et al. Evolution of the complement system [J]. Life Sciences, 2012, 4: 362-367