

# 欧洲乳品产业发展、产品创新和新技术应用

--记荷兰乳品研究所 (NIZO food research)

NIZO 执行总裁 A.C. Juriannse 博士

NIZO food research B.V. 6710BA Ede Netherlands

## 摘要:

本文将主要着眼于欧洲市场的最新趋势，乳产品创新和新技术的发展与应用，以及荷兰乳品研究所(NIZO food research B.V., the Netherlands)正发挥的重要作用。

目前欧洲市场的主要发展趋势是以降低疾病风险为目的的健康食品的研发（如体重控制和心脑血管健康）。区别于药物，新型健康食品同时具有生理和心理的功效。从目前的欧盟食品相关法律的发展来看，食品的健康性及功能性必须具有科学研究成果支持和证明。欧洲消费者的快速生活节奏也促使方便食品市场的快速增长。Ready-to-eat 和 On-the-go 等速食产品概念日渐流行，实现营养质量与产品便捷性的平衡成为重要的研发方向。此外，由于对环保和可持续发展的关注以及能源价格的持续上涨，为降低生产成本而优化工艺流程仍然是重要的课题，同时要求保证品质。目前欧洲食品厂商更关注于减少废物流和个别废物流的评估。通过提供源于消费者需求的先进技术和加速创新，NIZO 始终保持在乳品技术研发的领先地位。

NIZO 坐落于荷兰食品谷(Food Valley)，目前拥有 200 以上专业研发人员，是世界范围内仅存的少数独立乳品研究机构。自 1948 年建立，NIZO 始终遵循探索科学前沿和将新科技成果应用于生产的轨迹。目前 NIZO 为乳品和其他食品工业提供研发服务。乳品工业的发展也反作用于 NIZO。原来的基于原材料的研究方向已经被新的理念代替，只要包括以下两点：

1. 拓展新科学领域（如基因组学 genomics 和计算物理 computational physics），为乳品工业提供更多技术发展点；
2. 以保密的合同制研究模式为了消费者的新收益或供应链改进，将高新技术引入工业化生产。

NIZO 为客户提供快速和严格保密的基础和应用性研究，包括产品新产品研发和现有产品改进(Innovation and Development)。NIZO 的工艺中心(Processing Centre)拥有欧洲最大的食品级中试车间，可以用来对(新)生产流程进行放大、检验和优化，或者为试销售和展会进行小批量生产。在 NIZO 应用中心(Application Centre)可以检测食品原料和改进新产品。

**关键词：**风味，食品安全，健康，工艺，研究机构，食品物理

## 1. 介绍

### 1.1 乳品研发的进展

乳品世界已经发生了翻天覆地的变化。经过持续的兼并和收购，乳品企业的数量大幅度下降，如今的全球或区域乳品市场被少数大型企业占据。同时随着农业在国民经济中的比重下降，政府正在削减对公共乳品研发的投入。乳品

企业不仅面临彼此的激烈竞争，更要面临传统意义上的非乳品企业，他们为消费者提供“类乳产品”，例如软饮料、果蔬产品和氢化黄油。

创新的压力迫使企业应用更多非乳源性新原料，因此很多乳品公司已经成为“食品公司”。当乳品公司自有研发部门的技术和资源不足时，外部研发提供者的保密性也显得十分重要。

乳品研发产业也随之发生了重大转变。世界范围内独立乳品研发机构的数量出现了大幅的下降。传统意义上的乳品研发针对原材料，着眼于了解原料和产品的性质、加工过程中的保持和工艺的优化。乳品研发目前已经转为针对消费者获益的传递，提高创新速度和改进工艺效率和稳定性的手段（表 1）。

表 1：乳品研发的主要改变：从原料主导到市场主导

科学领域	原料主导	市场主导
生命科学	了解和控制菌种和发酵工艺	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 风味感观和区分</li> <li>• 提供健康益处（益生菌）</li> <li>• 延长货架期（安全性）</li> <li>• 质量和安全</li> </ul>
食品物理	了解食品固相和液相的特征 改进产品稳定性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 新材质的生成与感观</li> <li>• 活性物质的可控释放</li> <li>• 定制风味的感官和口感</li> <li>• 非乳源原料的功能性</li> </ul>
工艺学	工艺流程优化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 产品性质建模</li> <li>• 产品和工艺联合设计</li> <li>• 降低成本和卫生工艺</li> <li>• 新型/灵活工艺</li> <li>• 连续生产能力</li> </ul>

### 1.2 乳品科学还是食品科学？

乳产品的组分越来越复杂，需要包括乳源和非乳源两方面原料物性和工艺的新知识。乳品科学已经获得了更广泛的应用价值。乳品科学的成果经常被应用到其他食品科学领域，例如凝胶化、乳胶化、高价值化合物的分离、卫生、标准和感官改进等。可以说，乳品科学已经成为“食品科学之母”。乳品企业从中得益：新原材料的应用催生了对乳品副产品价值的重新检视。

### 1.3 NIZO 的历史

NIZO 于 1948 年由荷兰乳品工业联合建立，其历史折射了乳品市场的发展历程。雄厚的科技传承与工业相结合，NIZO 是紧随市场的发展变化并始终保持独立地位的少数乳品研发机构之一。NIZO 已经公开发表了许多关于产品工艺和流程的文献，为乳品企业验证并应用（见表 2，表 3）。

NIZO 与工业伙伴紧密合作中进行研发。为了结合科学和企业生产，NIZO 的专业人员分别来自学术机构和生产企业，以确保学术卓越和新技术实践应用。基于多年丰富经验的多学科交叉项目管理，来自工业的绝大部分技术需求可以得到满足。

