体积加权平均直径在后热处理酸奶颗粒感评估中的应用

技术领域

本发明涉及酸奶技术领域，尤其涉及体积加权平均直径在后热处理酸奶颗粒感评估中的应用。

背景技术

酸奶是一种通常在早餐桌上食用的冷藏零食，但常温酸奶的出现颠覆了这一传统。对于数百万中国年轻人来说，常温酸奶现在是一种便携式饮料，这一趋势也正在亚洲、非洲和拉丁美洲蔓延。推动常温酸奶在中国和其他国家流行的是消费者对方便性以及营养价值和口味的日益增长的需求。货架稳定的常温酸奶提供了与传统发酵冷冻酸奶相似的营养价值，但不含益生菌，并且可以在旅途中食用，因为它不需要冷藏。

后热处理（“二次巴氏杀菌”）是生产常温酸奶（搅拌型酸奶）的关键操作程序。目的是灭活微生物以延长保质期（4~25℃/150~180 天），但这很容易导致颗粒状质地，减少乳脂感，并产生异质产品结构。不同的后热处理温度会导致不同程度的酸奶感官缺陷。感官质地特性被认为是酸奶质量的突出指标和消费者选择的驱动因素。一般来说，当感官质地缺陷不易察觉时，它们对可接受性决策的影响较小。然而，一旦这些缺陷被感知，即使稍微被感知为不利的质地，它们也很可能是导致感官拒绝的主要因素。

鉴于此，提出本发明，以对后热处理酸奶的颗粒感进行评估。

发明内容

本发明中的后热处理酸奶均是指搅拌型酸奶，颗粒感是后热处理酸奶产品中常见的质地缺陷。发酵导致酪蛋白聚集成弱凝胶网络，通过进一步地后处理，如搅拌或平滑，该网络被分解成聚集蛋白质的密集簇，大小约 10~250μm，或偶尔大于 1mm。这种簇被定义为微凝胶，其中微凝胶之间发生相互作用。后热处理在促进这些微凝胶的聚集和重排中起着重要的作用。提高后热处理温度会改变微凝胶的疏水相互作用和静电排斥之间的平衡，增加微凝胶颗粒的热运动，并导致微凝胶簇的进一步聚集。因此，在后热处理过程中必须控制聚集过程，以避免大范围的颗粒聚集，这与常见的质地缺陷如颗粒感有关。

颗粒特性（如大小、硬度和形状）、分散基质特性（如粘度）和成分（如颗粒浓度）被认为是决定颗粒识别阈值的主要因素，特别是对于典型的半固体食品。酸奶和奶酪已经得到广泛认同，即(i)“更高的粘度往往会增加颗粒感知阈值”；(ii) “当质量或数浓度不变时，较大、较硬和更多角的颗粒比较小、较软、圆形/扁平颗粒更容易被感知为颗粒状”；(iii)同时，“颗粒的大小、硬度和形状决定了感知粒状性质的浓度范围”。这些观点提供了通过调整粒子所在的基质的粒子分布等属性来产生平滑且可接受的质构的观点。

然而本发明通过对比研究发现，在对后热处理酸奶进行粒径分布测试时，常规的测试过程以及平均粒径的评价指标，并不能有效地指导后热处理酸奶在颗粒感方面的应用研究。

具体而言，本发明提供一种体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$在后热处理酸奶中的应用，尤其是在后热处理酸奶的颗粒感评估中的应用。在一些实施方案中，本发明提供评估后热处理酸奶的方法，其包括获得后热处理酸奶的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$的步骤。

颗粒感识别的阈值被定义为导致可感知颗粒感的颗粒数量或/和大小的最小可检测变化。然而鲜有人进行深入研究。如上所述，颗粒感与常温酸奶中的凝胶网络结构有关，现有针对凝胶网络结构的测试方法中，较为普遍的是采用显微图像分析，具体是通过制样——获取图

像——颗粒分析的过程得到后热处理酸奶中的凝胶结构。本发明意外地发现，在粒径分布测试时，体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$相较于其他粒径指标，能够更准确地反映后热处理酸奶中的凝胶结构，使之达到与显微图像分析相当的测试准确度，而且，该方法比现有的显微图像分析方法，其操作更加简单、高效，适用范围也更广。

根据本发明提供的如上所述的应用或方法，包括：所述体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$用于评价后热处理酸奶中的微凝胶结构。

在粒径分布测试中，待测后热处理酸奶样品不能直接用于测试，而需要使用分散剂对其进行稀释，稀释时，因分散剂的不同，对待测后热处理样品中的微凝胶结构会产生不同影响，为了避免因测试条件所带来的测试误差，本发明优选使用待测后热处理酸奶样品中的乳清作为粒径分布测试时的分散剂进行测试，其相较于其他分散剂，如水、模拟超滤液等，与现有的显微图像分析方法的结果更一致。

