

## 蛋白质的新时代： 为什么美国乳业能在竞争激烈的蛋白质市场中独树一帜



消费者要求更多的了解食物来源及其生产加工信息，从而对所消费的食品更放心。2017年，40%的美国消费者希望通过借助食品和饮料，全面的管理他们的健康<sup>1</sup>。78%的美国消费者认为蛋白质有助于健康饮食，其中一半表示他们的饮食中需要增加蛋白质<sup>2</sup>。同时，到2050年，全球人口预计将超过98亿，这将带来对可持续的蛋白质原料的需求以及对未来稳定供应的担忧<sup>3</sup>。消费者对蛋白质需求的增长促使跨国食品公司采取行动，寻求多样化的蛋白质来源。在2012-2017年之间，对各种来源的蛋白质的进一步鉴定、分离和界定已产生300多份关于蛋白质功能和食品应用的专利申请<sup>4</sup>。

许多种类动物、植物和单细胞来源的蛋白质已被推向市场，应用于食品和饮料。有了如此众多的选择，食品配方设计师在设计食品和饮料解决方案时需要充分了解情况。选择合适的蛋白质原料至关重要，这样才能向消费者提供他们所期望的产品外观的一致性、味道、功能和营养特性。并非所有蛋白质都一样。本专题将讨论乳清蛋白和牛奶蛋白原料如何独特地满足配方设计师的需求，使食品和饮料产品能够可持续生产，并具有营养、功能、美味、多功能以及对消费者的吸引力，还能确保稳定的原料供应。

### 你知道吗？

奶牛对全球的食品系统有着独特贡献，不仅能为人类提供重要的营养，还能有效地利用很多人类不能消化的物质作为饲料，并产生补充土壤肥力的肥料。以下是本专题各部分的主要内容：

**可持续生产**—通过对奶牛的精心照顾和管理，美国乳品在生产动力方面领先全球，在推进可持续发展的同时减少碳足迹

**加工**—由于乳蛋白天然溶于水，与其他植物/坚果来源的蛋白质相比，在加工过程中所需的步骤更少

**营养**—牛奶中天然存在的蛋白质具有无与伦比的蛋白质质量，为各个生命阶段提供益处：

- 减少弱势群体的发育迟缓
- 为婴儿和孕产妇保健提供关键营养

- 支持体重管理
- 加强运动后恢复
- 帮助维持肌肉，实现健康老龄化

**功能/感官**—没有其他蛋白质既能提供广泛的功能，也能提供消费者所期望的简单原料表和中性风味

**用法多样**—几乎任何应用都能找到合适的乳原料

**供应保障**—美国原奶的全年生产和严格的质量保证，使得优质美国乳原料能够稳定供应

## 可持续生产：美国奶农的承诺

多年来，美国农民一直利用科技和先进的管理方法来提高效率并减少对环境的影响。根据美国国家环境保护局（EPA）的数据，到2030年，美国畜牧业生产（所有动物，包括肉类和乳品）将占美国温室气体排放量（GHG）的14%，而能源产业的这一占比为31%，交通为27%，农田为13%<sup>5</sup>。

2008年，美国奶农成立了美国乳业创新中心，以评估、管理和持续改善美国乳业从农场到餐桌的环境、社会和经济的可持续性。进而，完成了美国乳业的生命周期评估（LCA），以了解乳品生产、加工和运输对于环境影响。今天，美国乳品行业仅占美国温室气体排放量的2%，用水量的5%和土地使用量的9%<sup>6</sup>。例如，从1950年到2017年，农业和管理实践的进步使奶农能够多生产60%的牛奶，同时减少1600万头奶牛，这将碳足迹减少了66%<sup>7</sup>。正在进行的研究将持续更新技术和方法，以进一步减少对环境的影响。

依据天气条件和地区资源，美国奶农因地制宜的喂养奶牛，与自然保持和谐<sup>8</sup>。超过97%的美国奶牛场是家族企业，经常传承多代。美国奶农全年工作，通过提供健康均衡的饮食、牛舍、风扇通风、水雾、沙床/水床等来最大化的保证奶牛的舒适度，因为精心照料的奶牛可以更有效地生产更多牛奶。

奶牛是营养素的回收者。奶牛的食物中大约80%都不能供人类食用—人类根本无法消化，例如棉籽壳、柑橘渣和杏仁壳。这是一个双赢的过程—奶牛能吃掉整个玉米秸秆，人类吃玉米；奶牛吃掉杏仁壳，人类吃杏仁；奶牛吃棉籽壳，而人类穿着棉质T恤衫；所有这些都可以减少进入垃圾填埋场的垃圾量。此外，奶牛通过其独特的四腔胃将营养物质解锁，转变成营养丰富的牛奶，使人类从中获益丰富的营养。虽然奶牛食物中的大约20%是人类可以食用的物质（人类可以消化的成分），但只有约2%是人类愿意食用的物质（根据食品工业需求或理想的消费量）<sup>9</sup>。

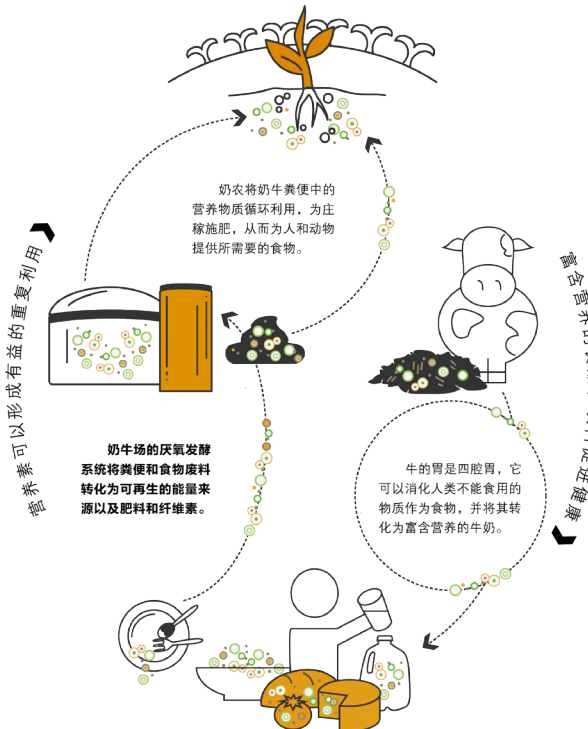
奶牛能够提供富含营养的粪肥，将其重新回归土壤，可以保持土地肥力，以备将来使用，这就构成了一个可持续性的循环。一头美国奶牛平均每天产生64升粪肥，该数据是伊利诺伊州泌乳牛代谢的平均值。再结合当地土壤的平均成分组成，这足以种植20公斤的玉米<sup>10</sup>。

## 加工：优势来源于如何从牛奶中获得蛋白质

由于牛奶的易腐性，在加工设施附近挤出的牛奶不久就会被转化为乳制品和原料。与许多其他来源的蛋白质不同，乳蛋白质是从可溶性液体中分离的，而且不需要额外的研磨或化学添加物以保持可溶。更少的加工步骤和更少的运输使得美国乳品业能够始终如一地提供安全、高质量、易获得的、富含营养的乳品原料，用于食品和饮料的生产加工。

牛奶蛋白质中80%是酪蛋白，20%是乳清蛋白。根据他们的物理尺寸，使用水通过膜过滤，轻柔的过滤出蛋白质、脂肪和碳水化合物组分。分离后，蛋白质组分被浓缩并干燥成各种具有不同酪蛋白与乳清蛋白比例的高蛋白原料，如浓缩

图1：乳品对于可持续发展的贡献



来源：美国乳品可持续性承诺，USdairy.com, 2014

胶束酪蛋白 (MCC)、牛奶分离蛋白 (MPI)、牛奶浓缩蛋白 (MPC) 或具有独特的功能属性的牛奶乳清蛋白 (天然乳清)<sup>11,12</sup>。经由奶酪生产而得到的乳清蛋白也可以经过滤浓缩, 得到乳清分离蛋白 (WPI) 或乳清浓缩蛋白 (WPC)<sup>13</sup>。