NIZO 已经由曾经的研发机构成长为独立的研发服务提供商，根据乳品工业的需求，努力创新，保持乳品研发领域的世界领先地位。

## 1.4 NIZO 的优势专业领域

近年来，NIZO 的科技优势已经从以产品为中心（乳酪、奶粉、液态奶、酸乳）拓展到更加广泛的技术平台，包括食品物理学、生命科学和食品工艺学（图 1 和表 1）

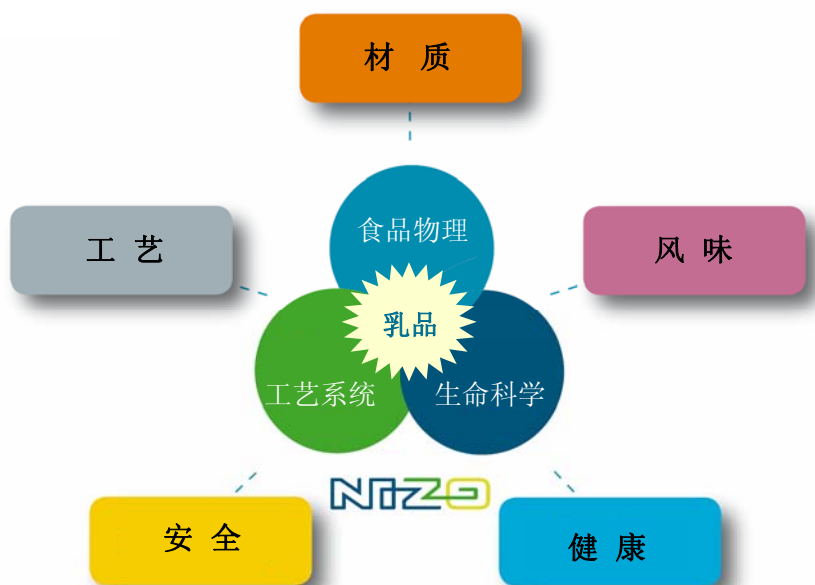


图 1: NIZO 的核心专业领域和工业应用

## 2. 从知识到实践

### 2.1 知识基础上的创新

独占性技术往往可以保证企业在激烈的市场竞争中保持多年的优势。为此目的，功能性和感官性的益处的有机结合是具有决定意义的。表 2 归纳了一些 NIZO 为了平衡感官与功能性益处而进行的开发的例子。

表 2: 为创新和改进消费者获益 NIZO 的技术改进成果（例）

消费者获益	产品/功能性获益	相关技术
感官愉悦 (如风味, 多样性)	如多种新乳酪产品, 包括雷达美 (Leerdammer), 帕拉诺(Parrano)和科海莫(Kernhemmer)	菌种选育, 工艺技术, 风味分析
舒适性 (如省时、方便)	肉替代品/早餐饮品 乳酪片, 超速溶粉	蛋白质结构和稳定性 微观稳定性 超微粉碎/聚合技术
运动性 (平衡饮食、抗疲劳、能量补充)	低脂产品 运动性饮料 (含多肽) 情绪食品 (氨基酸、多肽)	风味/材质生成 苦味物质的避免生成、去除或掩盖 酶法水解 下游工艺
健康性 (功能食品、纯天然食品)	婴儿食品 (去过敏原) 益生菌 (抗致病菌、增强免疫力) 强化食品 (钙) 减肥食品 (膳食纤维、富蛋白和特定风味)	体内/体外检测 无力稳定性 辅料生产和选择 饱食性特殊风味构建 饱食性的体内/体外验证

## 2.2 供应链

市场竞争在推动企业研发新产品的同时，也要求降低生产消耗。乳品企业往往要处理大量的原材料，生产效率上的小改进都有十分重要的意义。表 3 归纳了为了帮助企业建立低耗生产模式的供应链辅助工具。

表 3: NIZO 开发并在工业运用的供应链工具 (例)

<i>供应链需求</i>	<i>NIZO 开发的工具系统</i>	<i>系统类型</i>
稳定质量和低耗	NIZO-Premic (热处理) FlaQci (风味控制系统) 在线监控系统 (如流动性和结构、挥发性等) NIZO 黄油工艺系统	工艺-产品交互模型控制系统 流动性和挥发物质感应和方法学 多组分菌种的连续发酵流程
灵活性	NIZO Premia (热处理, 降膜蒸发器, 粉剂生产, 乳酪生产) Es spraydry (粉剂生产)	针对产品质量和生产耗损的工艺流程模拟模型
安全性	监控程序 (邻苯二甲酸盐/酯, 霉菌毒素、副结核分枝杆菌, 酪丁酸梭菌和抗生素残留) NIZO-Premia	化学和微生物安全的新分析方法 用于风险评估和风险管理的预测模型
环境	Opti CIP: 降低清洗损耗, 清洗剂的回收使用 Powder emission (粉末释放)	清洗模型 膜处理系统 粉剂释放测量方法 降低能量消耗
自动化	Casomatic NIZO Starters Nicosys	乳清的连续排出 加工助剂 (质量和产量) 干燥装置防火预警系统