根据本发明提供的如上所述的应用或方法，包括：

从待测后热处理酸奶样品中离心得到乳清；

所述乳清使用超滤膜过滤得过滤后乳清，即分散剂；

所述分散剂用于所述待测后热处理酸奶样品的粒径分布测试，获得所述体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$。

不同的后热处理酸奶样品可能存在不同的测试结果，对于后热处理酸奶样品而言，黏度是影响微凝胶结构分散或者聚集的主要因素，本发明发现，当所述待测后热处理酸奶样品的黏度为 100~500mPa·s 时，均能有效地测得所述体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$，且该值与现有的显微图像分析方法的结果呈现出一致性。

根据本发明提供的如上所述的应用或方法，所述待测后热处理酸奶样品的黏度为 100~500mPa·s；

优选地，所述待测后热处理酸奶样品的组分主要包括：低酯果胶 0.1~0.4%、白砂糖 4~8%、蛋白 2.8~3.2%和脂肪 3.0~4.0%；优选为低酯果胶 0.3%、白砂糖 6.0%、蛋白 2.8~3.2%和脂肪 3.0~4.0%；

进一步优选地，所述粒径分布测试中，遮光度范围为 4~6%。

本发明中的粒径分布测试，采用常用的激光衍射仪（Malvern Mastersizer S，Malvern Instruments，Worcs）进行测试即可，操作简单，适用范围广；所述粒径分布测试时，在搅拌的条件下进行，所述搅拌的速度可以为 1000~2000rpm。

具体而言，所述体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$用于评价后热处理酸奶中的微凝胶结构的过程，可以为：从所述待测后热处理酸奶样品中离心（例如 5000g×30min，4℃）获得相应乳清，然后使用超滤膜（截留分子量为 10000Da）过滤，并在水浴中加热至 37±2℃，随后用于在粒径测量期间分散所述待测后热处理酸奶样品。该粒径分布由激光衍射仪（Malvern Mastersizer S，Malvern Instruments，Worcs）测定，其中，分散剂折射率设定为 1.32，颗粒折射率设定为 1.46。搅拌速度为 1000~2000rpm，优选 1500rpm，遮光度范围 4~6%，当遮光度在范围内稳定 30s 后自动测量，从六次连续测量的平均值获得每个样品的粒径结果，每个样品进行三次重复测量。

颗粒感是一个复杂的生物过程，由食物与口腔中的机械感受器的相互作用引起，这不仅取决于颗粒的性质和颗粒所在的基质，还取决于多个传入神经所携带的神经脉冲。对待测后热处理样品的微凝胶结构评价，仍然不足以准确评价待测后热处理酸奶样品的颗粒感，而即

使对于具有相同颗粒感质地和基质特征的样品，消费者对颗粒状感觉的感知也可能因个人口腔触觉敏感性而有所不同。

目前，被普遍采用的感官分析方法中，是由一定数量的训练有素的专业感官成员或召集大批量的消费者（大于 50 人）进行评估，然后对评估结果进行定性分类，比如在广义标记量级（the generalized Labeled Magnitude Scale，gLM）中，感官成员对待测后热处理酸奶样品进行颗粒感评分，不同的颗粒感得分对应不同的定性描述，具体为：0 分被定义为“难以察觉”，1 分为“极弱”，2 分为“非常弱”，3 分为“弱”，4 分为“有点弱”，5 分为“中等（既不强也不弱）”，6 分为“有点强”，7 分为“强”，8 分为“非常强”，9 分为“极强”。因此，考虑到个体在口腔触觉敏感性方面的差异，在感官成员进行评估颗粒感的背景下，理解感官成员对颗粒感的感知和识别阈值将对产品开发具有非常重要的意义，这将有助于更好地理解优化后热处理酸奶的感官质地缺陷。

根据本发明提供的如上所述的应用或方法，包括：所述体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$用于后热处理酸奶颗粒感的口腔敏感性测试。

如上所述，个体在口腔触觉敏感性方面的差异，是感官成员进行颗粒感评估时的重要影响因素，本发明在研究中发现，后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$与感官成员的颗粒感得分之间具有显著的幂律拟合相关性，因此，本发明进一步研究，发现，可以通过所述相关性识别出感官成员中的高敏感度组，提升所述颗粒感的口腔敏感性测试的准确性。

根据本发明提供的如上所述的应用或方法，所述颗粒感的口腔敏感性测试中包括：对具有不同口腔触觉敏感性的感官成员进行识别；

所述识别包括：

识别当后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$在 14~65μm 范围内，确定颗粒感得分随着后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$值递增的感官成员。

此处“递增”并非严格意义上逐点递增关系，而是待识别的一个感官成员，其在多次颗粒感评价试验中整体呈现出递增趋势。

根据本发明提供的如上所述的应用或方法，所述颗粒感的口腔敏感性测试中包括：

确定全体感官成员；

由所述全体感官成员分别对颗粒感得分进行评估，所述颗粒感得分中依据广义标记量级对应的强度等级进行颗粒感描述：0~3 分被定义为弱等级，3~6 分被定义为中等等级，6~9 分被定义为强等级；本发明中上述“弱”、“中等”和“强”是相对概念。