图2: 来自牛奶的蛋白质

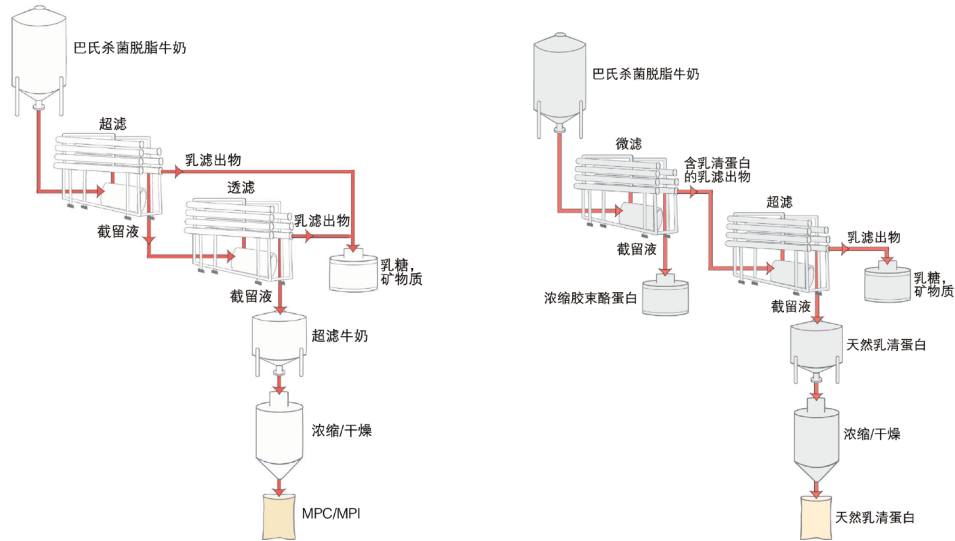
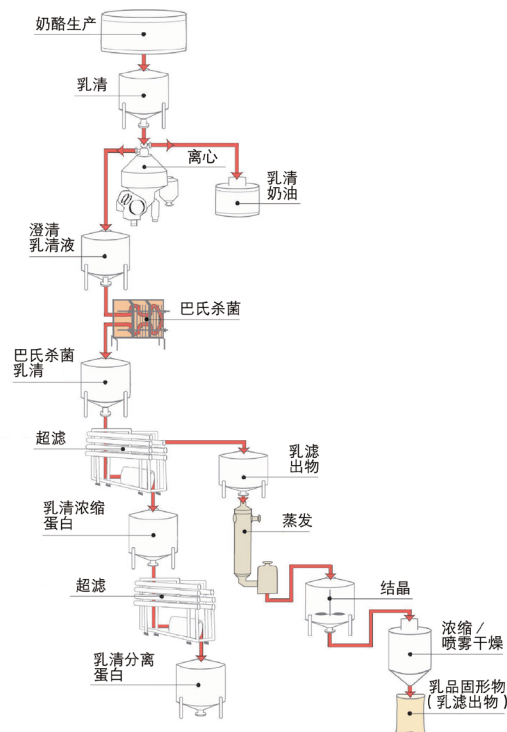


图3: 来自奶酪生产的蛋白质



来源: 威斯康辛乳品研究中心, 干乳原料, 第2版, Smith K., 2017

由于这种类型的过滤使用水和膜, 因此从牛奶中除去的大部分水可以被过滤和再循环, 用于清洁或进一步纯化, 作为可饮用水回到环境中。

## 营养：蛋白质的质量很重要

牛奶在滋养人类生命方面有着悠久的历史。自17世纪以来，早期的移民从欧洲把奶牛带入美国，供应牛奶和肉类以供养家庭<sup>14</sup>。到2016年，牛奶和奶制品成为第三大蛋白质来源和第五大卡路里来源，同时滋养全世界60多亿人口<sup>15</sup>。

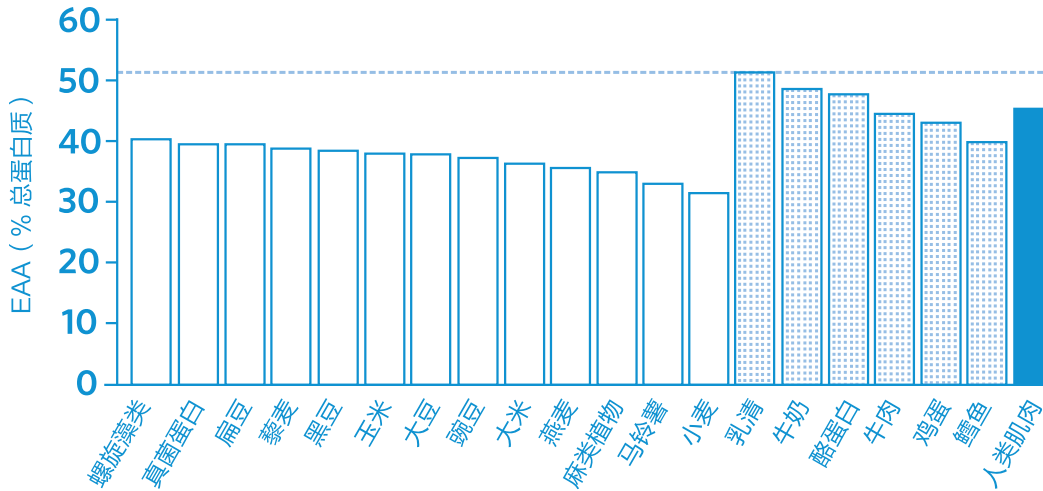
在选择高蛋白质的原料时，蛋白质的质量是一个关键考虑因素。蛋白质在人体组织和器官的结构、功能和调节方面发挥着不可或缺的作用。只有在摄入的食物中含有所有必需氨基酸时，身体才能制造出所需的蛋白质。虽然所有动物和大多数植物来源的食物都含有一定量的蛋白质，但并非所有蛋白质都是相同的，因为它们在可以提供必需氨基酸的量、消化率和生物利用率上都有所不同。依据个体和所消耗的蛋白质的类型（质量），实现最大化的肌肉蛋白质合成所需要的蛋白质的量也有不同。高质量的蛋白质被定义为这样一种蛋白质：它含有所有必需（必不可少）氨基酸，且比例适当，符合身体需求，同时具有生物利用率和快速消化率<sup>16</sup>。乳蛋白满足这些要求。

表1: 必需氨基酸和非必需氨基酸

必需	条件必需	非必需
组氨酸	精氨酸	丙氨酸
异亮氨酸	半胱氨酸	天冬氨酸
亮氨酸	谷氨酰胺	天冬酰胺
赖氨酸	甘氨酸	谷氨酸
甲硫氨酸	脯氨酸	丝氨酸
苯丙氨酸	酪氨酸	
苏氨酸		
色氨酸		
缬氨酸		

来源: 美国医学研究所, 膳食参考摄入量: 营养素需求必备指南, 2006

表2: 必需氨基酸 (EAAs) 占总蛋白质的比例



来源: 骨骼肌对植物来源或动物来源蛋白质合成代谢响应的对比, van Vilet, S., Burd, N.A. 和van Loon, L.J.C., 2015

蛋白质的来源不同，其必需氨基酸含量也不同。动物来源蛋白质的必需氨基酸占总蛋白质的比例往往高于植物来源蛋白质，而乳蛋白的必需氨基酸占总蛋白质的比例最高<sup>17</sup>。科学研究表明，如果所摄入的蛋白质是高质量的全蛋白（含有所有必需氨基酸），高蛋白饮食的健康益处就更为凸显<sup>18,28</sup>。在美国，目前使用的蛋白质质量的评价方法是蛋白质消化率校正氨基酸评分 (PDCAAS)<sup>19</sup>。

基于氨基酸的含量、消化率和生物利用率，蛋白质的质量有所不同。动物蛋白质是高质量的完全蛋白质，因为它们含有所有的必需氨基酸。除大豆蛋白外，植物蛋白通常质量较低且不完全，因为缺乏身体所需的足量的必需氨基酸。来自牛奶的蛋白质（乳清蛋白和酪蛋白）具有最高的蛋白质质量评分，即1.0。

PDCAAS方法是由国际权威机构，如联合国粮食及农业组织（FAO）认可的黄金标准方法，尽管如此，该方法并非没有局限。首先，该评分计算了粗蛋白在整个消化道的消化率（粪便消化率）。然而，在小肠末端（回肠）测定氨基酸的消化率最为准确，因为氨基酸仅在小肠被吸收，而且后肠发酵也会影响粪便中氨基酸的排

出。其次，粗蛋白的消化率并不代表所有氨基酸的消化率，因为每种氨基酸具有不同的消化率。第三，评分被截断在1.0，而一些蛋白质，特别是乳蛋白的实际评分高于1.0。也就是说，截断后的评分人为消除了区分高质量蛋白质的可能性。第四，没有考虑到食品加工有时会降低氨基酸的生物利用率。总的来说，以上这些局限导致PDCAAS普遍低估了高质量蛋白质的价值，高估了低质量蛋白质的价值<sup>19,20,21</sup>。

