

酸豆乳流变性质的研究

摘要

让乳酸菌在豆乳中发酵，再通过不同豆水比例、不同蔗糖浓度、不同温度、不同乳酸菌接种量因素来确定酸豆乳的流变性。以优质大豆为原料，经除臭、浸泡、磨浆、煮沸、灭菌后，加入辅料，通过乳酸菌的发酵作用生产出的酸豆乳，其形态、色泽、口感，均颇似酸牛奶。它较之酸牛奶有营养价值更高，成本更低，不含胆固醇的特点。以大豆为原料，对生产酸豆乳流变性的影响因素进行了研究。通过菌种活化，让乳酸菌在豆乳中适应生存。结果表明豆的浓度越高、接种量在 16% (V/V)、温度越低、糖浓度在 2%左右酸豆乳的粘度越高。

关键词：豆乳 乳酸菌 发酵 工艺条件 粘度 流变性

Rheological Properties of acid soybean milk

Abstract

The lactic acid bacteria fermented soybean milk in, and then through the type of beans and the proportion of water, the type of sucrose concentration, different temperatures, different soft acid bacteria inoculum size and other factors to determine the rheology of the acid soybean milk, To quality soybean as raw materials. Deodorant, soaking, grinding, boiling, sterilization, auxiliary Division acid produced by lactic acid bacteria fermentation soybean milk, shape, color, taste, resembling yogurt. Compared yogurt higher nutritional value, lower cost, cholesterol-free characteristics. Soy-based study, the factors affecting the production of acid soybean milk rheology. Activated by bacteria, lactic acid bacteria to adapt to survive in the soymilk. The results showed that the higher the concentration of the bean, inoculation amount of 16% (V / V), the lower the temperature, the sugar concentration is about 2% higher the viscosity of the acid soybean milk.

Keywords: soy milk lactic acid bacteria fermentation process conditions viscosity rheology

目 录

1.前言	1
1.1 大豆的简介	1
1.2 乳酸的发酵原理	2
1.3 食品流变学	2
1.3.1 流变学	2
1.3.2 食品流变学	3
1.3.3 植物蛋白流变学的研究	3
1.4 本实验的意义	5
1.5 主要研究内容	5
2. 材料与方法	6
2.1 材料	6
2.1.1 培养材料	6
2.1.2 仪器与设备	6
2.2 方法	6
2.2.1 乳酸菌的活化	6
2.2.2 酸凝乳的制备	6
2.2.3 豆浆浓度对酸豆乳粘度的影响	6
2.2.4 温度对酸豆乳粘度的影响	6
2.2.5 不同接种量对酸豆乳粘度影响	6
2.2.6 蔗糖浓度对酸豆乳粘度的影响	7
3. 酸豆乳的流变性研究	7
3.1 不同浓度豆乳对酸豆乳的影响	7
3.2 不同温度下酸豆乳的粘度	8
3.3 不同接种量下酸豆乳的粘度	9
3.4 不同蔗糖浓度下酸豆乳的粘度	10
结语	11
参考文献	12

致谢13

1. 前言

1.1 大豆的简介^[1]

我国是大豆的故乡，也是大豆制品的发源地。大豆是一种廉价的植物蛋白资源，有很高的营养价值。我国很多城镇居民都习惯于豆浆作早点，这是因为它能直接提供大量的蛋白质，深受消费者的欢迎，被国外称为“中国式的牛奶”。豆浆是一种碱性食品，它对肉类等酸性食品有中和作用，有助于人体的消化吸收和防止老年病的发生；并能帮助分解过量的动物蛋白，从而有护肝解毒的功效；还有助于婴幼儿的大脑皮质等中枢神经组织的发育，促进儿童牙齿蛋白的生长。因此，食用豆制品，对人体有极好的营养和医疗价值。而在豆浆中接种乳酸菌，利用豆浆的营养与乳酸菌的协同作用，经发酵制成的酸豆乳，则是更有效地利用大豆蛋白质的一种新途径。

表1 黄豆[大豆]的营养成分列表^[2]

(每 100 克中含)

成分名称	含量	成分名称	含量	成分名称	含量
可食部	100	水分(克)	10.2	能量(千卡)	359
能量(千焦)	1502	蛋白质(克)	35	脂肪(克)	16
碳水化合物(克)	34.2	膳食纤维(克)	15.5	胆固醇(毫克)	0
灰份(克)	4.6	维生素 A(毫克)	37	胡萝卜素(毫克)	220
视黄醇(毫克)	0	硫胺素(微克)	0.41	核黄素(毫克)	0.2
尼克酸(毫克)	2.1	维生素 C(毫克)	0	维生素 E(T)(毫克)	18.9
a-E	0.9	(β-γ)-E	13.39	δ-E	4.61
钙(毫克)	191	磷(毫克)	465	钾(毫克)	1503
钠(毫克)	2.2	镁(毫克)	199	铁(毫克)	8.2
锌(毫克)	3.34	硒(微克)	6.16	铜(毫克)	1.35
锰(毫克)	2.26	碘(毫克)	9.7		