对所述全体感官成员中具有不同口腔触觉敏感性的感官成员进行识别；

所述识别包括：

对每个感官成员的颗粒感得分与对应后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$进行幂律拟合，拟合关系遵循 $Y=mX^n+k$ 幂律拟合模型，其中，Y 为颗粒感得分，X 为相应颗粒感得分对应后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$值，n 为幂律拟合指数，m 和 k 为常数，R^2 为该幂律拟合模型的拟合精度；

由所述幂律拟合指数 n 和所述幂律拟合模型的拟合精度 R^2 判断每个感官成员的敏感性强弱。

优选地，将具有不同口腔触觉敏感性的感官成员，按照敏感性强弱依次区分为：高敏感度组的感官成员、低敏感度组的感官成员和中等敏感度组的感官成员；

对所述幂律拟合指数 n 和所述幂律拟合模型的拟合精度 R^2 进行排序后，确定高敏感度组的感官成员、低敏感度组的感官成员和中等敏感度组的感官成员中的一组以上。

进一步优选地，根据本发明提供的如上所述的应用或方法，所述识别包括：

对所述幂律拟合指数 n 和所述幂律拟合模型的拟合精度 R^2 进行升序排列，确定所有聚类参数的第一百分位、第二百分位和第三百分位；

由所述第一百分位、所述第二百分位和所述第三百分位对每个感官成员进行所述识别和聚类，确定高敏感度组的感官成员、低敏感度组的感官成员和中等敏感度组的感官成员。

具体而言，当所述 n 越高且所述 R^2 越接近 1 越好，这代表所述感官成员对颗粒尺寸的感官辨别能力越接近仪器测试精度；所述 n 越低且所述 R^2 越接近 0 越不好，这代表所述感官成员对颗粒尺寸的感官辨别能力严重偏离仪器客观测试结果。

在本发明中，当后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$在 14~65μm 范围内，且感官成员的颗粒感得分随着后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$值递增而呈现严格幂律拟合递增趋势时（即，幂律拟合指数 n 和幂律拟合模型的拟合精度 R^2 均大于上述第三百分位，两者严格遵循 $Y=mX^n+k$ 幂律拟合模型），所述感官成员为高敏感度组的感官成员；

在本发明中，当后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$在 14~65μm 范围内，感官成员的颗粒感得分随着后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$值递增而呈现较差幂律拟合递增趋势时（即，幂律拟合指数 n 和幂律拟合模型的拟合精度 R^2 同时小于上述第一百分位，两者几乎不遵循 $Y=mX^n+k$ 幂律拟合模型），所述感官成员为低敏感度组的感官成员；

在本发明中，当后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$在 14~65μm 范围内，感官成员的颗粒感得分随着后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$值递增而呈现中度幂律拟合递增趋势时（即，幂律拟合指数 n 和幂律拟合模型的拟合精度 R^2 大于上述第一百分位和/或小于第三百分位，两者基本遵循 $Y=mX^n+k$ 幂律拟合模型），所述感官成员为中等敏感度组的感官成员。

简言之，具有不同口腔触觉敏感性的感官成员，其对“幂律拟合递增关系”的依从性或者依从程度存在差异，严格依从，则为高敏感，基本依从，为中等敏感，不依从或者依从性差为低敏感。依从程度可以依据幂律指数和拟合精度共同判断。

根据如上所述的应用或方法，所述口腔敏感性测试用于颗粒感感官评估测试。

基于上述研究发现，在大批量感官人员参与的评估试验中（50 人以上），对于数量较少但敏感度较高的感官成员（依据上述幂律拟合模型的划分结果，中等敏感度及以上的感官成员约占 80%），其在上述更简单的对应关系下，能达到和全体感官成员（50 人以上）一致的感官评价结果。特别地，仅在高敏感成员（依据上述幂律拟合模型的划分结果，约占全体感官人员的 15%）的感官评估试验中，其可获得比全体感官成员更接近仪器测试精度的结果，并且所需要的人力投入更小。

本发明研究还发现，更高的后热处理温度促进颗粒聚集，导致更大的微凝胶，导致微凝胶表面积增加，小尺寸微凝胶的数量减少。这是因为：酸奶可被视为一种弱凝胶网络，主要包含四种不同大小的颗粒，由酸化过程中酪蛋白（0.1~0.3μm）的聚集产生。这种弱凝胶颗粒中包含的蛋白键主要由疏水相互作用控制。更高的后热处理温度可能会增强这些凝胶颗粒之间的疏水相互作用，并为颗粒聚集提供更强的原始驱动力，这最终导致两种结果：一方面，两个颗粒之间的结构单元、体积分数和接触区域可能更小，另一方面，更广泛的粒子重排可能导致粒子相互位置的变化，并形成密集的聚集粒子群，这反过来通过增加粒子之间的连接