鉴于PDCAAS的这些局限性，FAO召集了一个专家小组来解决这一问题。他们的建议是用一种新的蛋白质质量评分方法取代PDCAAS，该方法被称为DIAAS，即可消化的必需氨基酸评分<sup>22</sup>。这种方法可以解决PDCAAS方法中一些明显的局限性，包括计算回肠（小肠）中的氨基酸消化率（而非计算整个肠道的粗蛋白质的评分），纠正了由于食物加工导致的蛋白质质量变化，并停用将评分在1.0截断。需要进一步的研究来了解其他新来源的蛋白质的质量。

**表3: 普通蛋白质食物的PDCAAS**

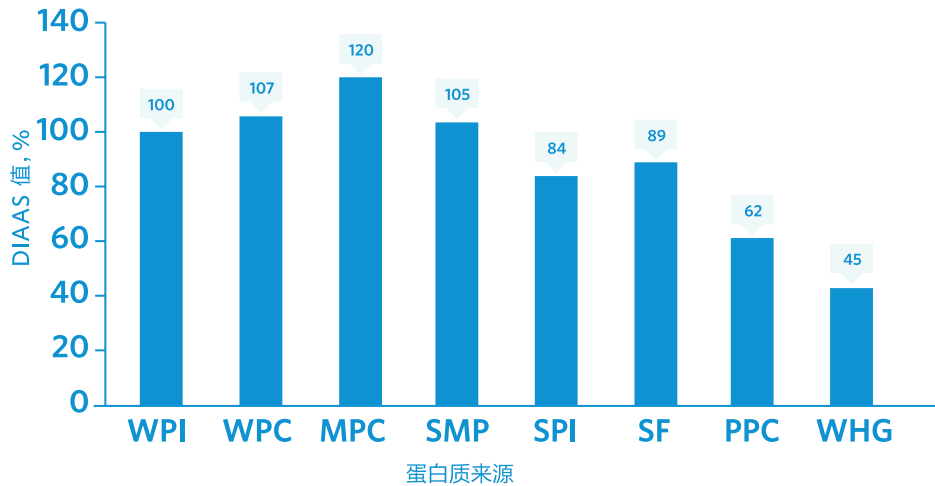
来源	PDCAAS
牛奶	1.00
乳清	1.00
鸡蛋	1.00
大豆分离蛋白	1.00
酪蛋白	1.00
牛肉	0.92
大豆	0.91
豌豆	0.67
燕麦	0.57
全麦	0.45

来源: Mathai, JK, et al., Br J Nutr 2017 和 Rutherford, SM, et al., J Nutr, 2015

PDCAAS和DIAAS 营养评分的差别	蛋白质消化率校正氨基酸评分（PDCAAS）	可消化的必需氨基酸评分（DIAAS）
	基于整个消化道的消化率	基于回肠氨基酸消化率，相较于整个消化道的消化率更为准确，因为氨基酸仅在小肠被吸收，而通过微生物群的后肠发酵会影响粪便中氨基酸的排出
	粗蛋白在整个消化道的消化率，未考虑每种氨基酸具有不同的消化率	基于每种氨基酸的消化率，考虑了各个氨基酸的消化率的差异
	评分被截断为1.0	评分没有被截断
	未能区分较高质量蛋白质的评分（截断前的评分 >1.0）	允许区分高质量蛋白质的相对价值（评分大于1.0），在混合饮食中能够突出较高质量蛋白质对于补充氨基酸的贡献
	没有考虑到食品加工会降低某些氨基酸的生物利用率	包括了食品加工的评分修订
按照1-2岁儿童的氨基酸需求估算所有人群的PDCAAS评分	利用多个年龄组的氨基酸评分模式（要求）	

来源: Mathai, JK, et al., Br J Nutr 2017 和 Rutherford, SM, et al., J Nutr, 2015

表4: 常见来源的蛋白质质量, 以可消化必需氨基酸评分 (DIAAS) 百分比计算



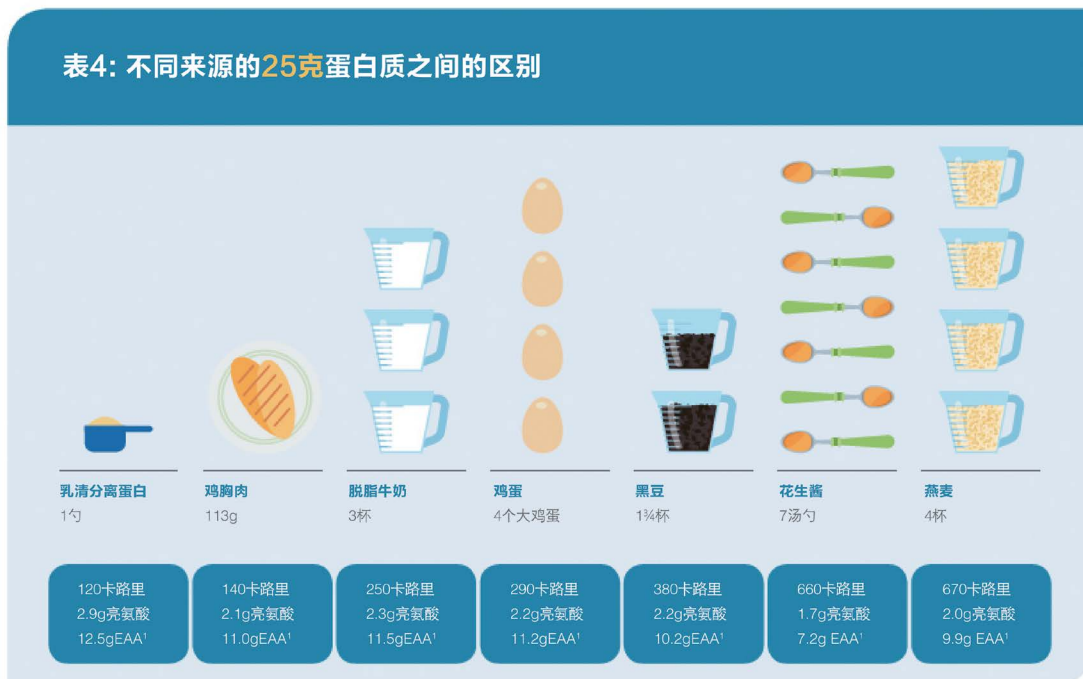
缩写: WPI=乳清分离蛋白; WPC=乳清浓缩蛋白; MPC=牛奶浓缩蛋白; SMP=脱脂奶粉; SPI=大豆分离蛋白; 大豆粉=SF, 豌豆浓缩蛋白=PPC; WHG=全谷小麦

来源: Mathai JK, Liu Y, Stein HH. Brit J Nutr, 2017

### 人体如何利用蛋白质

摄入蛋白质后, 人体将其消化成氨基酸以进一步吸收和利用。必需氨基酸 (EAAs) 对于支持肌肉蛋白质合成 (MPS) 以构建、生长和修复身体组织至关重要。同时, 支链氨基酸 (BCAAs) – 亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸在肌肉代谢中也具有特别重要的作用。亮氨酸已被证明是一种关键的氨基酸, 刺激肌肉蛋白质合成的启动。动物来源的蛋白质通常比植物来源的蛋白质含有更多的亮氨酸。大多数植物来源的蛋白质含有6–8%的亮氨酸, 而动物来源的蛋白质含有大概8.5–9%的亮氨酸, 而乳蛋白一般含有10%以上的亮氨酸<sup>17</sup>。因此, 为实现肌肉蛋白质合成的最大化以保持力量和提升运动表现时, 应优先考虑富含必需氨基酸、支链氨基酸和亮氨酸的蛋白质来源<sup>23,28</sup>。

表4: 不同来源的25克蛋白质之间的区别



来源: 乳清分离蛋白营养委员会 <http://www.gnc.com/whey-protein/GNCProPerformace100WheyIsolate.html>

美国农业部国家营养素数据库标准参考, 2016年第28期 <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>

## 营养不良的双重负担

在全球范围内，人们越来越关注营养不良和营养过剩在整个生命阶段对人类所造成的影响。2017年，超过8.15亿人上床睡觉时处于饥饿状态<sup>24</sup>。据联合国儿童基金会统计，五岁以下儿童有1.56亿发育迟缓（身高不足），瘦弱（体重偏低）人口达5200万<sup>25</sup>。此外，超过4.62亿成年人体重不足，超过19亿成年人超重或肥胖<sup>26</sup>。多项已发表研究建议，由于乳蛋白是高质量的蛋白质，应用乳蛋白为这些人群开发各种食品是有益的。例如，研究人员评估了六项临床试验的结果，这些研究针对六个月及以上儿童，检测蛋白质质量与线性生长和预防发育迟缓之间的关系。研究人员得出结论，乳蛋白与促进生长相关，特别是针对营养不良的儿童<sup>27</sup>。