## 2.3 理论与实践

“不能生产该产品，就谈不上进行相关的研究。”这已经成为 NIZO 自创立以来一直坚持的首要理念。NIZO 拥有最新的亚工业规模中试车间，涵盖所有乳品生产中的单元操作，包括液态制品、酸乳、乳酪（鲜、亚硬质和硬质）、奶粉和配料（从发酵菌种到高纯度蛋白、磷脂等）。另外，NIZO 的中试车间更是进行小批量高价值配料生产的完美选择，从液态制品的一线式生产到高科技（发酵）配料。传统意义上的中试车间主要应用于大规模工业化生产前的逐级放大过程，但是实际中的应用更加广泛。NIZO 的客户使用这些设备生产精品级产品、试验市场样品、或解决新工艺/设备运行中出现的问题。另外产品-工艺模型的改进和验证可以帮助企业实行减耗项目和加快创新。同时拥有丰富研究背景和工业生产经验的专家使 NIZO 能够高效率地将理论知识转化为工业化成果。

2008 年，NIZO 增设了全新的食品应用中心（FAC），大大扩展了食品级生产的能力。FAC 为客户提供极具有竞争力的平台，使专家更有效地应用基于知识的理念，快速进入特定目标市场。FAC 帮助客户成为更高效更充分的创新者，一个充满灵感的厨师随时提供模拟，同时 NIZO 的专家利用丰富的经验和技术手段使这全新产品可处理、理化性质稳定和最优化。对于辅配料供应商，

FAC 可用来测试配料在诸多产品中的应用，以了解应用过程中的功能性，并为标注提供证据。FAC 是 NIZO 客户特定工艺应用的灵活场所。目前 FAC 已经被应用于以下产品：乳品、饮料、汤品、调味品、冰淇淋、糖果、烘焙制品和肉制品。

### 3. 乳制品的独特性：面向未来的承诺

#### 3.1 乳制品特有的风味

为了传递消费者收益，风味生成和保持是未来乳品工业的关键技术。自然形成的香味是乳制品风味的独特优势；众多香味化学物质伴随着牛奶发酵生成。相对于合成风味，消费者往往更倾向于均衡醇厚的发酵复合风味。这赋予乳品企业一独特的竞争优势。

基于多年的乳品风味研究，NIZO 已经为创新性应用收集保藏了极为丰富的菌种资源 (Smit et al. 2000; Wouters et al. 2002)。基因组学的快速发展极大促进了发酵技术的改进(Pastink et al. 2008; Kleerebezem et al. 2003; Van Hylckama Vlieg et al. 2003; Van Kranenburg et al. 2003)。现代生物科技已经被用来建立基因表达与产品功能性之间的联系，并根据新功能鉴定新菌种 (株)

(Kllerebezem et al. 2002)。尽管消费者对现代生物技术(转基因)的应用还不很积极，但是基因组学研究成果已经被积极应用于传统发酵中，并进一步融入产品。这些应用包括加速熟化、重酸化酸乳、高活性肽酶去除苦味、乳酪风味浓缩产品、低热量丙氨酸单体生产等。近二十年来高通量筛选技术(HTS)快速发展，使得特定测试状态下对(天然)菌株的快速比较成为可能。应特别提及的成果是“微乳酪系统(Microcheese System)”，被应用于筛选乳酪生产中的菌株。利用这一系统，每天可以生产 600 个不同的微乳酪(每个 200 mg)以监测发酵菌种的活力(Bachmann et al. 2007)。

未来的研究将结合对代谢途径的了解和数字化计算机建模技术，达到预测生产过程(如乳酪熟化)中风味形成的目的。这项技术也能够被应用于预测货架期中风味的稳定性(Boelrijk and De Jong 2002; Verschuren et al. 2002; De Jong et al. 2003a, Verschueren et al. 2006)。

消费者的风味感受是多模拟元的综合结果：挥发性，非挥发性风味物质及其释放动力学性质也会影响消费者的接受程度。新分析设备例如质谱鼻(MS Nose)和气味测量计(olfactometer)的应用，结合先进的感官分析技术，使辨别风味和物性的功效成为可能，并有希望为乳品工业提供更多的创新点(De Jong et al. 2002a; Weel et al. 2002,2003)。近年来，对含有益健康成分食品的市场需求持续走高。但是这些健康成分通常会损害食品原有风味或使风味组成失衡。寻找掩盖异味或强化添加成分风味，以维持完美风味平衡的解决方案将是产品开发中十分耗时并且昂贵的步骤。NIZO 为此开发了一全新技术，称为

“Olfactoscan<sup>®</sup>”，用来快速筛选拥有风味遮掩或良性风味增强作用的化合物。其独特之处在于利用特别构建的界面结合了气味测量计和气相色谱两项技术。这一界面混合特定异味和潜在的掩盖风味物质，并且控制其在生产流程中的输送。高效与可靠食源风味提取物结合使 Olfactoscan<sup>®</sup>成为对异味物质检测的快速线上技术解决方案(De Jong and Burseg, 2008)。