数量来增加聚集粒子的密度。因此，提高后热处理温度会导致这些不同表面积类别的微凝胶重新排列，并促进其聚集和生长。在某种意义上，后热处理促进了微凝胶中大颗粒群体的生长，并且这种“生长效应”是以牺牲小颗粒群体为代价的。

本发明试验中证明，后热处理温度会改变微凝胶的疏水相互作用和静电排斥之间的平衡，增加微凝胶颗粒的热运动，并导致微凝胶簇的进一步聚集。因此，在后热处理过程中必须控制聚集过程，以避免大范围的颗粒聚集，这与常见的质地缺陷如颗粒感有关。本发明还意外地发现，当将不同体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$的后热处理酸奶混合时，混合后后热处理酸奶的颗粒感会发生明显不同，为了使后热处理酸奶的颗粒感控制在中等以下，换言之，为了降低后热处理后的酸奶的颗粒感，具体而言，根据本发明提供的如上所述的应用或方法，所述应用或方法为一种降低后热处理酸奶的颗粒感的应用或方法，包括：将后热处理酸奶 A 与体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤46μm 的酸奶 B 混合，所述后热处理酸奶 A 由所述酸奶 B 进行后热处理杀菌后得到；所述酸奶 B 与后热处理酸奶 A 的体积比≥3:7。

根据本发明提供的如上所述的应用或方法，所述酸奶 B 的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤20μm，优选为≤15μm。

当所述后热处理的温度 60~70℃时，所述混合时，酸奶 B 的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤15μm，所述酸奶 B 与后热处理酸奶 A 的体积比≥3:7；

所述后热处理的温度 80~85℃时，所述混合时，酸奶 B 的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤15μm，所述酸奶与后热处理酸奶 A 的体积比≥7:3。

根据本发明提供的如上所述的应用或方法，所述应用或方法为一种降低后热处理酸奶的颗粒感的应用或方法，包括：将后热处理酸奶 A 与体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤46μm 的后热处理酸奶 C 混合，所述后热处理酸奶 A 和所述后热处理酸奶 C 由相同的酸奶在不同后热处理温度下进行杀菌后得到；

优选地，所述后热处理酸奶 A 的热处理温度为 65~85℃，所述后热处理酸奶 C 的热处理温度为 65℃以下，所述混合时，后热处理酸奶 C 与后热处理酸奶 A 的体积比≥7:3；

进一步优选地，所述后热处理酸奶 C 的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤15μm。

由于后热处理酸奶 A 和所述后热处理酸奶 C 由相同的酸奶在不同后热处理温度下进行杀菌后得到，则所述后热处理酸奶 A 的后热处理温度为 65℃时，所述后热处理酸奶 C 的后热处理温度＜65℃。

在本发明中，在制备任一种后热处理酸奶（如后热处理酸奶 A、后热处理酸奶 B、后热处理酸奶 C）时，对应后热处理酸奶所需的酸奶与该后热处理酸奶的区别仅在于后热处理（杀菌）温度的不同。

本发明提供的一种体积加权平均直径在后热处理酸奶颗粒感评估中的应用或利用体积加权平均直径评估后热处理酸奶的颗粒感的方法，本发明在对后热处理酸奶进行粒径分布测试时，发现，体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$可用于评价后热处理酸奶中的微凝胶结构，且与现有的显微图像分析方法的评价结果相当。进一步地发现，后热处理酸奶的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$与感官成员的颗粒感得分之间具有显著的幂律拟合相关性，其可以通过所述相关性识别出感官成员中的高敏感度组，提升所述颗粒感感官评估测试的准确性，降低成本。而且当将不同体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$的后热处理酸奶混合时，混合后后热处理酸奶的颗粒感会发生明显不同，为了降低后热处理杀菌后的酸奶的颗粒感，本发明提出了以特定体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$的酸奶与进行后热处理杀菌后颗粒感得分更高的后热处理酸奶混合的技术方案。

附图说明

为了更清楚地说明本发明或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本发明提供的不同待测样品的粒径分布曲线图；

图 2 是本发明提供的使用 Image J2 软件进行颗粒分析的过程示意图；

图 3 是本发明提供的不同待测样品的荧光显微镜图像；荧光图整体呈绿色，其中，（A）为 NT 组，（B）为 55℃和 65℃组（C）为 75℃和 85℃组；

图 4 是本发明提供的不同的后热处理温度导致的颗粒感得分；

图 5 是本发明提供的每个敏感度组的代表性拟合结果；其中，（A）对应高敏感度组，（B）对应低敏感度组，（C）对应中等敏感度组；

图 6 是本发明提供的每个敏感度组的平均颗粒感得分和 $D_{[4,3]}$之间的关系；其中，（A）对应高敏感度组，（B）对应低敏感度组，（C）对应中等敏感度组；