成分名称	含量(毫克)	成分名称	含量(毫克)	成分名称	含量(毫克)
异亮氨酸	1853	亮氨酸	2819	赖氨酸	2237
含硫氨基酸(T)	902	蛋氨酸	385	胱氨酸	517
芳香族氨基酸 (T)	3013	苯丙氨酸	1844	酪氨酸	1169
苏氨酸	1435	色氨酸	455	缬氨酸	1726
精氨酸	2840	组氨酸	968	丙氨酸	1542
天冬氨酸	3997	谷氨酸	6258	甘氨酸	1600
脯氨酸	1863	丝氨酸	1846		

1.2 乳酸的发酵原理

酸奶又称酸乳 (yoghurt)，是以牛奶为主要原料，经乳酸菌发酵而制成的一种营养丰富、风味独特、国际流行的保健饮料。用于酸奶发酵的乳酸菌主要是德氏乳杆菌保加利亚亚种 (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*，旧称保加利亚乳杆菌) 和唾液链球菌嗜热亚种 (*Streptococcus salivarius* subsp. *bulgaricus*，旧称嗜热链球菌)，在有些酸奶中还使用另一些乳酸菌，例如嗜酸乳杆菌 (*L. acidophilus*) 或乳酸乳球菌乳脂亚种 (*Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*，旧称乳脂链球菌) 等。

酸奶发酵过程中的主要生物化学变化是：乳酸菌将牛奶中的乳糖发酵成乳酸使其 pH 降至酪蛋白等电点 (4.6) 附近 (4.0-4.6) 从而使牛奶形成凝胶状；其次，乳酸菌还会促使部分酪蛋白降解、形成乳酸钙和产生一些脂肪、乙醛、双乙酰和丁二酮的风味物质。这就是酸奶具有良好的保健作用和适合广大乳糖不耐症患者饮用的主要原因。

酸奶发酵过程通常是由双菌或多菌的混合培养实现的。其中的杆菌先分解酪蛋白为氨基酸和小肽，由此促进了球菌的生长，而球菌产生的甲酸又刺激了杆菌产生大量乳酸和部分乙醛，此外球菌还产生了双乙酰这类风味物质，因此，达到了稳定状态的混合发酵。

1.3 食品流变学

1.3.1 流变学

流变性，可以简单的理解为，物体在力学作用下发生的形变，在流动过程中表现出来的性质。理解和掌握流体行为，仍然是生产、运输、储存和应用中的一个重要问题。由于食品物料的流变性质与食品的质地稳定性和加工工艺等有重要的关系，所以通过对食品流变性的研究，可以了解食品的组分、内部结构和分子形态等，能为产品配方加工工艺、设

备选型及质量检测等提供方便和依据。随着食品工业的发展，人们对食品流变学的兴趣也日益增长，食品流变学的研究愈来愈广泛，目前食品流变学已发展成为一门食品工业不可缺少的边缘学科，因此，流变特性的检测已成为食品加工及生产过程中必不可少的检测手段之一^[2]。

1.3.2 食品流变学

食品流变学是研究食品在力的作用下变形或流动的科学。因此，应力和应变对于食品流变学研究而言都是极其重要的。食品流变学特性主要是通过测定应力与应变对时间的函数来确定，这种特性可以用坐标图解或数学模型来表示。研究发现流体的流型可以通过研究其流变曲线的形状加以确定，而流变曲线又可以用一定的数学模型进行描述。数学模型是通过用数学语言来表达问题，从而达到用数学工具解决问题的目的，具有渐近性、条理性、逼真性、可行性和可转移性等优点。因此，流变学的数学模型也得到了人们的重视^[3]。主要分为牛顿流体数学模型，流变方程式为 $\tau = \eta D$ ，式中， τ 为剪应力、 D 为剪切速率、 η 为粘度。对于牛顿流体， η 值在一定温度下为常数。非牛顿流体的数学模型， $\tau = KD^n$ ($1 < n < \infty$, $0 < n < 1$)，式中， τ 为剪应力、 K 为粘性常数、 n 为流态特性指数^[4]。