#### 3.2 新优乳品组织结构

随着消费市场的发展，乳制品需要新的功能性特质，例如便捷性、健康特性、长货架期、多层次复合产品、物质释放的可控性等。

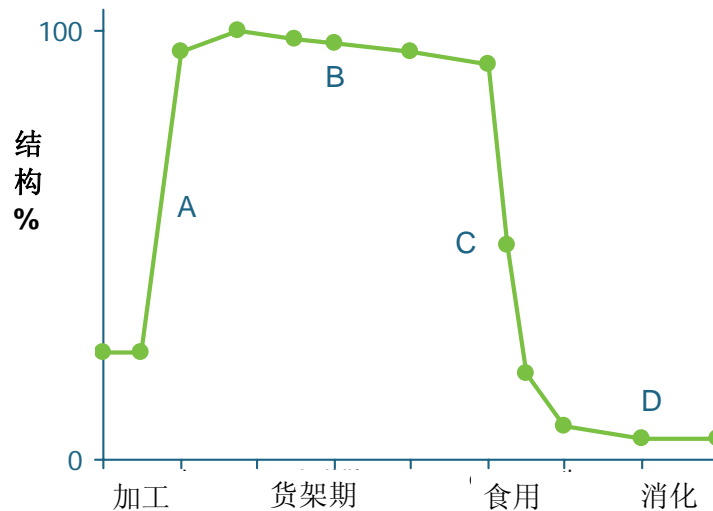


图 2. 产品周期中的材质变化: (A) 加工过程中结构和材质形成; (B) 货架期间的结构; (C) 食用过程中的可控结构解体; (D) 消化过程中的进一步降解和吸收。

图 2 归纳了伴随产品生命周期与 NIZO 进行食品结构学研究的主要领域。传统意义上，大部分组织学研发着眼于图中的 A 和 B 部分，以在货架期内维系特定的厚度、硬度及凝(乳)胶体系稳定性。如今产品的生命循环也包含了产品消费期(C 部分)，以获得最佳口感所需的咀嚼过程不稳定性(Van Aken et al. 2007)。就在最近，焦点已经进一步向产品消化环节(D 部分)转移。产品或其成分的设计已经针对为获得特定健康功效，或传递特定成分至消化道的特定部位。食品的宏观特性（流变学，rheology）和分子级结构分析都成为研究的重点课题。但是这些级别的研究只能对产品组织结构的形式和解体，或产品特性与组织结构的关联提供有限的认知。所以未来该领域的研发将着眼于被称为细观结构级别(meso structure level):

- (1)宏观(Macro): 凝胶和乳胶的结构流变学；消费者感官和结构分解
- (2)细观(Meso): 乳胶颗粒之间或分相高聚物系统中的蛋白张力/交联的特性与结构
- (3)微观(Micro): 包括消化道中的消化和吸收过程的诸多分子特性

凝胶形成过程中的分子交联，颗粒-颗粒或颗粒-胶质之间乳化剂的作用决定了产品的特性，进而影响消费者感官。目前减少饱和及反式脂肪酸在食品中使用的趋势迫使整个工业探究基于乳胶产品感官背后的机理(Van de Velde et al. 2008)。目前主要的最新分析仪器和方法包括激光共聚焦扫描显微镜(Confocal laser scanning microscopy, CLSM)(Van de Velde et al. 2003)，光散射技术(De Kruif and Holt 2003)，磨损学和微观流变学等。后者结合了微观结构的 CLSM 可视化与测量可控解体下产品的流变学特性。这些解体包括模拟舌腭间挤压(Van den Berg et al. 2008a)和舌腭间液体涂抹(Dressehuis et al. 2008a)。

为了控制产品特性，要检测真实情况下的剪切力和温度。微结构分析的最新进展已经能使学者对特定级别（细观）的结构进行研究，甚至伴随咀嚼过程

(Tromp et al. 2004)。这是向更好的了解加工过程中的结构(形成需要的结构)或在与口腔相同状态下的结构分解的主要步骤。近期的研究表明微结构和真实口腔情况下的切割行为对了解口腔感觉需求的重要性,如多汁型(Van der Berg et al. 2007),易碎性(Van den Berg et al. 2008b)和类奶油性(Dresselhuis et al. 2008b)。

含特定难混合成分(如脂肪和水,蛋白质和多聚糖等)的产品有其固有的不稳定性。学者们与热力学进行着长期的持续抗争。随着非乳品原材料的引入,要求更好地了解和控制复合高聚物系统的性质。特别是对蛋白质和多聚糖的交联作用对理性食品设计有至关重要的意义(De Jong and Van de Velde 2007; De Jong et al. 2008)。

新产品的需要,例如从产品结构释放的小分子的控制,胶囊化和食品中小分子移动中的新问题(De Hoog and Tromp 2003; Weinbreck et al. 2004)。由功能性或生物活性成分在食品中的强化更加推动了对先进胶囊化技术的研究。NIZO 开发了基于定制功能性(tailored functionality)的天然胶囊化技术。通过对包被蛋白的天然交联研究开发了定制功能性(Alting et al. 2007; Floris et al. 2008)。基于这项技术开发了一种肠包被可以在胃酸环境中得以保全,在小肠部位降解从而将生物活性物质运输目标部位(Lambert et al. 2008)。为了快速检测活性物质的释放, NIZO 还开发了模拟食物组织和成分生理降解的方法, SYMPHYD。食物组织和成分的分解和消化在结构设计的权重决策中是重要的考虑方面。

食品物理和在数学模型中重现加工状况的能力结合在一起可以对工艺效率和产品物性控制更加有效。同时这项改进为知识管理的崭新方式打下牢固的基石(Smit et al 2001; De Jong et al 2002a; Vissers and De Jong 2003)。

物理学和食品工艺学不是执掌制造新型材料的维二工具;一旦完成分子功能性分子的鉴定,生命科学会导致更多更新的拥有改进特性的新分子。

### 3.3 功能性健康成分

消费者需要舒适、长寿和健康。NIZO 把研究重点放在肠道,因为绝大多数的功能性都(声称)在此部位体现。

钙的重要性在于降低肠道感染和直肠癌的风险(Bovee-Oudenhoven et al 2003a; Govers et al 1996)。此外钙还可能对炎症性肠病起积极作用。其他几种乳品成分也可能调整对肠道感染的抵抗力(Sprong et al 2001)。益生元和益生菌因可以影响肠道菌群组成而为人所知(Bovee-Oudenhoven et al 2003b),并且益生菌菌可以用作某些营养物质在肠道内的原位合成(Sybesma et al 2004)。二者也可能在免疫反应改善过程中起重要作用。即将诞生的新生物标记将有助于阐明食品成分在肠道健康中的功效。