图 7 是本发明提供的不同混合体系的颗粒感评价结果；其中，（A）对应 NT 组和 65℃/25s 组的混合试验，（B）对应 NT 组和 85℃/25s 组的混合试验，（C）对应 65℃/25s 组和 85℃/25s 组的混合试验。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明中的附图，对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

下面结合图 1~图 7 描述本发明的体积加权平均直径在后热处理酸奶中的应用或利用体积加权平均直径评估后热处理酸奶的方法。

实施例中未注明具体技术或条件者，按照本领域内的文献所描述的技术或条件，或者按照产品说明书进行。所用试剂或仪器未注明生产厂商者，均为可通过正规渠道商购买得到的常规产品。

实施例 1 粒径分布测试

（1）样品准备

（1.1）将超高温处理的牛奶（3.2%蛋白质，4.0%脂肪）（内蒙古蒙牛乳业（集团）有限公司，中国呼和浩特）在发酵罐中加热到 45℃到 50℃。然后加入 6.0%（w/w）的白砂糖和 0.30%（w/w）的低酯果胶，并以 550rpm 搅拌，直到它们与乳基均匀混合。继续加热至 60℃后，在 40bar/150bar 的压力下将上述混合物均质化。均质化后，将混合物连续加热至 85℃，保持 20 分钟，然后冷却至 42℃，用于接种和发酵（0.03%（w/w），嗜热链球菌）。当酸奶的 pH 降至 4.50±0.04 时，发酵终止。以 550rpm 进行搅拌以破坏酸奶的凝胶系统。

（1.2）将步骤（1.1）得到的酸奶分成五份；并将其中一份不进行处理，即为 NT 组，而其余四份分别加热到中心温度为 55℃、65℃、75℃和 85℃并保持 25s，然后立即用流动的水冷却至 25℃，并与 NT 组一起在 4℃下储存过夜，并分别标记为：NT 组、55℃25s 组、65℃25s 组、75℃25s 组和 85℃25s 组，对每组均进行黏度测试，对应黏度分别为 175.39±10.42mPa·s、329.98±8.64mPa·s、436.63±33.04mPa·s、363.47±7.68mPa·s、267.29±1.85mPa·s。

（2）粒径分布测试

（2.1）分散剂准备

分散剂 1：从步骤（1.1）得到的酸奶中取出一部分酸奶，从中离心（5000g×30min，4℃）获得乳清，然后使用超滤膜（截留分子量为 10000Da）过滤，并在水浴中加热至 37±2℃，得过滤后乳清。

分散剂 2：超纯水。

分散剂 3：模拟超滤液，以超纯水为溶剂，其余组分及其含量见下表 1：

表 1

试剂名称	添加量（g/L）
磷酸二氢钾	1.58
柠檬酸钾	1.2
柠檬酸钠	2.12
硫酸钾	0.18
氯化钙	1.32
氯化镁	0.65
碳酸钾	0.3
氯化钾	0.6

（2.2）将步骤（2.1）得到的过滤后乳清（分散剂 1）用于在粒径测量期间分散步骤（1）得到的待测样品（NT 组、55℃25s 组、65℃25s 组、75℃25s 组和 85℃25s 组）。其中，粒径分布采用激光衍射仪（Malvern Mastersizer S，Malvern Instruments，Worcs）测定，其中，分散剂折射率设定为 1.32，颗粒折射率设定为 1.46。搅拌速度 1500rpm，遮光度范围 4~6%，当遮光度在范围内稳定 30s 后自动测量，从六次连续测量的平均值获得每个样品的粒径结果，每个样品进行三次测量。测量得到的粒径分布图如图 1 所示，而从图中确定的不同粒径指标如下表：

表 2

	$D_{[10]}$（μm）	$D_{[50]}$（μm）	$D_{[90]}$（μm）	$D_{[4,3]}$（μm）
NT 组	7.70 ± 0.10^{d}	13.70 ± 0.36^{c}	22.98 ± 1.07^{c}	14.55 ± 0.39^{c}
55℃/25s 组	7.27 ± 0.02^{d}	15.20 ± 0.48^{d}	41.15 ± 0.37^{d}	20.15 ± 0.10^{d}
65℃/25s 组	9.78 ± 0.01^{c}	21.09 ± 0.06^{c}	53.00 ± 1.09^{c}	27.20 ± 0.36^{c}
75℃/25s 组	14.42 ± 0.13^{b}	40.18 ± 0.56^{b}	88.18 ± 1.68^{b}	46.32 ± 0.69^{b}
85℃/25s 组	17.40 ± 0.38^{a}	60.63 ± 1.54^{a}	123.17 ± 3.13^{a}	65.98 ± 1.67^{a}