1.3.3 植物蛋白流变学的研究

近些年来，对蛋白流变学特性方面的研究也比较热。但对于马铃薯分离蛋白溶液的流变特性的研究还未见报道。

孙哲浩^[5]等对大豆蛋白与卡拉胶共混体系的粘度、流变特性、质构特性及微观结构进行了研究。结果得出，随着卡拉胶添加量的增加，共混液态体系粘度也随之增加。流变学研究表明，随卡拉胶浓度的增加，不同配比凝胶体的 G' 也增加，并且胶体的熔点也相应的增加。卡拉胶所占百分数越大，胶体的强度也越大。并且添加低浓度的 NaCl 使凝胶体系的 G' 和凝胶强度都有所增加。通过对微观结构的研究，表明不同的凝胶体的微观结构存在很大的差异。

吴晖^[6]等研究了 NaCl 和 CaCl₂ 对商用大豆分离蛋白热诱导凝胶的胶凝过程及动态粘弹性的影响。添加一定浓度的 NaCl 使商用大豆分离蛋白的起始凝胶点延缓了，然而却其凝胶性能显著地增强了。经过超声处理的商用大豆分离蛋白分散液，则相反，添加 NaCl 后加快了其起始凝胶点，使最终形成的凝胶的粘弹性有所降低。添加 CaCl₂ 同样可使经超声处理的大豆分离蛋白样品的起始凝胶点提前，而且使最终形成的凝胶的粘弹性增强了。结果表明，超声处理可改变商用大豆分离蛋白的凝胶性能，凝胶的形成几乎不需添加 NaCl，

而且似乎可以通过添加 CaCl_2 调控经超声处理的商用大豆分离蛋白分散液直接形成凝胶。

朱建华^[7]等研究超声对大豆分离蛋白溶液超声流变学性质的影响。实验结果表明：超声处理可使大豆分离蛋白溶液的表观粘度下降，10.0%和 12.5%大豆分离蛋白溶液表观粘度经 25kHz、400W 超声处理 20min 后，两种溶液的粘度分别降至对照样的 3.2%和 6.5%。流态指数 n 值分别由 0.66 和 0.44 增加到了 0.81 和 0.78。超声处理大豆分离蛋白样与对照相比粘弹性都下降约一个数量级，相对粘弹性 $\tan\delta$ 变化较小，超声处理对储能模量 G' 的弱化作用低于损耗模量 G'' 的弱化作用。超声处理使大豆蛋白溶液 Braband 粘度明显降低。孙兰萍^[8]等研究了亚麻籽分离蛋白的提取和其流变学特性，通过实验确定了亚麻籽分离蛋白的溶解性、粘度、起泡性与温度、浓度、溶液 pH 和无机盐等因素的关系。亚麻籽分离蛋白的等电点在 pH4.5–5.5 之内，并且在此范围内，亚麻籽分离蛋白的溶解性、粘度和起泡性均较弱，随着亚麻籽分离蛋白的浓度的增加，其蛋白的粘度增大，并且表现为非牛顿型假塑性流体。

李永强^[9]等研究了在保持面粉中其他成分不变的情况下，配成不同的蛋白和淀粉的样品，研究了蛋白质和淀粉含量对面团流变学特性的影响。结果表明，当蛋白含量增加时，面团的峰值高度和峰值宽度呈增加趋势，当淀粉含量增加时面团的峰值高度和峰值宽度呈下降趋势，抗延阻力变化都不明显。

张之佳^[10]等，研究了不同浓度下超细南瓜粉体在不同温度、p 值条件下的流变曲线。找到各个流变特性参数随浓度、温度及 pH 值的变化规律。

Mohamed 等^[11]人，对燕麦分离蛋白的热稳定性、流变性、表面活性和功能性质进行了研究。热稳定性结果显示，燕麦分离蛋白玻璃化转变温度为 43.4°C。除了乙酰化的燕麦蛋白，所有样品的持水能力都相同。表面张力测试表明，随蛋白浓度的增加，改性和非改性的燕麦蛋白的表面活性和平衡表面张力都明显的下降，最终达到恒定的值。乙酰化的燕麦蛋白的弹性模量 G' 的值很高。

S.Hsu 等^[12]人研究了大豆分离蛋白的凝胶状态的流变性。对含有固形物 0.8%-8.8%的蛋白凝胶进行流变学测定，经过应变扫描和频率扫描，发现室温下，溶液有很高的弹性，并且很稳定。当温度升高，溶液弹性显著增加。

食品流变学研究的目的是有以下 4 种：(1)食品流变学实验可用于鉴别食品的原材料,中间产品，也可用于控制生产过程.食品流变学对提高食品质量，调节生产工艺过程等都有一