超重和肥胖症是包括成人和儿童的主要公共健康问题。近年来,世界范围内的肥胖级别显著升高。所以食品企业必须重视其反应并且将合理的饮食建议(建议增强体育锻炼)结合于新产品的诸多影响因素(饱食度)中。来自于嗅觉、味觉、色泽、温度以及组织的感官效应是饮食终结重要的影响因素。另外改变风味特性也对增强感官特异的饱食感有作用(Ruijschop et al 2008)。蛋白质和脂肪的功能性能彼此增强过饱食效应。益生元和益生菌被发现调整饱食相关激素和能量摄入,也可以作为体重控制的功能性成分(Ten Bruggencate and Meyer, 2008)。

### 3.4 乳品工艺

追求低耗生产, 持续性和食品安全性将继续左右乳品工业。企业结构(人员)的高频度改变使乳品企业面临严重的专业人员流失, 甚至企业的核心专业领域。这就提高了对知识管理的要求。为维持知识体系、降低生产消耗和加快创新速度, 相关的信息技术工具得到了长足的发展(De Jong et al 2002b,c,2003b,2005; Verdurmen et al 2004, 2006)。若干 IT 系统已经完成并且被应用于将 NIZO 对食品物性的了解与食品安全性质相结合, 进而降低生产成本或优化产品特性。案例见表 3。

绝大多数 IT 工具被植入到用户友好的软件环境中, 如 NIZO-Premia 和 ES-Spraydry 来保证用户的可使用性, 一些甚至可以通过互联网接入(Schutyser et al 2007)。目前乳品和食品企业的研发部门和生产部门正在应用这些 IT 工具来降低生产成本和改进产品质量。

需要有限计算时间的数学建模工具已经被植入基于模型的在线控制系统 NIZO-Premic。不同于传统的控制系统, Premic 允许使用产品质量参数作为设定点。内置的预测模型确保工艺设定点在整个生产过程实现最优化。

除了关于食品和软件应用的知识, 可靠 IT 工具的完善与改进还需要工艺和产品数据。NIZO 的中试车间设备及其生产中获得的数据在 IT 工具发展中起着重要的作用。给定的生产规模下得到的消耗往往偏高。因此 NIZO 正在开发实验性的实验室级别生产流程, 允许在大范围生产条件下的高通量测试, 为改进 IT 工具提供更合适的数据。在这一框架下的第一项发展是已经在几个工业化项目中的微型热交换器, 例如检测食品生产中微生物芽孢的热敏感型, 获得的相关灭活数据可以接下来应用于 IT 工具中以优化大规模生产(De Jong et al 2005; Fox and De Jong 2007)。其另一个优势是合适的接入性, 可以使用优化工具来在线测量数个产品质量参数。

通过结合工艺和应用技术优势, 以及从已有的 IT 工具获得的数据, NIZO 正在重新设计乳品生产流程, 以降低生产成本, 确保安全, 根据可持续性达到(未来)标准。例如与荷兰乳品企业合作, NIZO 正在探索一个全新的零废物乳清生产流程, 包括最小化和循环使用过程水, 寻找分解副产品如乳清盐的新应用, 如最小化乳清盐的排放。

### 3.5 食品安全和风险管理

食品安全是倍受争议的公共问题。今天的消费者对食品有很高的要求, 诸如有自然风味和新鲜度的方便性产品, 并且高度安全。这无疑是食品工业面临的巨大挑战。

NIZO 在食品链特别是乳品生产链中的安全和质量方面有很强的可追溯历史。NIZO 提供覆盖整个食品链的食品安全改进方案(Klijn et al 1995; Van Gerwen et al 2000; Te Giffel et al 2000,2001,2002; Klijn et al 2001; Rademaker and Te Giffel 2001; Ellen and Tudos 2003; Olieman 2003; Driehuis and Te Giffel 2006; Marco and Wells-Bennik 2008; Vissers et al 2007)。鉴定潜在的(新)危害和实施有效的控制方案。NIZO 提供的分析服务包括对化学污染的最新检测, 检测微生物污染的最新(分子)技术, 针对食品链中微生物(如致病菌、芽孢等)的灭活/生长预测模型, 对化学和微生物污染的定量风险评估模型, 为确保卫生工艺流程的计算机辅助设计, 和依需要进行特例分析。另外新近对产品储藏的研究有助于延长产品货架期和创新。

NIZO 的工具和优势使食品产业应用最经济的工艺条件生产最优化的产品, 同时保证高度的食品安全性。



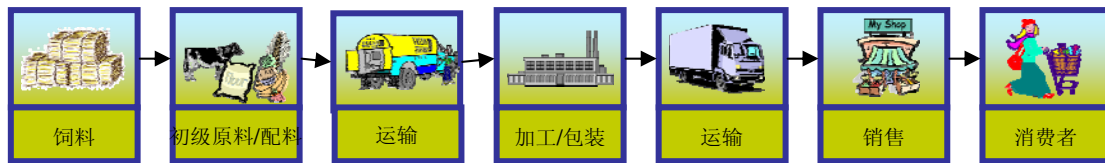


图 3: 食品链中各步骤的食品安全模型

#### 4. 技术造就成功

NIZO 同时致力于基础科学研究和其工业应用。学者和工业长期相互影响保证了科学研究成果推动工业化的持续创新。NIZO 的角色已经随时间改变。多年前，荷兰乳品工业内部存在竞争，NIZO 开发的技术导致企业投产新产品，例如 Leerdammer 和 Kernhemmer 乳酪。今天，乳品企业拥有自己的研发部门，而 NIZO 也成为通过给予保密的支持某一公司产品研发的技术提供者。NIZO 的业务理念则更类似于计算机芯片制造商“NIZO inside”。