注：表 2 中同一列含相同字母代表组别间差异不显著（$p>0.05$），同一列不含相同字母代表组别间差异显著（$p\leq0.05$）。

从图 1 和表 2 中可以看出，用不同的后热处理处理获得的酸奶的粒径分布（PSD）曲线是单峰的，曲线的峰宽随着后加热温度增加并向更大的粒径移动。除 NT 组和 55℃/25s 组中的 $D_{[10]}$外，所有粒径参数，尤其是 $D_{[90]}$和 $D_{[4,3]}$参数，均随着后热处理温度的升高而显著增加（$p\leq0.05$）。结果表明，后热处理温度对酸奶中颗粒大小的分布有相当大的影响；温度越高，影响越大。增加的 $D_{[90]}$和 $D_{[4,3]}$揭示了后热处理酸奶的微凝胶颗粒的颗粒生长行为，增加的后热处理温度可以为颗粒间融合提供更强的驱动力，导致颗粒和簇在所有长度尺度上的重排，导致颗粒融合和结构单元尺寸的增加。

（2.3）与步骤（2.2）基本相同，不同之处仅在于：将分散剂 1 等体积替换为分散剂 2。粒径测试结果如下表：

表 3

	$D_{[10]}$（μm）	$D_{[50]}$（μm）	$D_{[90]}$（μm）	$D_{[4,3]}$（μm）
NT 组	6.04±0.04^{c}	10.19±0.15^{c}	16.74±0.49^{d}	13.23±0.15^{c}
55℃/25s 组	6.37±0.11^{c}	10.53±0.18^{c}	16.69±0.21^{d}	13.61±0.18^{c}
65℃/25s 组	8.14±0.02^{b}	16.53±0.10^{b}	33.10±0.77^{c}	18.80±0.29^{b}
75℃/25s 组	9.07±0.02^{a}	19.28±0.17^{a}	37.68±0.71^{b}	21.50±0.28^{a}
85℃/25s 组	8.50±0.03^{ab}	18.78±0.05^{a}	42.15±1.53^{a}	22.45±0.45^{a}

注：表 3 中同一列含相同字母代表组别间差异不显著（$p>0.05$），同一列不含相同字母代表组别间差异显著（$p\leq0.05$）。

（2.4）与步骤（2.2）基本相同，不同之处仅在于：将分散剂 1 等体积替换为分散剂 3。粒径测试结果如下表：

表 4

	$D_{[10]}$（μm）	$D_{[50]}$（μm）	$D_{[90]}$（μm）	$D_{[4,3]}$（μm）
NT 组	7.95±0.02^{b}	14.63±0.22^{d}	25.25±0.75^{c}	15.70±0.28^{c}
55℃/25s 组	8.57±0.03^{b}	17.73±0.12^{c}	38.00±2.02^{d}	20.97±0.78^{d}
65℃/25s 组	8.78±0.04^{b}	18.63±0.17^{c}	41.68±2.23^{c}	22.38±0.80^{c}
75℃/25s 组	10.00±0.18^{a}	25.10±0.61^{b}	62.75±7.71^{b}	31.30±2.46^{b}
85℃/25s 组	11.13±0.05^{a}	29.48±0.43^{a}	71.70±2.71^{a}	36.08±0.93^{a}

注：表 4 中同一列含相同字母代表组别间差异不显著（$p>0.05$），同一列不含相同字母代表组别间差异显著（$p\leq0.05$）。

（3）荧光显微镜图像测试

（3.1）样品准备

与步骤（1）中样品准备基本相同，不同之处在于：在加入低酯果胶的同时，将固绿溶液（0.2%）加入到乳基中。随后，在黑暗中进行搅拌和后热处理，然后静置过夜，备用。该样品分别标记为：显微镜图像-NT 组、显微镜图像-55℃25s 组、显微镜图像-65℃25s 组、显微镜图像-75℃25s 组和显微镜图像-85℃25s 组。

（3.2）根据 Gilbert 等人（2020）和 Li 等人（2020）（Gilbert, A., Rioux, L. E., St–Gelais, D., & Turgeon, S. L. (2020). Studying stirred yogurt microstructure using optical microscopy: How smoothing temperature and storage time affect microgel size related to syneresis. Journal of Dairy Science, 103(3), 2139–2152；Li, R., Rovers, T. A. M., Jger, T. C., Wijaya, W., & Ipsen, R. (2020). Interaction between added whey protein ingredients and native milk components in non–fat acidified model systems. International Dairy Journal, 115, Article 104946）修改的程序进行显微图像分析。具体为：对于每个样品，通过移液管吸取步骤（3.1）中准备的 1mL 样品，并用步骤（2.1）得到的过滤后乳清稀释 10 倍。然后轻轻摇动并混合样品。最后，将 25μL 标记并稀释的样品转移并平铺在配有显微镜盖玻片（25mm×25mm×0.13–0.16mm）的显微镜载玻片（25mm×76mm）上，并使用倒置显微镜在 10 倍物镜下通过荧光模式下观察。每个处理组的三个重复样品制备三个载玻片（每个重复样品一个）。在每张幻灯片上随机获取三幅图像。