成年人骨骼肌肉的数量是肌肉蛋白质合成（MPS）和肌肉蛋白质分解（MPB）这两个过程持续共同作用的结果。这两个过程之间的净平衡决定了肌肉质的量是增加（正蛋白质平衡）、或是减少（负蛋白质平衡），还是保持不变。肌肉蛋白质合成和蛋白质分解的相对比例可能受到几个因素的影响，包括能量缺乏、阻力训练和衰老。在食用含蛋白质的膳食后，短期的高氨基酸血症刺激肌肉蛋白质合成，高胰岛素血症抑制肌肉蛋白质分解，导致正蛋白质平衡。不同的蛋白质饮食对肌肉蛋白质合成的作用有差别，这体现了所摄入蛋白质质量的功能性。

科学研究表明，与其他非肉类来源的蛋白质相比，乳蛋白，特别是乳清蛋白，在结合抗阻力运动时，刺激肌肉蛋白质合成的作用最显著，从而优化身体组成<sup>23,28</sup>。在整个生命周期内优化肌肉量对提升整体健康至关重要。另外一项针对14项临床试验的荟萃分析表明，有证据支持使用乳清蛋白补充剂结合抗阻力运动或将乳清蛋白作为减肥或体重控制饮食的一部分，以改善身体组成<sup>29</sup>。

表5: 摄入膳食蛋白质后理想最大肌肉蛋白质合成

来源	亮氨酸, % 总蛋白质	获取3g亮氨酸需要每餐摄入的蛋白质的量, g	每餐需要摄入的食物的量, g
玉米	12.3	25	264
螺旋藻类	8.5	36	63
黑豆	8.4	36	167
大米	8.2	37	500
大豆	8.0	38	104
扁豆	7.9	39	150
豌豆	7.8	39	180
燕麦	7.7	35	236
藜麦	7.2	43	302
麻类植物	6.9	45	121
小麦	6.8	45	299
真菌蛋白	6.2	49	447
马铃薯	5.2	58	2891
<b>动物来源</b>			
乳清	13.6	23	27
牛奶	10.9	28	876
酪蛋白	10.2	30	35
牛肉	8.8	35	164
鸡蛋	8.5	36	5
鳕鱼	8.1	38	211

通过摄入蛋白质，最大限度地提高年轻受试者运动后的肌肉蛋白质合成率。按照亮氨酸含量由高到低排列数据。较高的亮氨酸含量表明，需要少量的来自给定来源的膳食蛋白质以达到餐后肌肉蛋白质的高合成率。第三列（每餐摄入的蛋白质的量）表示使用乳清蛋白作为参考标准的理论值。计算得出的蛋白质的量代表它能匹配23G乳清蛋白中含有的亮氨酸（~3G）。乳清和酪蛋白的代表性数量设为其来源于分离蛋白质，而所有其他蛋白质的代表性数量设为其来源于完整食物。MPS, 肌肉蛋白质合成；鸡蛋数量。

来源: 骨骼肌对植物来源或动物来源蛋白质合成代谢响应的对比, van Vilet, S., Burd, N.A. 和 van Loon, L.J.C., 2015

随着全球60岁及以上的成年人数量的逐步上升，从2017年的9.62亿预计增加到2050年的21亿，与衰老相关的肌肉量减少（肌肉衰减综合征）可能会对这些人的日常活动能力产生负面影响<sup>30</sup>。来自美国国家健康和营养调查研究（NHANES）的数据显示，老年人摄入蛋白质的量不足，而且可能偏向于在晚餐摄入，更容易使老年人面临能量-蛋白质的营养不良问题<sup>31</sup>。蛋白质膳食可以刺激肌肉蛋白质合成；然而，老年人对这种刺激作用的反应不太敏感<sup>32</sup>。较大量摄入高质量的蛋白质，可以保持老年人的肌肉量<sup>28</sup>。单纯的摄入较大量的动物来源的蛋白质食物，或者结合积极活跃的生活方式，都与保持老年人的肌肉量 and 功能表现有关<sup>33</sup>。

一些植物来源的物质（例如，大豆、豌豆和大米）含有抗营养因子，需要额外的工艺进行去除处理。与乳清蛋白相比，这种加工可能会影响亮氨酸的可消化率和可利用率<sup>17</sup>。因此，为了达到相同的临床效果，需要消耗更多的植物蛋白<sup>17,34</sup>。

### 功能: 优化身体表现的特性

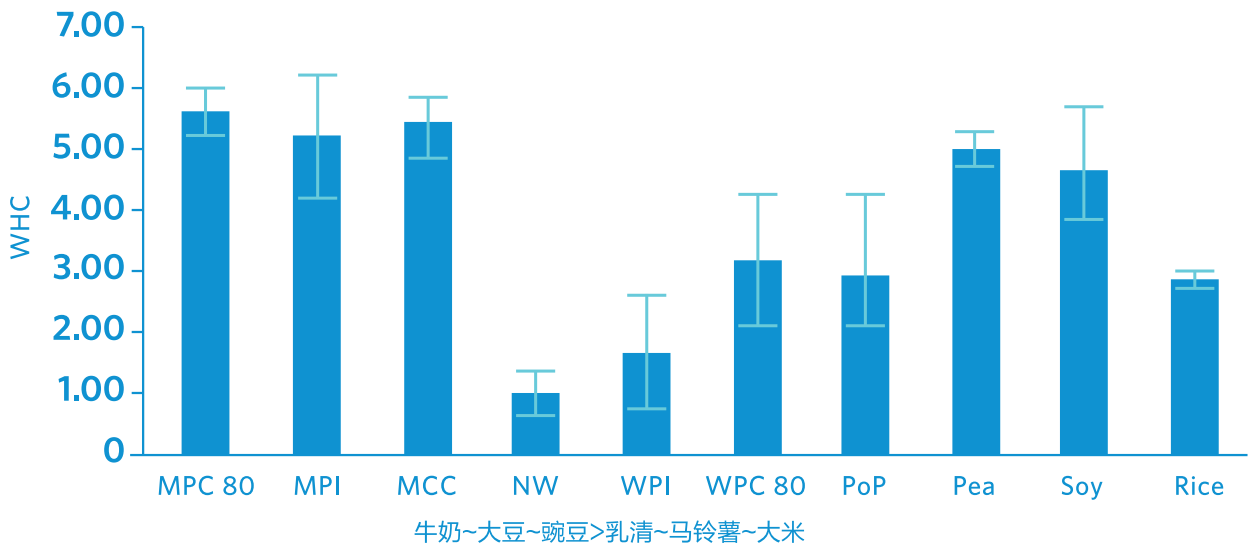
原料选择会影响产品的感官和功能特性，对产品的愉悦性有着极大的影响。在2017年有一项研究<sup>35</sup>，对市面上可获得的各种乳来源和植物来源的蛋白质的功能和感官特性进行了描述、比较和对比。共评估了30种蛋白质原料样品，包括MPI、MPC80、MCC、牛奶乳清蛋白（天然乳清）、WPI、WPC80、蛋白质含量为77-89%的马铃薯蛋白，蛋白质含量为70-76%的豌豆蛋白，蛋白质含量为80-90%的大豆蛋白和蛋白质含量为83%的大米蛋白。

牛奶，乳清和植物来源的蛋白质在物理外观、pH（5-7）、粘度、乳化稳定性，凝胶性和起泡性等方面都有所不同。然而，最有趣的差异在于持水能力和热稳定性。

### 持水性能

持水性能（WHC）是一种原料吸收和保持水分或湿度的能力。持水性能是在饮料、焙烤、成型肉制品、酱汁、汤料、肉汁和冷冻甜点应用中的关键考虑因素，因为配方设计师不希望最终产品中产生水分层。

表6: 持水能力



方法: NEUMANN ET AL., 1984.