尽管视野已经扩展到其他食品类别，NIZO 还是致力于在乳品研发中保持领先地位。通过参与许多国际科学网络，NIZO 站在科学的新水平线上，将新技术带到工业生产。

#### 参考文献:

- Alting A C, Floris R, Weinbreck F and Grandia J (2007) Protein encapsulated particles. Patent application WO 2007 136263 (publication date 2007-11-29).
- Bachmann, H, Kruiswijk, Z., Van Hylckama Vlieg, J. E. T. 2007. MicroCheese: a high throughput cheese screening model. Proceedings NIZO 4th NIZO dairy Conference, June 2007, Papendal, The Netherlands.
- Boelrijk A E M and De Jong C (2002) Relating analytical and sensory data to predict flavor quality in dairy products. In *Freshness and Shelf Life of Foods*, pp 95–107. Cadwallader K R and Weenen H, eds. Washington: American Chemical Society.
- Bovee-Oudenhoven I M, Wissink M L, Wouters J T and Van der Meer R (1999) Dietary calcium phosphate stimulates intestinal lactobacilli and decreases the severity of a salmonella infection in rats. *Journal of Nutrition* 129 607–612.
- Bovee-Oudenhoven I M J, Lettink-Wissink M L G, van Doesburg W, Witteman B J M and van der Meer R (2003a) Diarrhea caused by enterotoxigenic *Escherichia coli* infection of humans is inhibited by dietary calcium. *Gastroenterology* 125 469–476.
- Bovee-Oudenhoven I M J, Ten Bruggencate S J M, Lettink-Wissink M L G and van der Meer R (2003b) Dietary fructo-oligosaccharides and lactulose inhibit intestinal colonisation but stimulate translocation of salmonella in rats. *Gut* 52 1572–1578.
- De Hoog E H A and Tromp R H (2003) On the phase separation kinetics of an aqueous biopolymer mixture in the presence of gelation: the effect of the quench depth and the effect of the molar mass. *Colloids and Surfaces A— Physicochemical and Engineering Aspects* 213 221–234.
- De Jong P, Verschueren M, Vissers M M M, Straatsma J and Smit F (2002a) Hybrid modelling for development and optimisation of food production chains including costs and food quality. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation in Food and Bio Industries*, pp 13–17. O’Connor B and Thiel D, eds. Ghent: SCS Europe.

De Jong P, Te Giffel M C and Kiezebrink E A (2002b) Prediction of the adherence, growth and release of microorganisms production chains. *International Journal of Microbiology* 74 13–25.

De Jong P, Te Giffel M C, Straatsma J and Vissers M M M (2002c) Reduction of fouling and contamination by predictive kinetic models. *International Dairy Journal* 12 285–292.

De Jong P, Verschueren M, Vissers M M M, Straatsma J and Smit F (2003a) Hybrid modelling for prediction of complex food properties. In *Predictive Modelling in Foods—Conference Proceedings*, pp 271–273. Van Impe G, Geeraerd I, Leguérinel I and Mafart P, eds. Leuven: Katholieke Universiteit.

De Jong P, Smit F, Straatsma J, Vissers M M M, Verschueren M and Van de Wiel J (2003b) In-line process optimisation based on predictive models. In *Predictive Modelling in Foods—Conference Proceedings*, pp 241–243. Van Impe G, Geeraerd I, Leguérinel I and Mafart P, eds. Leuven: Katholieke Universiteit.

De Jong, P., Huijs, G., Vissers, M.M.M., Verschueren, M., Verdurmen, Sustainable processing opportunities for the food industry. In: *Sustainable (Bio)Chemical Process Technology* (Jansens, P., Stankiewicz, A., Green, A. eds.), BHR Group, Bedfordshire, United Kingdom (2005) 115-130

De Jong, C. and Burseg, K. (2008). *Proceedings of the Weurmann Symposium, Interlaken, Switzerland, July 1-4<sup>th</sup> 2008.*

De Jong S and Van de Velde F (2007) Charge density of polysaccharides controls microstructure and large deformation properties of mixed gels. *Food Hydrocolloids* 21 1172-1187.

De Jong S, Klok H J and Van de Velde F (2008) The mechanism behind microstructure formation in mixed whey protein-polysaccharide cold-set gels. *Food Hydrocolloids* (in press)  
doi:10.1016/j.foodhyd.2008.03.017

De Kruif C G and Holt C (2003) Casein micelle structure, function and interaction. In *Advanced Dairy Chemistry, Vol. 1: Proteins*, pp 233–276. Fox P H and McSweeney P L H, eds. New York: Kluwer.

Driehuis, F. and M.C. te Giffel. 2006. Mycotoxin management in the dairy production chain. *The World Mycotoxin Forum - the 4th conference*, pp. 36-37. Bastiaanse Communication, Bilthoven, The Netherlands

Dresselhuis D M, De Hoog E H A, Cohen Stuart M A and Van Aken G A (2008a) Application of oral tissue in tribological measurements in an emulsion perception context. *Food Hydrocolloids* 22 323-335.