根据 Gilbert 等人（2020）的方法，使用 Image J2 软件对获得的图像进行颗粒分析，该分析过程如图 2 所示。简而言之，首先通过“Bandpass Filter”消除图像中的背景噪声，阈值调整被定义为红色的默认模式。然后将图像双极化，并使用“watershed process”来区分粒子。应该注意的是，在图像边界上被分割的粒子被排除，并且不包括在分析中。每组样本的三个重复样本共计可获得 9 个图像，其中的每个图像经过软件处理后获得的单个颗粒表面积有所不同，但其总体可以被划分为四个不同的等级：即颗粒表面积<1000 μm^2、颗粒表面积在 1000~2000 μm^2 之间、颗粒表面积在 2000~3000 μm^2 之间和颗粒表面积>3000 μm^2。进一步，通过统计每个图片所包含的颗粒数量以及颗粒表面积可以计算获得每组样本颗粒的平均表面积，并依据该平均表面积，进一步可计算获得颗粒直径。使用图像分析测量的微凝胶的平均表面积和计算直径列于下表：

表 5

	平均表面积（μm^2）	计算直径（μm）
显微镜图像-NT 组	183.77 ± 6.77^{e}	15.30 ± 0.28^{e}
显微镜图像-55℃/25s 组	272.52 ± 9.12^{d}	18.61 ± 0.29^{d}
显微镜图像-65℃/25s 组	427.66 ± 3.80^{c}	23.32 ± 0.12^{c}
显微镜图像-75℃/25s 组	1400.17 ± 86.30^{b}	42.22 ± 1.30^{b}
显微镜图像-85℃/25s 组	2930.57 ± 91.50^{a}	61.09 ± 0.96^{a}

注：表 5 中同一列含相同字母代表组别间差异不显著（$p>0.05$），同一列不含相同字母代表组别间差异显著（$p\leq0.05$）。

另外，为了更直观地反映样品微观结构和颗粒簇大小的变化，记录各样品的荧光显微镜图如图 3 所示。

从上述数据可以看出，随着后加热温度的升高，微凝胶的平均表面积和直径显著增加（$p\leq0.05$）。

更重要的是，基于图像分析计算的直径和基于激光衍射测量的结果可以看出：影像学分析结果得出 NT 组、55℃/25s 组、65℃/25s 组、75℃/25s 组、85℃/25s 组样本的颗粒尺寸分别为 15.30±0.28μm、18.61±0.29μm、23.32±0.12μm、42.22±1.30μm、61.09±0.96μm。与影像学结果对比，超纯水（分散剂 2）稀释体系的 $D_{[4,3]}$粒径值普遍偏小，与影像学反映的颗粒实际尺寸水平偏差较大；模拟超滤液（分散剂 3）稀释体系的 $D_{[4,3]}$粒径值与影像学结果的吻合性具有条件性，表现为在低于 65℃/25s 热处理的酸奶样本中具有较好的一致性，而在高于 65℃/25s 热处理的酸奶样本中，由于微凝胶颗粒尺寸聚合较大，在模拟超滤液中分散后呈现出一定的尺寸损失性，与影像学实际结果偏差较大。综合考虑，乳清（分散剂 1）稀释液体系能够更为真实的还原酸奶体系的颗粒尺寸结果，可作为酸奶粒径尺寸鉴定的一种技术手段。

实施例 2 颗粒感评价

（1）传统感官分析方法

（1.1）感官成员：由 58 名半训练有素的专业感官成员（32 名女性，26 名男性，平均年龄：35 岁）进行评估，这些专业感官成员从事乳制品开发超过 3 年，并且熟悉乳制品的感官和质地特性的描述性评估。

（1.2）样品准备

实施例 1 中步骤（1.2）得到的 NT 组、55℃25s 组、65℃25s 组、75℃25s 组和 85℃25s 组。

（1.3）测试过程

从4℃条件下取出后随机摆开。将每组约60g样品放入100mL无味透明塑料杯中，用3位随机数编码，并在室温下平衡30分钟。要求在两天内完成感官评估，并且由58名半训练的感官成员（即上述（1.1）中所定义的感官成员）在每天的上午和下午评估五个随机选择的样品的颗粒感。感官分析在蒙牛乳业集团常温乳品研发中心的感官实验室的独立隔间中进行。其中，评估参照广义标记量级（gLM）来确定，0~3分被定义为“弱”颗粒强度等级，3~6分被定义为“中等”颗粒强度等级，6~9分被定义为“强”颗粒强度等级。评估结果如图4所示，从图中可以看出，后热处理引起的颗粒尺寸的增加不仅影响酸奶的微观结构，而且影响其感官特性，尤其是颗粒感。如图4所示，不同的后热处理温度导致酸奶样品不同的颗粒感。根据gLM定义的强度等级，NT组和55℃/25s组被归类为“弱”，65℃/25s组被归类为“中等”，75℃/25s组和85℃/25s组被归类为“强”。