定的作用。例如在制作面包的过程中 控制面团的流变性质就是一个例子。(2)用食品流变仪测定法来代替感官评定法,定量地评定食品的品质,鉴定和预测顾客对某种食品是否满意。(3)用流变学理论可以解释食品在加工过程中所发生的组织结构变化。即在食品制作过程中利用调节中间产品的流变特性方法来达到调节组织结构的目的。(4)流变学理论已经广泛应用于有关的工艺设计和设备设计。例如:泵送管路系统,放料装置及送料装置的设计,乳化,雾化及浓缩工艺过程中的设计等都要用到物质的流变特性值。

食品流变学对食品运输,传送,加工工艺,产品的开发设计以及人在咀嚼食品时的满足感等都起非常重要的作用。通过对流变学性质的研究不仅能够了解食品组织结构的变化情况,还可以找出与加工过程有关的力学性质的变化规律,从而可以控制产品半成品的质量,鉴别成品半成品的优劣,还可以为工艺和设备的涉及提供相关的数据,可以说流变学特性的研究是目前食品研究和生产中必不可少的研究方向,不管食品物质是属于固体、牛顿液体、非牛顿液体、塑性流体还是黏弹性体,都有一定的流变特性,都可以通过测定流变学特性来评价食品物质。所以对马铃薯分离蛋白进行流变性研究,使其具有较好的加工特性,可以更好的应用于食品工业中,可以更充分利用植物蛋白质和提高它们的经济价值。对于我国开发利用马铃薯分离蛋白有着极其重要的意义。

1.4 本实验的意义

以豆乳为基料、以经驯养的乳酸菌为发酵菌剂生产的酸豆乳具有高营养、易被人体吸收、改善肠道菌群、抑制有害细菌生长、提高人体免疫机能、具有独特风味的保健食品。目前在石家庄等地的市场上以豆乳为基料的饮料品种单一,酸性豆乳饮料更少,为此我们研制了与酸牛乳相似的凝固型酸豆乳饮料,并探索出可行的生产工艺路线。本产品崭新,对利用我国大豆资源及提高营养价值具有一定意义。本实验通过不同豆水比例、不同蔗糖浓度、不同温度、不同乳酸菌接种量等因素对其流变性的研究,来确定生产凝固型酸豆乳的最佳粘度状态。

1.5 主要研究内容

(1) 活化原始菌种,让其在100%的牛乳中活化,然后让菌种在50%牛乳和50%豆乳中活化,最后在全豆乳中活化。

(2) 在不同单因素条件下接种豆乳中,发酵成凝固型酸豆乳,测其流变性。

2、材料与amp;方法

2.1 材料

2.1.1 培养材料

原始酸奶、优质全脂奶粉、大豆

2.1.2 仪器与设备

压力灭菌锅、电热恒温培养箱、超净工作台

2.2 方法

2.2.1 乳酸菌的活化

奶粉按照1:7比例加水配成还原奶，摇匀，将酸奶原料置于110℃下消毒10min。消毒冷却至45℃左右。按10%（V/V）比例将原始酸奶作菌种接入冷却牛奶中，充分搅匀。将上述牛奶接入三角瓶中。将接种后的牛奶置于40—42℃的恒温箱中保温，等待凝结胶状后放入4℃冰箱保存。

2.2.2 酸豆乳的制备

大豆→清洗→浸泡→磨浆→灭菌→冷却接种→发酵→冷藏→测定

大豆清洗后在常温下浸泡24小时，用豆浆机打浆，经过过滤装入试管，在110℃下灭菌15min，冷却后在无菌条件下接种，在40℃的恒温培养箱中培养5—10个小时（具体看每组是否都凝结），然后在3℃下冷藏，用流变仪测剪切力及粘度。

2.2.3 豆浆浓度对酸豆乳粘度的影响

用10%、12%、14%、16%的不同豆浆浓度培养成酸豆乳。调节其浓度通过大豆与水的质量比，在常温（25℃）下，无蔗糖，接种量为10%的情况下测得。

2.2.4 温度对酸豆乳粘度的影响

经过上个实验得知16%的豆浆浓度凝结效果最好，本次实验以及以下的步骤都选择16%的豆浆。选择16%的凝乳，接种量10%，分别在20℃、25℃、30℃、35℃、40℃温度下测得。