缩写: 牛奶分离蛋白=MPI, 牛奶浓缩蛋白=MPC80, 浓缩胶束酪蛋白=MCC, 牛奶乳清蛋白/天然乳清=NW, 乳清分离蛋白=WPI, 乳清浓缩蛋白=WPC80, 马铃薯蛋白=PoP, 豌豆蛋白=Pea, 大豆蛋白=Soy, 大米蛋白=Rice

来源: 几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性, 2017国际乳清大会, 芝加哥, Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A., 2017

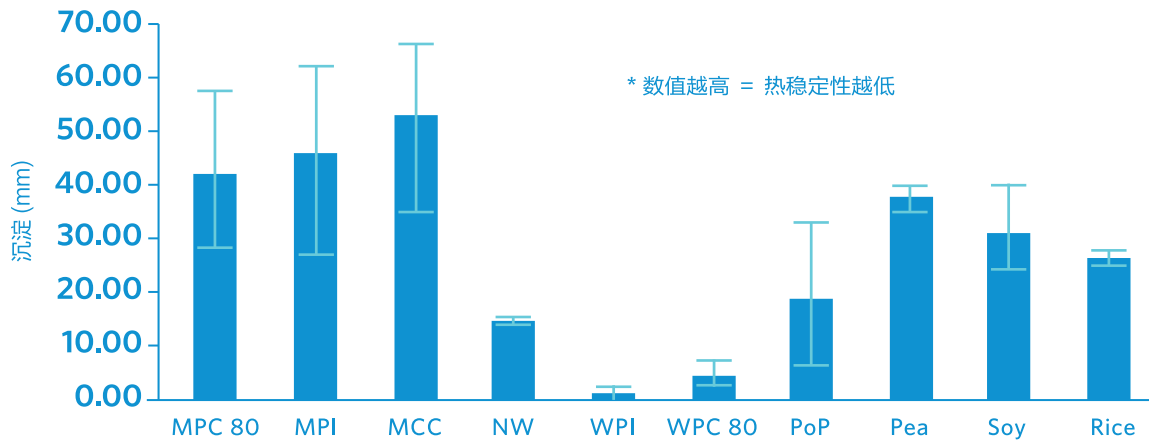


牛奶、大豆和豌豆蛋白的持水性能 ( $p < 0.05$ ) 显著优于乳清、马铃薯或大米蛋白。然而, 包装前的pH和热处理可能会影响蛋白质在成品中的性能。在加工即饮饮料时, 这些特性尤为重要。

### 热稳定性

热处理有四种基本类型: 无菌、杀菌釜、隧道巴氏杀菌和热灌装。无菌和杀菌釜通常在pH4.6–7.5下进行高热处理。隧道巴氏杀菌和热灌装对应的温度较低, 因此产品必须保持在pH2.8–4.5的酸性条件下以控制病原体的生长<sup>36</sup>。了解蛋白质在不同条件下的功能对于确定使用哪种原料非常重要。

表7: pH3时的热稳定性



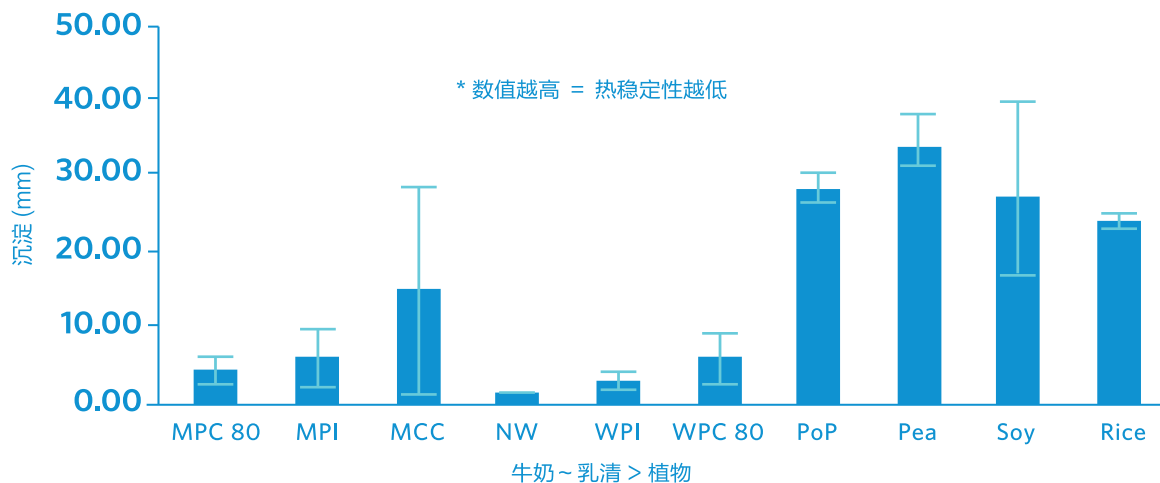
方法: HARPER AND LEE, 1988

缩写: 牛奶浓缩蛋白=MPC80, 牛奶分离蛋白=MPI, 浓缩胶束酪蛋白=MCC, 牛奶乳清蛋白/天然乳清=NW, 乳清分离蛋白=WPI, 乳清浓缩蛋白=WPC80, 马铃薯蛋白=PoP, 豌豆蛋白=Pea, 大豆蛋白=Soy, 大米蛋白=Rice

来源: 几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性, 2017国际乳清大会, 芝加哥, Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A., 2017

在pH3时(见表7), 乳清蛋白的热稳定性 ( $p < 0.05$ ) 明显优于植物或牛奶蛋白, 这意味着乳清蛋白非常适合高酸(低pH)加工条件<sup>35</sup>。此外, WPI溶液在pH3下保持澄清, 使其成为应用于澄清即饮饮料的理想选择。

表8: pH7时的热稳定性



方法: HARPER AND LEE, 1988

缩写: 牛奶分离蛋白=MPI, 牛奶浓缩蛋白=MPC80, 浓缩胶束酪蛋白=MCC, 牛奶乳清蛋白/天然乳清=NW, 乳清分离蛋白=WPI, 乳清浓缩蛋白=WPC80, 马铃薯蛋白=PoP, 豌豆蛋白=Pea, 大豆蛋白=Soy, 大米蛋白=Rice

来源: 几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性, 2017国际乳清大会, 芝加哥, Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A., 2017

在pH7时(见表8),牛奶蛋白和乳清蛋白原料的热稳定性( $p < 0.05$ )优于植物蛋白原料<sup>35</sup>。因此,牛奶蛋白、乳清蛋白或其组合更适于应用在无菌产品。由于杀菌釜处理是在产品包装后进行,需要更高的温度/更长的保持时间,因此与热接触的程度也就更高。热稳定性对于杀菌釜产品至关重要,因此含有较高水平酪蛋白的牛奶蛋白可能表现更好<sup>36</sup>。

### 饮料评价

为了理解蛋白质在不同饮料加工条件下的表现,在台式热稳定性评估中表现最佳的蛋白质,被用来在pH3和pH7时配制为5%蛋白质的即饮饮料<sup>37</sup>。中性pH饮料使用糖、天然香草香精、磷酸氢二钾和结冷胶,以模仿商业风味和稳定饮料。然后对配方进行热处理以模拟无菌条件(140°C,持续6秒)。高酸饮料使用糖、天然绿芒果香精和85%磷酸调味并酸化至pH3。对高酸饮料配方进行热处理以模拟热罐装条件(82°C,持续2分钟)。在45°C下保持一个月后对热加工饮料的物理外观和货架期稳定性进行评价。

图5: 中性pH (pH 7) 即饮饮料比较



缩写: 牛奶分离蛋白=MPI, 牛奶浓缩蛋白=MPC, 浓缩胶束酪蛋白=MCC, 牛奶乳清蛋白/天然乳清=NW, 乳清分离蛋白=WPI, 乳清浓缩蛋白=WPC, 豌豆蛋白=Pea, 大豆蛋白=Soy1和Soy3, 大米蛋白=Rice

来源: 几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性, 威斯康辛乳品研究中心, 2017年11月14日研究论坛, Burrington, K.J., 2017

在热处理之前,一个马铃薯蛋白样品和一个豌豆蛋白样品发生了分层,因此未进行保质期评估。另一个马铃薯蛋白样品经过热处理,堵塞了设备,因此也从评估中被去除了。大米蛋白比其他蛋白质粘稠得多。在中性pH下,颜色因蛋白质来源而异,如果存在苦味,在热处理后会苦味会加重<sup>37</sup>。根据所选择的蛋白质,可能需要颜色和/或香味掩蔽剂,这些都是配方设计时需要考虑的重要因素。

图6: 高酸 (pH 3) 即饮饮料比较



缩写: 牛奶乳清蛋白/天然乳清=NW1, 乳清分离蛋白=WPI4, 乳清浓缩蛋白=WPC2, 马铃薯蛋白=Pop1, 大豆蛋白=Soy1, 豌豆蛋白=Pea3, 大米蛋白=Rice1

来源: 几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性, 威斯康辛乳品研究中心, 2017年11月14日研究论坛, Burrington, K.J., 2017

配制经热处理的高酸、低pH饮料时，大米蛋白立即发生了分层，豌豆蛋白在隔夜后发生分层。其他蛋白质保持可溶。牛奶乳清蛋白（天然乳清）、WPI和马铃薯蛋白比其他蛋白质更澄清<sup>37</sup>。