Dresselhuis D M, De Hoog E H A, Cohen Stuart M A, Vingerhoeds M H and Van Aken G A (2008b) The occurrence of in-mouth coalescence of emulsion droplets in relation to perception of fat. *Food Hydrocolloids* 22 1170-1183.

Ellen G and Tüdös A J (2003) On-line measurement of product quality in dairy processing. In *Dairy Processing, Improving Quality*, pp 263–291. Smit G, ed. Cambridge: Woodhead.

Floris Th A G, Bodnár I, Weinbreck F C J and Alting A C (2008) Dynamic rearrangement of disulfide bridges influences solubility of whey protein coatings. *International Dairy Journal* 18 566-573.

Fox, M.B., Jong, P. de, Speed-up process development with the micro-pilot-plant. Abstract in: *Proceedings of 7th Netherlands Process Technology Symposium. Veldhoven (2007) p98*

Govers MJ, Termont DS, Lapre JA, Kleibeuker JH, Vonk RJ, Van der Meer R. Calcium in milk products precipitates intestinal fatty acids and secondary bile acids and thus inhibits colonic cytotoxicity in humans. *Cancer Res* 1996;56:3270-5.

Hugenholtz J, Sybesma W, Nierop Groot M (2002) Metabolic engineering of lactic acid bacteria for the production of nutraceuticals. *Antonie Van Leeuwenhoek* 82 217–235.

- Kleerebezem M, Boels I C, Nierop Groot M, Mierau I, Sybesma W and Hugenholtz J (2002) Metabolic engineering of *Lactococcus lactis*: the impact of genomics and metabolic modelling. *Journal of Biotechnology* 98 199–213.
- Kleerebezem M, Boekhorst J, van Kranenburg R, Molenaar D, Kuipers O P, Leer R, Vos W M and de and Siezen R J (2003) Complete genome sequence of *Lactobacillus plantarum* WCFS1. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100 1990–1995.
- Klijn N, Nieuwenhof F F J, Hoolwerf J D, Van der Waals C B and Weerkamp A H (1995) Identification of *Clostridium tyrobutyricum* as the causative agent of late blowing in cheese by species-specific PCR amplification. *Applied and Environmental Microbiology* 61 2919–2924.
- Klijn N, Herrewegh A A P M and De Jong P (2001) Heat inactivation data for *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis*: implications for interpretation. *Journal of Applied Microbiology* 91 697–704.
- Lambert J M, Van der Meer R, Weinbreck F and Kleerebezem M (2008) *In vitro* analysis of Bsh enzyme protection against enteric conditions by whey protein-gum arabic microencapsulation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, submitted for publication.
- Marco, M.L. and M.H.J. Wells-Bennik. 2008. Impact of bacterial genomics on quality and safety in the dairy production chain. *International Dairy Journal*. 18: 486-495
- Olieman C (2003) Detecting taints from cleaning and disinfecting agents. In *Hygiene in Food Processing*, pp 279– 286. Lelieveld H L M, Mostert M A and Holah J B, eds. Cambridge: Woodhead.
- Pastink, M. I., Sieuwerts, S., De Bok, F. A. M., Janssen, P. W. M., Tuesink, B., Van Hylckama Vlieg, J. E. T., Hugenholtz, J. Genomics and high throughput screening approaches for optimal flavour production in dairy fermentation. *International Dairy Journal* 18, 781-789.
- Rademaker J L W and Te Giffel M C (2001) Microbial analysis: application of molecular diagnostics in the food supply chain. *New Food* 3 8–13.
- Ruijschop RM, Boelrijk AE, de Ru JA, de Graaf C, Westerterp-Plantenga MS. Effects of retro-nasal aroma release on satiation. *Br J Nutr* 2008;99:1140-8.
- Schutyser M., Straatsma J., Keijzer P., Vissers M., Verschuieren M., De Jong P., and Horak P. A new web-based modelling tool (Websim-MILQ) aimed at optimization of heating processes in the dairy industry (2007). *Proceedings International congress on Predictive modeling in Foods* 16-19 September 2007, Athens, Greece.
- Smit G, Verheul A, van Kranenburg R, Ayad E H E, Siezen R and Engels W (2000) Cheese flavour development by enzymatic conversions of peptides and amino acids. *Food Research International* 33 153–160.
- Smit F, De Jong P, Straatsma J and Verschuieren M (2001) NIZO-Premia brengt kennismanagement in industriële praktijk. Deel 1: Achtergrond en toepassing van het system (NIZO Premia as knowledge management tool for industry, in Dutch). *Voedingsmiddelentechnologie* 34 23–26.
- Sprong RC, Hulstein MF, Van der Meer R. Bactericidal activities of milk lipids. *Antimicrob Agents Chemother* 2001;45:1298-301.
- Sybesma W, Burgess C, Starrenburg M, van Sinderen D, Hugenholtz J. Multivitamin production in *Lactococcus lactis* using metabolic engineering. *Metab Eng* 2004;6:109-15.
- Te Giffel M C, Beumer R R, Christiansson A and Griffiths M W (2000) *Bacillus cereus* in milk products. *Advances in detection, typing and epidemiology. Bulletin of the International Dairy Federation* 357 47–55.
- Te Giffel M C, J. Meeuwisse and P. de Jong. 2001. Control of milk processing based on rapid detection of micro-organisms. *Food Control* 12, 305-309.