2.2.5 不同接种量对酸豆乳粘度影响

本次实验选择10%、12%、14%、16%、18%的接种量，并选用16%的凝乳，在25℃下，无

蔗糖下测得。

2.2.6 蔗糖浓度对酸豆乳粘度的影响

本实验在0%、2%、4%、6%、8%的蔗糖浓度下，用16%的凝乳，在25℃下，接种量为10%的条件下测得。

3、结果与分析

3.1 不同浓度豆乳对酸豆乳的粘度影响

用培养好的种子接种到不同浓度的豆乳中去，用流变仪测得剪切力及粘度的变化如图1所示。

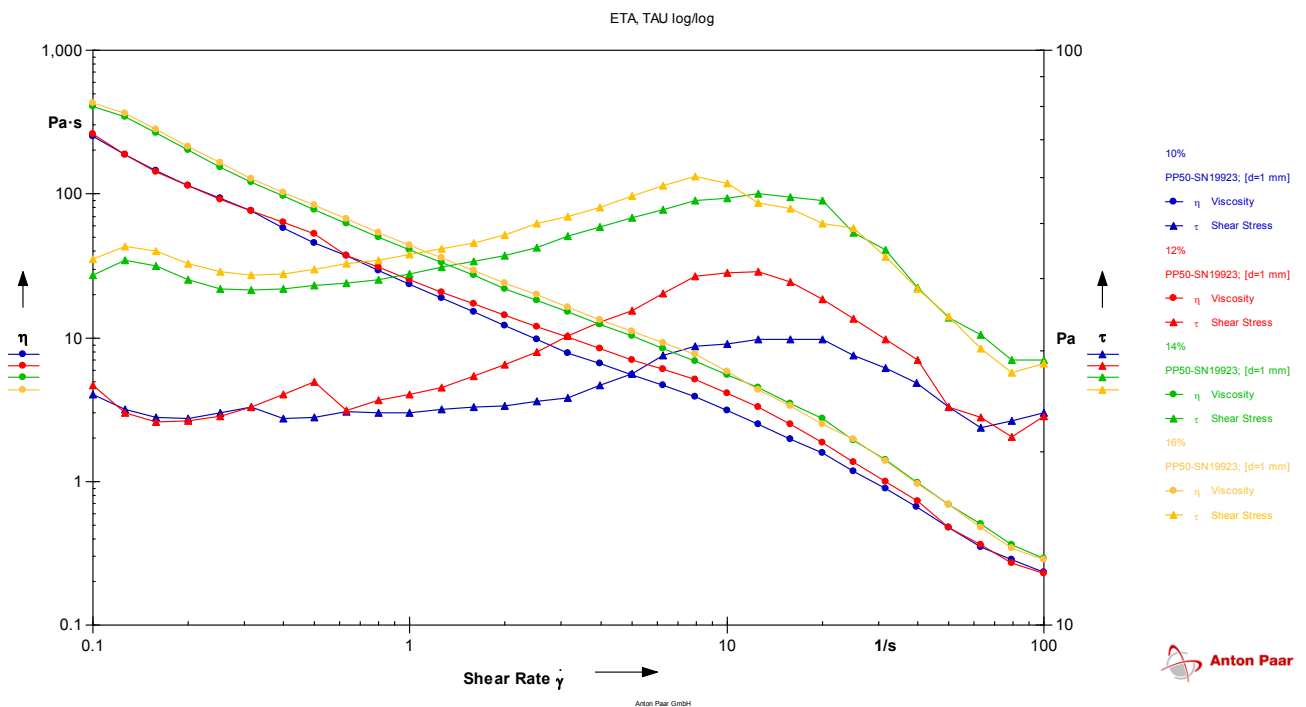


图1 不同豆乳浓度的酸豆乳的剪切力及粘度变化

图1中右边从蓝到黄色（从上到下）是豆乳浓度依次增加的分别为10%、12%、14%、16%。

非牛顿流体又分为2类，即与时间无关的非牛顿流体和与时间有关的非牛顿流体，在非牛顿流体流动状态方程中，当 $0 < n < 1$ 时，即表观黏度随着剪切速率的增大而减少的流动，称为假塑性流动，符合假塑性流动规律的流体称为假塑性流体。随着剪切速率的上升，酸豆乳溶液的表观黏度下降一点，这说明酸豆乳所形成的结构不是很稳定，分子之间相互作用

用容易被破坏。[13]

由图1可知随着豆乳浓度的增加，相应的剪切力和粘度都是增加的。豆乳浓度10%和豆乳浓度12%的剪切力及粘度都接近，而同样14%和16%的也接近，14%为转折点高于这个浓度乳酸菌的生长就达到一定高度，低于14%这明显不适合乳酸菌的正常生长。