### 营养棒评估

在标准营养棒应用中对商业蛋白质原料样品进行评估，基于卡路里，该营养棒含有40%碳水化合物，30%蛋白质和30%脂肪<sup>37</sup>。由于每种蛋白质原料都具有独特的组成，因此基于不同的蛋白质和卡路里含量开发了不同的配方。液体果糖（碳水化合物组分）保持恒定在52%。在每种配方中调节菜籽油（脂肪组分）的量以调节不同蛋白质原料间的差异。将所有原料称重并使用厨宝搅拌机（Kitchen Aid Professional Mixer）3档混合30秒。将混合物称重并分成四等份（25g），并分别将其装入1盎司（28g）塑料杯中。就像饮料配方一样，蛋白质原料样品之间也存在颜色差别。

然后将杯子热密封到金属包装中并置于储存条件下。将每种蛋白质原料的对照样品在室温下储存24小时，然后进行营养棒硬度分析，使用的结构分析仪是美国加利福尼亚州Ramona的Texture Technologies公司的TA.XT Plus。将另外的一式三份样品在45℃下保持30天，然后通过相同的方法进行质构分析。

### 营养棒的质构分析

经加速货架期测试发现，不同来源的蛋白质之间存在显著差异（ $p < 0.001$ ）。乳清蛋白营养棒的质构较软，牛奶蛋白和植物蛋白营养棒的硬度更高。不同来源的大豆和马铃薯蛋白质之间存在差异，因此需在采购蛋白质时进行比较。

### 感官评价

消费者的愉悦度是食品和饮料新产品获得成功的必要条件。最初，将待评估的蛋白质水化为10%固体，并由训练有素的感官评价小组在21℃下进行一式两份评价，并记录风味特性。

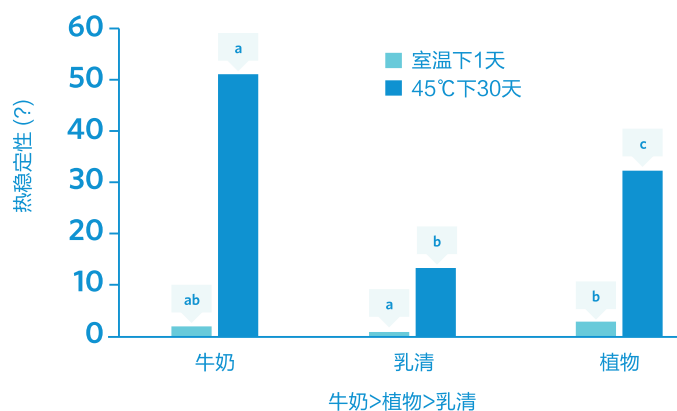
图7：颜色差异



缩写：牛奶分离蛋白 = MPI 1-3，牛奶浓缩蛋白 = MPC 1-3，浓缩胶束酪蛋白 = MCC 1-4，乳清分离蛋白 = WPI 1-4，乳清浓缩蛋白 = WPC 1-3，牛奶乳清蛋白/天然乳清 = NW 1，大豆蛋白 = Soy 1-4，豌豆蛋白 = Pea 1-4，马铃薯蛋白 = PoP 1-3，大米蛋白 = Rice 1

来源：几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性，威斯康辛乳品研究中心，2017年11月14日研究论坛，Burrington, K.J., 2017

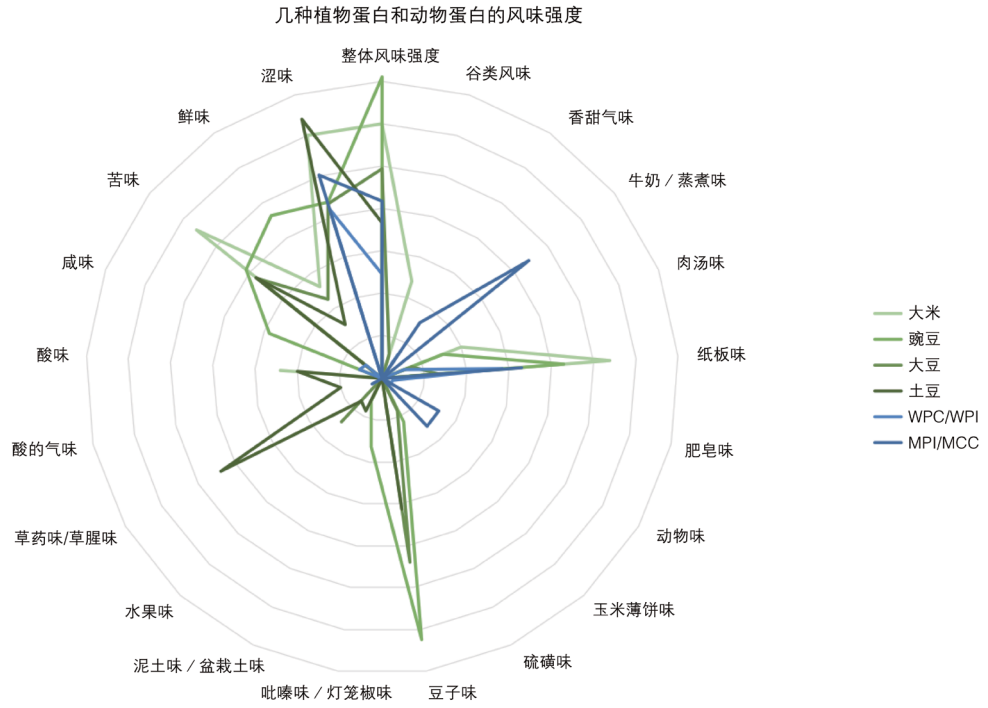
表9：营养棒硬度



不同字母标示差别显著 ( $p < 0.001$ )

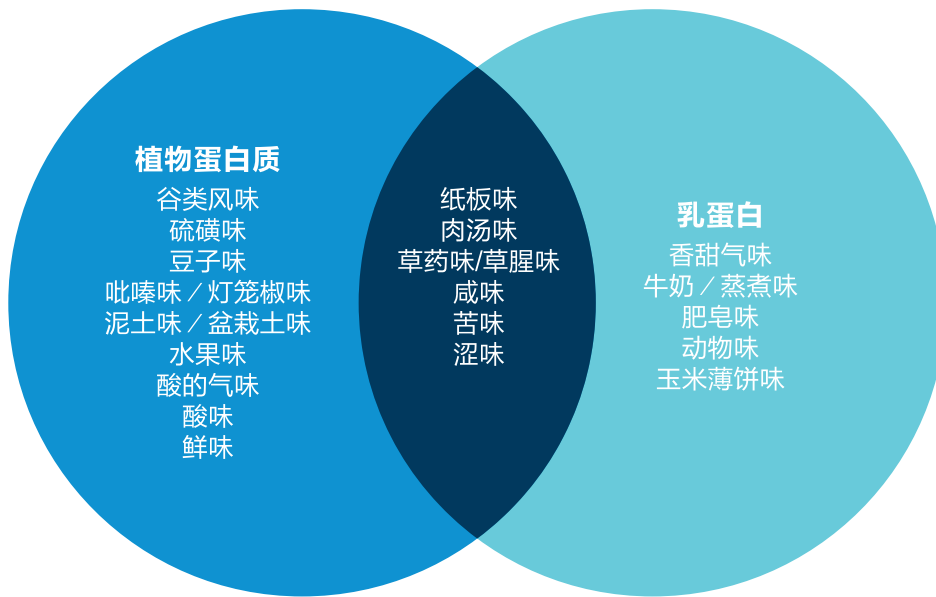
来源：几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性，威斯康辛乳品研究中心，2017年11月14日研究论坛，Burrington, K.J., 2017

图8: 植物蛋白和乳蛋白的风味强度



来源: 几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性, Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A., 2017

图9: 植物蛋白和乳蛋白间的风味差异



来源: 几种商业食品蛋白原料的功能和感官特性, Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A., 2017

乳蛋白具有甜的芳香和蒸煮/牛奶的风味, 而植物蛋白具有豆腥味, 泥土味, 硫磺味和酸味。马铃薯蛋白比所有其他来源蛋白质更涩。此外, 在纸板味、肉汤味、草药味/草腥味、苦味和涩味的风味强度上, 乳蛋白 ( $p < 0.05$ ) 显著低于植物蛋白<sup>35</sup>。这些感官特性差异使得乳蛋白能够提供卓越的感官体验。

另外四种市售香草即食混合蛋白饮料的消费者感官评估 (n=105名消费者) 也表明, 在整体评价、外观、味道和质地/口感特性上, 植物蛋白饮料不如乳蛋白即食混合蛋白饮料 ( $p < 0.05$ ) 那么受欢迎<sup>35</sup>。