- Te Giffel M C, Wagendorp A, Herrewegh A and Driehuis F (2002) Bacterial spores in silage and raw milk. *Antonie van Leeuwenhoek* 81 625–630.
- Ten Bruggencate SJM, Meyer, D. Dietary oligofructose modulates gut peptides involved in satiety regulation. Submitted 2008.
- Tromp H, De Kruif C G, Van Eijk M and Rolin C (2004) On the mechanism of stabilisation of acidified milk drinks by pectin. *Food Hydrocolloids* 18 565–572.
- Van Aken G A, Vingerhoeds M H and De Hoog E H A (2007) Food colloids under oral conditions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 12 251-262.
- Van de Velde F and Tromp R H (2002) What does mouthfeel look like? *Food Engineering and Ingredients* 27 38–43.
- Van de Velde F, Weinbreck F, Edelman M W, Van der Linden E and Tromp R H (2003) Visualisation of biopolymers mixtures using confocal scanning laser microscopy (CSLM) and covalent labelling techniques. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 31 159–168.
- Van de Velde F, De Hoog E H A and Ruischop R M A J (2008) Sensory perception of emulsions: translating science into products. *AgroFOOD industry hi-tech* 19 (May/June) 50-52.
- Van den Berg L, Van Vliet T, Van der Linden E, Van Boekel M A J S and Van de Velde F (2007) Breakdown properties and sensory perception of whey proteins/polysaccharide mixed gels as a function of microstructure. *Food Hydrocolloids* 21 961-976.
- Van den Berg L, Klok H J, Van Vliet T, Van der Linden E, Van Boekel M A J S and Van de Velde F (2008a) Quantification of a 3D structural evolution of food composites under large deformations using microrheology. *Food Hydrocolloids* 22 1574-1583.
- Van den Berg L, Carolas A L, Van Vliet T, Van der Linden E, Van Boekel M A J S and Van de Velde F (2008b) Energy storage controls crumbly perception in whey proteins/polysaccharide mixed gels. *Food Hydrocolloids* 22 1404-1417.
- Van der Meer R, Lapré J A, Govers M J A P and Kleibeuker J H (1997) Mechanisms of the intestinal effects of dietary fats and milk products on colon carcinogenesis. *Cancer Letters* 114 75–83.
- Van der Meer C, van Kraay Lieshout E M M, Kramer E, Meer R and van der and Keijer J (2003) Mucosal pentraxin (Mptx), a novel rat gene 10-fold down-regulated in colon by dietary heme. *FASEB Journal* 17 1277–1285.
- Van Gerwen, S.J.C., M.C. te Giffel, K. van 't Riet, R.R. Beumer and M.H. Zwietering. 2000. Stepwise quantitative risk assessment as a tool for characterization of microbiological food safety. *Journal of Applied Microbiology* 88, 938-951
- Van Hylckama Vlieg J E T, Wouters J A and Hall R D (2003) Microbial genomics opportunities for the food industry. *Innovations in Food Technology* 20 24–26.
- Van Kranenburg R, Kleerebezem M, Hylckama Vlieg J, Ursing B M, Boekhorst J, Smit B A, Ayad E H E, Smit G and Siezen R J (2003) Flavour formation from amino acids by lactic acid bacteria: predictions from genome sequence analysis. *International Dairy Journal* 12 111– 121.
- Verdurmen R E M, Menn P, Ritzert J (2004) Simulation of agglomeration in spray drying installations: the EDECAD project. *Drying Technology* 22 (6) 1403-1461
- Verdurmen R E M, G. van Houwelingen, M. Gusing, M. Verschuere and J. Straatsma (2006). Agglomeration in Spray Drying Installations (The EDECAD Project): Stickiness Measurements and Simulation Results. *Drying Technology* 24: 721–726

Verschuieren M, Van den Berg G and De Jong P (2002) Predicting taste development of cheese using hybrid modelling. *Australian Journal of Dairy Technology* 57 165.

Verschuieren, M., Engels, W.J.M, Straatsma, J., Berg. G. van den, Jong, P. de, Modelling cheese ripening to predict flavour development. In: 'Improving the flavour in cheese' (ed. prof. B.C. Weimer, Utah State University, USA) 2006

Vissers M M M and De Jong P (2003) Development and application of a model predicting viscosity loss of yogurt in processing equipment. In *Fermented Milk*, pp 233–240. Brussels: International Dairy Federation.

Vissers M.M.M., M. C. Te Giffel, F. Driehuis, P. De Jong and J. M. G. Lankveld. Minimizing the level of *Bacillus cereus* spores in farm tank milk. *J. Dairy Sci.* 2007. 90:3286-3293.

Weel K G C, Boelrijk A E M, Alting A C, van Mil P J J M, Burger J J, Gruppen H, Voragen A G J and Smit G (2002) Flavor release and perception of flavored whey protein gels: perception is determined by texture rather than by release. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 5149–5155.

Weel K G C, Boelrijk A E M, Burger J J, Claassen N E, Gruppen H, Voragen A G J and Smit G (2003) Effect of whey protein on the in vivo release of aldehydes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 4746–4752.

Weinbreck F, Rollema H S, Tromp R H and De Kruif C G (2004) Diffusivity of whey protein and gum arabic in their coacervates. *Langmuir* 20 6389–6395.

Wouters J T M, Ayad E H E, Hugenholtz J and Smit J (2002) Microbes from raw milk for fermented dairy products. *International Dairy Journal* 12 91–101.