3.2 不同温度下酸豆乳的粘度

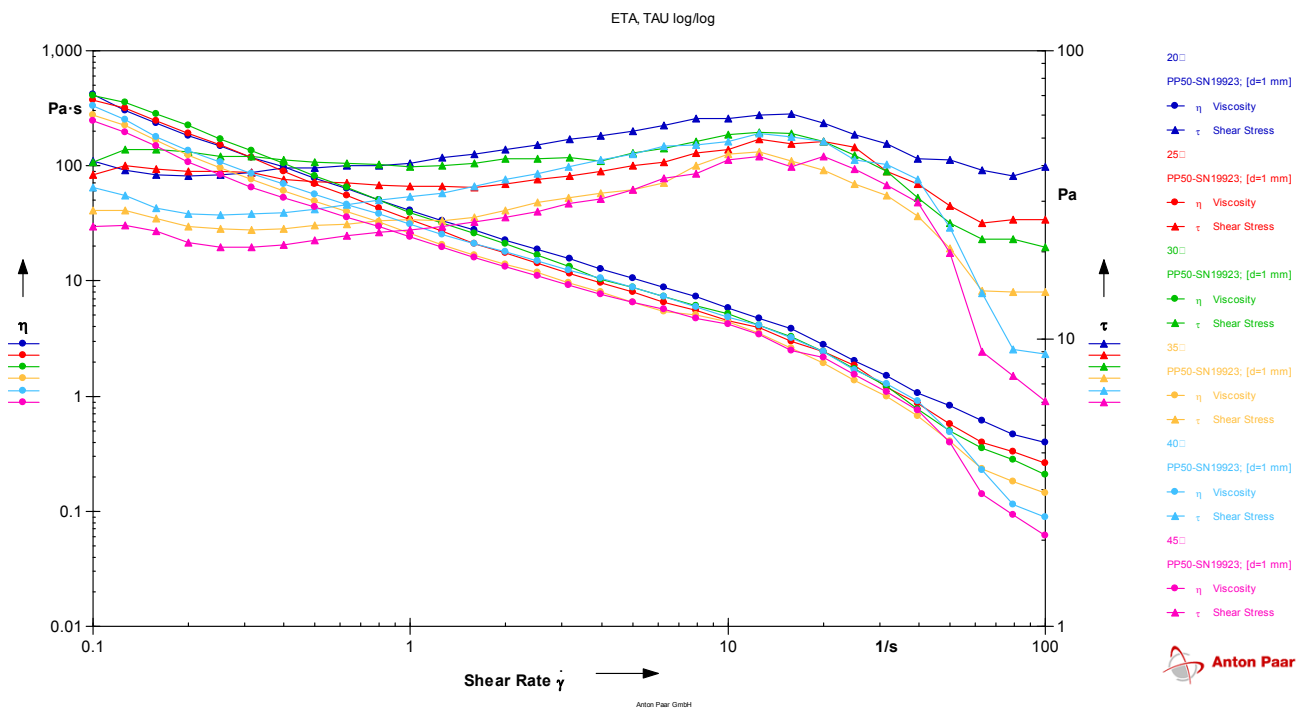


图2 不同温度对豆乳的剪切力及粘度的变化

图2中右边从蓝到紫色（从上到下）是豆乳温度依次增加的分别为20°C、25°C、30°C、35°C、40°C、45°C。

由图2可以看出温度低酸豆乳的粘度就低，也就是一般液体都是随着温度增高粘度就会增加。随着温度的增加剪切力和粘度都较小幅度的平稳增加，说明这些温度还没有破坏酸豆乳的结构，但当剪切力达到100/s时粘度及剪切力明显下降，而且温度高的下降的越大，说明100/s这个速率在35°C及以上已经破坏了酸豆乳的结构。