取决于应用和目标风味特征, 植物来源的蛋白质可能需要额外添加香精、稳定剂和掩蔽剂以获得消费者的接受, 这可能增加成本和/或对原料声称产生负面影响。与不同的供应商合作, 对于获得具有最佳性能的原料很重要, 因为同一类型蛋白质原料之间仍存在差异。

## 多功能性: 广泛的应用潜力与消费者吸引力

全球范围内, 从2013年到2017年, 具有“添加蛋白质”或“高”蛋白质的食品和饮料新产品的声称增加了一倍以上, 为各种蛋白质应用创造了新的机会。在食品和饮料产品中, 植物蛋白质最常应用于肉类、饮料和烘焙产品中, 而乳蛋白质则更广泛地用于饮料、冷冻甜点和营养棒中。然而, 在所有蛋白质类型中, 味道仍然是新产品推出上市时的首要声称属性<sup>38</sup>。由于牛奶独特的蛋白质、脂肪、碳水化合物和矿物质成分组成, 乳原料先天可以为各种应用提供营养、功能和风味。乳蛋白原料成分可以被浓缩, 分离或水解, 在各种条件下增强打发、乳化、成胶、结合水的能力或保持可溶性<sup>39</sup>。



摩卡咖啡

### 干混的食品和饮料

乳蛋白原料可用于干混配方, 以增强蛋白质水平并为配方提供经济的矿物质来源。如果需要更稠厚、更粘稠的口感, 可以选择牛奶蛋白, 因为它们能比乳清蛋白结合更多的水。若要在水合后获得较为稀薄的质地, 或最终的干混产品中添加了酸化剂, 乳清蛋白将是更好的选择, 因为它在pH4.6以下仍然可溶。



牛奶蜂蜜睡前饮料

### 即饮低酸度饮料

即饮饮料可以经巴氏杀菌、热灌装, 超高温 (UHT) 灭菌和/或杀菌釜工艺, 以确保其安全性。牛奶蛋白含有较高水平的酪蛋白, 能在高于pH6时保持热稳定。因此, 牛奶蛋白, 如MPC、MPI或MCC, 通常用于UHT或杀菌釜加工的低酸饮料。乳清蛋白也可以应用于这些类型的饮料中, 但需要与牛奶蛋白 (最少50%) 配合使用, 以确保热稳定性。在高蛋白的即饮饮料中使用牛奶蛋白粉时, 在加工前充分混合和水合 (在50°C下约60分钟) 对于确保蛋白质在热处理前完全溶解是非常重要的<sup>40</sup>。



澄清的芒果风味绿茶

### 高酸饮料

对于高酸饮料 ( $pH < 4.6$ ), 乳清蛋白如WPC、WPI或牛奶乳清蛋白 (天然乳清) 是最佳选择, 因为它们在较低pH范围内保持可溶。另外, 在热灌装之前, 蛋白质的适当水合 (约30分钟) 对产品保持货架稳定是很重要的<sup>40</sup>。如果饮料低于pH3.5, WPI可能是最佳选择, 因为它的脂肪含量最低, 并且蛋白质分子具有较高的正电荷, 这能够抑制静电相互作用并使饮料保持澄清。



软质蛋白脆饼

### 烘焙应用

在烘焙应用中，乳蛋白提供多种功能，例如结合水、替代蛋/脂、增强营养和延长保质期。高蛋白质原料，如WPC，已被证明可以改善面包和冷冻面团产品中的面筋结构和水结合特性，同时为营养标签提供蛋白质<sup>41</sup>。



酸奶蜜桃棒

### 营养棒

在蛋白棒应用中，WPC和WPI已被用于棒料混合物、复合涂层和挤压脆片产品中，为棒类/零食食品配方提供质地、风味和增强营养。水解的乳清蛋白已被证明，可以减少棒类产品的硬化<sup>42</sup>。



冷冻抹茶棒

### 冷冻甜点应用

牛奶和奶油传统上被用于冰淇淋和冷冻甜点。随着消费者对高蛋白质零食的兴趣不断增长，在冰淇淋和冷冻甜点中应用高蛋白乳原料也更受关注。MPC和WPC都可以将冰淇淋中的蛋白质含量从4.9%提高到7.2%，且不会对感官或储存稳定性产生负面影响。WPC也被用于在冰淇淋配方中以替代脂肪<sup>43</sup>。



扁豆汤

### 汤和酱料应用

多年来，牛奶、奶酪和奶油一直被用来增加汤和酱料的味道。乳蛋白有助于结合水和提升口感，这使其成为高蛋白膳食解决方案的理想原料。牛奶蛋白和乳清蛋白均可用于汤或酱料配方中，以增强营养，并提供中性风味和光滑质地。然而，如果将汤或酱料进行杀菌釜或UHT处理以保持货架稳定性，牛奶蛋白质（如MPC、MPI或MCC）可能是更好的选择，因为酪蛋白更加热稳并可以结合更多的水以保持粘度和外观的一致性<sup>44</sup>。

乳蛋白不仅兼具营养和功能，而且用途多样，足以带来消费者所需的具有创意和美味的食品解决方案。请访问 [ThinkUSAdairy.org](http://ThinkUSAdairy.org)，了解有关各类应用的更多信息，以及有关乳蛋白的生产和功能的深入技术专题。

## 供应保障：为未来创新需求提供高质量的可扩展产能

蛋白质有许多食物来源。传统来源包括牛奶、肉类/胶原蛋白、鸡蛋、大豆和小麦。然而，市场上已经出现了一系列用于食品的商业蛋白质来源，包括豌豆、扁豆、豆类、大米、马铃薯和燕麦。新的蛋白质来源也正在兴起、特色化和商业化，例如油菜籽、昆虫、麻类植物、微藻和单细胞蛋白等。在美国，蛋白质必须经过严格的测试和批准，例如一般认为安全（GRAS）、过敏性测试、营养分析、功能表征和消费者接受测试，才能用于食品和饮料应用，因此配方设计师在确定原料选择前对原料进行全面的检查核实。

在选择和采购原料时，稳定的供应是买家和生产商的关键考虑因素。作为世界上最大的牛奶生产国、乳清和牛奶蛋白原料的来源，美国乳业有能力为全球食品配方可靠地提供安全、优质、营养的乳品原料。相比之下，植物来源的蛋白质的生产规模仍然受到限制，但大豆除外。若对比产量，能够更明显的看出差距。2017年，仅在美国生产的乳蛋白（浓缩和分离的乳清和牛奶蛋白）的总量为33.6万吨<sup>45</sup>。这与新兴的豌豆、大米、小麦和马铃薯蛋白质的全球总产量大致相同（2016年为33万吨）<sup>46</sup>。受惠于奶酪产业的增长，连同丰富的土地资源、持续的研发投入和发展，以及出口的逐步扩大，美国乳蛋白的生产预计在未来数年将进一步扩大，能确保稳定供应，并根据客户和消费者需求量身定制各种乳蛋白原料。

## 总结

并非所有的蛋白质都一样。应用蛋白质为不同人群开发产品，无论是为脆弱的营养不良人群，还是为了运动营养、体重管理，或健康老龄化，选择高质量、完全的蛋白质都很重要。乳蛋白始终如一地提供重要的营养。

风味、外观、性能和营养都对产品愉悦度发挥作用，但这些特性要与基于成本和生活方式的着眼点相平衡。在这个日益重视蛋白质的新时代，强化食物的选择比以往任何时候都多。寻找始终如一地提供多种特性的蛋白质是关键。

不可否认，美国牛奶中的蛋白质很独特，能够提供多种理想的特性，帮助人们在各生命阶段茁壮生长。请访问 [ThinkUSAdairy.org](http://ThinkUSAdairy.org)，获取更多有关使用美国乳原料开发产品或寻找美国供应商。

美国乳品出口协会 (USDEC) 在此感谢美国国家乳品理事会，威斯康辛乳品研究中心和东南乳品研究中心的工作人员为本专题提供他们的专业知识。

目录	
章节	页码
介绍	1
可持续生产：美国奶农的承诺	2
加工：优势来源于如何从牛奶中获得蛋白质	2
来自牛奶的蛋白质	3
来自奶酪生产的蛋白质	3
营养：蛋白质的质量很重要	4
人体如何利用蛋白质	6
营养不良的双重负担	7
功能：优化身体表现的特性	8
持水性能	8
热稳定性	9
饮料评价	10
营养棒评价	11
感官评价	11
多功能性：广泛的应用潜力与消费者吸引力	13
供应保障	14
总结	15
参考文献	16