3.3 不同接种量下酸豆乳的粘度

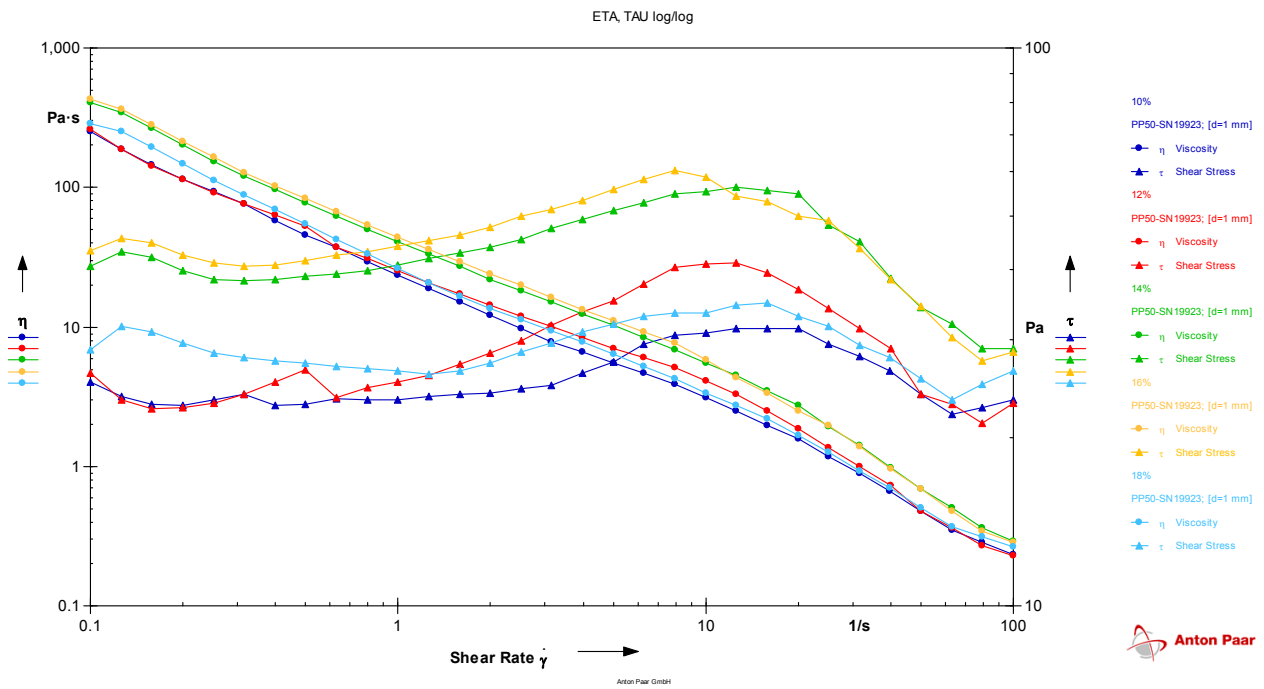


图3 不同接种量对豆乳的剪切力及粘度的变化

图3中右边从蓝到兰色（从上到下）是豆乳接种量依次增加的分别为10%、12%、14%、16%、18%。

由图3亦可得到结论：一开始随着接种量的增加，酸豆乳的浓度在增加，而到18%（V/V）的接种量时出现了下降，经过分析最适的接种量为16%(V/V)，如果接种量继续增加导致营养供应不上，乳酸菌生长减速，培养时间越长其菌种生长就会对接种量低的有利。