## REFERENCES

- <sup>1</sup> IRI. 2017. Top Trends in Fresh: Holistic Health.
- <sup>2</sup> NPD Group. 2014. U.S. consumers want more protein in their diets and look to a range of sources for it. <https://www.npd.com/wps/portal/npd/us/news/press-releases/us-consumers-want-more-protein-in-their-diets-and-look-to-a-range-of-sources-for-it>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>3</sup> United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. World Population Prospects: The 2017 Revision, Methodology of the United Nations Population Estimates and Projections, Working Paper No. ESA/P/WP.250. New York: United Nations. <https://esa.un.org/unpd/wpp>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>4</sup> Dolcera. 2017. Dairy versus Alternative Proteins: Patents, Scientific Articles & GRAS Study. Unpublished.
- <sup>5</sup> Climate Change Indicators: U.S. Greenhouse Gas Emissions. 2016. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-us-greenhouse-gas-emissions>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>6</sup> Henderson, A., Asselin, A., and Heller, M., et al., U.S. Fluid Milk Comprehensive LCA. University of Michigan & University of Arkansas 2012.
- <sup>7</sup> Mitloehner, F. 2017. Livestock and Climate Change: Facts and Fiction. University of California.
- <sup>8</sup> Industry facts and figures. 2016. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/industry-facts-and-figures/our-farms> Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>9</sup> U.S. Dairy's Sustainability Report. 2016. <https://www.usdairy.com/sustainability/commitment>. Accessed on June 19, 2018.
- <sup>10</sup> Wang, Y. 2018. Calculation from Manure Production and Characteristics, ASAE D384.2. March 2005 and How Much Nitrogen Does Corn Need? Below, F. and Brandau, P. 2001.
- <sup>11</sup> Patel, H. and Patel, S. Technical Report: Understanding the role of dairy proteins in ingredient and product performance. 2015. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/technical-report-understanding-the-role-of-dairy-proteins-in-product-performance>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>12</sup> Emerging Milk Protein Opportunities Technical Report. 2010. Dairy Management Inc. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/marketing-trends-and-nutrition-materials/milk-protein-opportunities-brochure>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>13</sup> Smith, K. 2017. Dried Dairy Ingredients, 2nd Edition. Wisconsin Center for Dairy Research.
- <sup>14</sup> USDA. <https://specialcollections.nal.usda.gov/dairy-exhibit#EarlyHistory>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>15</sup> Global Dairy Platform. 2016 Annual Review, p 7.
- <sup>16</sup> Institute of Medicine. 2006. Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11537>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>17</sup> van Vilet, S., Burd, N.A. and van Loon, L.J.C. 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. *J Nutr* doi: 10.3945/jn.114.204305.
- <sup>18</sup> Paddon-Jones, D., Campbell, W.W., Jacques, P.F., Kritchevsky, S.B., Moore, L.L., Rodriguez, N.R., van Loon, L.J.C. Protein and healthy aging. 2015. *Am J of Clin Nutrition* 101:6, p 1339S-1345S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.084061>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>19</sup> Mathi, J.K., L. Yanhong, and H.H. Stein. 2017. Values for digestible amino acid scores (DIASS) for some dairy and plant protein may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS). *British Journal of Nutrition* 117:490-499.
- <sup>20</sup> Rutherford, S.M. 2015. Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats. *J Nutr* 145(2):372-9. Doi:10.3945/jn.114.195438. Accessed online; June 19, 2018.
- <sup>21</sup> Boye, J. 2012. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *Br J Nutr* 108 (2): S183-211. doi: 10.1017/S0007114512002309; Accessed online June 19, 2018.
- <sup>22</sup> FAO. 2013. Report of an FAO Expert Consultation. Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition. Rome. <http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>; Accessed online June 19, 2018.
- <sup>23</sup> Phillips, S.M. 2016. The impact of protein quality on the promotion of resistance-exercise-induced changes in muscle mass. *Nutrition & Metabolism* 13:64 Doi: 10.1111/mbu.12063.
- <sup>24</sup> Global Nutrition Report: Nourishing the SDGs. 2017. [https://www.globalnutritionreport.org/files/2017/11/Report\\_2017.pdf](https://www.globalnutritionreport.org/files/2017/11/Report_2017.pdf). Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>25</sup> UNICEF, WHO & World Bank Group. 2017. Levels and trends in child malnutrition. In Joint Child Malnutrition Estimates. <https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2017/05/JME-2017-brochure-1.pdf> Accessed online June 5, 2017.
- <sup>26</sup> World Health Organization. 2017. Malnutrition fact sheet. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/malnutrition/en/>. Accessed December 5, 2017.
- <sup>27</sup> Stobaugh, H.C., Ryan, K.M., Kennedy, J.A., Grise, J.B., Crocker, A.H., Thakwalakwa, C., Litkowaski, P.E., Maleta, K.M., Manary, M.J. & Trehan, I. 2016. Including whey protein and whey permeate in ready-to-use supplementary food improves recovery rates in children with moderate acute malnutrition: a randomized, double-blind clinical trial. *American J of Clin Nutr*, 103:926-933.
- <sup>28</sup> Devries, M.C., and Phillips, S.M. 2015. Supplemental protein in support of muscle mass and health: advantage whey. *J of Food Science* 80:S1.
- <sup>29</sup> Miller, P.E., Alexander, D.D. and Perez, V. 2014. Effects of whey protein and resistance exercise on body composition: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J of the Am College of Nutr*, 33:163-175.
- <sup>30</sup> United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. World Population Ageing 2017 (ST/ESA/SER.A/408). <http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>31</sup> Houston D, Nicklas B, Ding J, Harris T, Tykavsky F, Newman A, Lee J, Sahyoun N, Visser M, Kritchevsky S, Health ABC Study. 2008. Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: The Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. *Am J Clin Nutr* 87(1):150-5.
- <sup>32</sup> Pennings B, Groen B, de Lange A, Gijsen A, Zorenc A, Senden J, van Loon L. 2012. Amino acid absorption and subsequent muscle protein accretion following graded intakes of whey protein in elderly men. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 302(8): E992-E9.
- <sup>33</sup> Bradley, M.L. Mustafa, J., Singer, M.R. and Moore, L.L. 2017. High-protein foods and physical activity protect against age-related muscle loss and functional decline. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 73(1):88-94.
- <sup>34</sup> Joy JM, Lowery RP, Wilson JM, Purpura M, De Souza EO, Wilson SM, et al. 2013. The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. *Nutr J*. 12:86.
- <sup>35</sup> Kapoor R, Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. International Whey Conference, Chicago. <http://www.internationalwheyconference.org>. Accessed online: November 29, 2017.
- <sup>36</sup> Rittmanic, S. 2016. U.S. whey proteins in ready-to-drink beverages. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-protein-in-ready-to-drink-beverages>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>37</sup> Burrington, K.J. 2017. Characterization of Functional and Sensory Properties of Select Commercial Food Protein Ingredients. Presented at the WI Center for Dairy Research, Research Forum, November 14, 2017.
- <sup>38</sup> Innova Market Insights. 2017. Unpublished.
- <sup>39</sup> Technical Report: Dairy Solutions for Clean-Label Applications. 2016. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/technical-report-dairy-solutions-for-clean-label-applications>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>40</sup> Application Monograph: U.S. dairy proteins and permeates in ready-to-drink beverages. 2017. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/ready-to-drink-beverage-monograph>. Accessed online: January 10, 2018.
- <sup>41</sup> Stoliar, M. and Burrington, K.J. 2008. U.S. whey ingredients in bakery products. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/food-and-beverage-manufacturing/bakery>. Accessed online: January 10, 2018.
- <sup>42</sup> Burrington, K.J. and R. Boutin. 2007. U.S. whey ingredients in nutrition bars and gels. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-ingredients-in-nutrition-bars-and-gels>. Accessed online: January 10, 2018.
- <sup>43</sup> Young S. 2007. Whey products in ice cream and frozen dairy desserts. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-products-in-ice-cream-and-frozen-desserts>. Accessed online December 5, 2017.
- <sup>44</sup> Patel, H., Patel, S., and Agarwal, S. 2014. Milk Protein Concentrates Technical Report. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/milk-protein-concentrates-manufacturing-and-applications>. Accessed online: December 5, 2017.
- <sup>45</sup> USDA National Agricultural Statistics Service. 2018. Dairy Products 2017 Summary. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/DairProdSu/DairProdSu-04-26-2018.pdf>. Accessed online June 19, 2018.
- <sup>46</sup> Giract. 2017. The Changing World of Protein Ingredients 2016-2021.