3.4 不同蔗糖浓度下酸豆乳的粘度

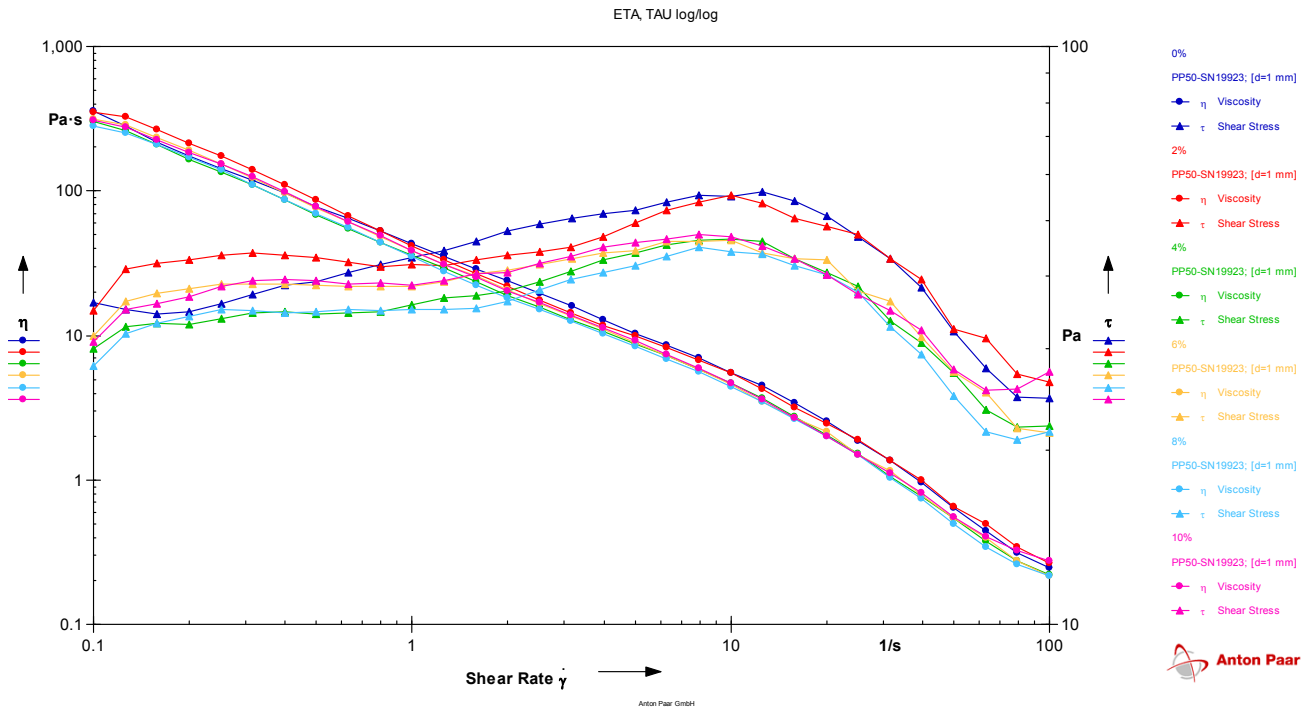


图4 不同蔗糖浓度对豆乳的剪切力及粘度的变化

图4中右边从蓝到紫色（从上到下）是豆乳中蔗糖浓度依次增加的分别为0%、2%、4%、6%、8%、10%。

由图4可知蔗糖对乳酸菌生长影响不大，通过剪切力可以看出蔗糖浓度不宜过高。0%和2%的蔗糖浓度剪切力方面明显要高，但粘度的影响整体都不大。

结论

通过对酸豆乳的主要影响因素分析，得知豆的浓度越高、接种量在16% (V/V)、温度越低、糖浓度在2%左右酸豆乳的粘度越高，正是生产酸豆乳的最佳工艺，口感肯定也好。在本实验中，虽然对酸豆乳的粘度流变性做了一系列的研究，但限于时间和条件的关系，还存在许多问题有待解决。今后应对酸豆乳的脱腥，提高口感及储存、包装等工艺进一步优化条件下，或加入一些功能性的添加剂，开发出高品质的酸豆乳，满足人们日益增加的高品质蛋白质的需要及对健康保健的要求。

参考文献

- [1]蒲藻祥, 发酵酸豆乳生产工艺条件的研究 重庆师范学院学报 1994.9 第11卷第3期
- [2] 温德宝,徐颖洁,鸡冠花叶蛋白质营养价值的评价研究 [J].武汉植物研究所,1999,17(1):15-20.
- [3] 段振华,张敏,汤坚.半流质高能食品的流变学特性 [J].无锡轻工大学学报,2003,22(11):39-45.
- [4]杨洁彬.乳酸菌——生物学基础及应用[M].北京:中国轻工业出版社.1996.
- [5] 孙哲浩,赵谋明,彭志英等.大豆分离蛋白与卡拉胶共凝胶体流变学特性的研究 [J].食品工业科技,2000,6(21):3.
- [6] 吴晖,唐传核,李琳等.盐浓度对商用大豆分离蛋白凝胶的胶凝过程及动态粘弹性的影响 [J].食品科学,2006,7(27):39-43.
- [7] 朱建华,杨晓泉.超声处理对大豆分离蛋白流变学性质的影响 [J].食品科学,2005,12(26):52-58.
- [8] 孙兰萍,许晖.亚麻籽分离蛋白流变学特性的研究 [J].食品工业科技,2005,2(26).
- [9] 李永强,翟红梅,田纪春.蛋白质和淀粉含量对小麦面团流变学特性的影响 [J].作物学报,2007,33(6):937-941.
- [10] 张之佳,张拥军,徐倩.超细南瓜粉流变学特性的研究 [J].中国粮油学报,1999,14(2):35-62.
- [11] Abdellatif Mohamed, Girma Biresaw & Jingyuanxu .et al .Oats protein isolate :Thermal ,rheological ,surface and functional properties [J]. Food Research International 2009 (42):107 - 114 .
- [12] S.Hsu. Rheological Studies on Gelling Behavior of Soy Protein Isolates [J]. JOURNAL OF FOOD SCIENCE 1999 ,64(1) :136-140 .
- [13] 史琦云.流体食品粘度的测定与分析 [J].食品科学,1996,17(8):7-11.
- [14]王岁楼.豆乳生产关键工艺技术研究[J].中国乳品工业,1995(5):220-222.
- [15]陈荷风.酸豆奶生产菌种的驯化研究[J].中国乳品工业,1996,24(3):16—18.
- [16]张迅捷.大豆酸奶的研制开发及营养保健功能[J].中国乳品工业,2000,28(5):25-28.
- [17]马涛.乳酸发酵豆奶研究[J].塔里木农垦大学学报,1997,9(1):34. 40.
- [18]吴君艳.凝固型大豆酸奶的工艺研究[J].农产品加工(学刊),2007(10):53-55.
- [19]宋超先,李霞,张文生.植物性蛋白酸乳的研制[J].现代食品科技,2008(3):257-259.