而通过显微图像分析，55℃/25s以下各组的微凝胶面积主要分布在2000μm^{2}以下，而75℃/25s以上各组的微凝胶面积主要分布在2000~3000μm^{2}之间或3000μm^{2}以上。通常，微凝胶越大越硬，所感知的颗粒感强度越高，可能主要是因为一些较大的抗剪切颗粒在用舌头压向上颚时更容易出现颗粒状缺陷。然而，NT组与55℃/25s组之间、75℃/25s组与85℃/25s组之间的感觉评分没有显著差异（$p>0.05$）。这些发现与来自激光衍射（表1）和图像分析（表4）的微凝胶大小的显著差异（$p\leq0.05$）不一致。粒径评估中感官感知和仪器分析之间的这种不一致被认为与口腔触觉敏感性的个体差异有关。

因此，为了对具有不同口腔触觉敏感性的感官成员进行识别和聚类，挑选出高敏感度的感官成员对于提升所述颗粒感的口腔敏感性测试的准确性具有一定意义。

（2）对具有不同口腔触觉敏感性的感官成员进行识别和聚类

（2.1）本发明对评估结果进行了幂律拟合，具体地：

对每个感官成员的颗粒感得分与对应后热处理酸奶样品的体积加权平均直径$D_{[4,3]}$进行幂律拟合，拟合关系遵循$Y=mX^n+k$幂律拟合模型，其中，Y为颗粒感得分，X为$D_{[4,3]}$值，n为幂律拟合指数，m和k为常数，R^2为该幂律拟合模型的拟合精度；

每个感官成员的拟合数据列表如下：

表6

感官成员编号	n	R^2
1号	0.7062	0.6918
2号	1.0315	0.8098
3号	0.8506	0.7799
4号	0.9402	0.8828
5号	1.1319	0.7487
6号	0.6828	0.689
7号	0.3228	0.4218
8号	0.5076	0.7472
9号	1.0703	0.9576
10号	0.6048	0.853
11号	0.7624	0.872
12号	1.0346	0.5609
13号	0.8173	0.7949
14号	0.9548	0.9509
15号	1.025	0.7244

16 号	1.3082	0.789
17 号	0.7138	0.8604
18 号	1.0179	0.959
19 号	0.8339	0.3749
20 号	0.7552	0.5759
21 号	1.0645	0.5744
22 号	1.2894	0.7628
23 号	1.0432	0.8187
24 号	1.3809	0.776
25 号	1.2416	0.7201
26 号	1.0121	0.8784
27 号	0.8462	0.7041
28 号	0.7804	0.8441
29 号	0.7099	0.7114
30 号	0.7324	0.6916
31 号	0.5663	0.8496
32 号	0.8151	0.8753
33 号	0.7286	0.7453
34 号	0.7076	0.7468
35 号	0.776	0.7304
36 号	0.7239	0.7349
37 号	0.7269	0.7769
38 号	0.7313	0.7591
39 号	0.6916	0.7939
40 号	0.5944	0.6916
41 号	1.2796	0.7966
42 号	1.3267	0.9439
43 号	1.2676	0.7612
44 号	1.0222	0.7843
45 号	1.425	0.9033
46 号	1.2257	0.8733
47 号	1.2436	0.7839
48 号	1.3779	0.9318
49 号	1.1293	0.9009
50 号	1.3895	0.9106
51 号	0.1886	0.3011
52 号	0.2858	0.3091
53 号	0.7788	0.4348
54 号	0.5084	0.3551
55 号	0.6826	0.5588
56 号	0.6057	0.4462
57 号	0.575	0.6474
58 号	0.5388	0.6353

（2.2）拟合参数升序排列，如下表：

表 7

n	R^2	

0.1886	0.3011	
0.2858	0.3091	
0.3228	0.3551	
0.5076	0.3749	
0.5084	0.4218	
0.5388	0.4348	
0.5663	0.4462	
0.575	0.5588	
0.5944	0.5609	
0.6048	0.5744	
0.6057	0.5759	
0.6826	0.6353	
0.6828	0.6474	
0.6916	0.689	
0.7062	0.6916	第一百分位
0.7076	0.6916	
0.7099	0.6918	
0.7138	0.7041	
0.7239	0.7114	
0.7269	0.7201	
0.7286	0.7244	
0.7313	0.7304	
0.7324	0.7349	
0.7552	0.7453	
0.7624	0.7468	
0.776	0.7472	
0.7788	0.7487	
0.7804	0.7591	
0.8151	0.7612	第二百分位
0.8173	0.7628	
0.8339	0.776	
0.8462	0.7769	
0.8506	0.7799	
0.9402	0.7839	
0.9548	0.7843	
1.0121	0.789	
1.0179	0.7939	
1.0222	0.7949	
1.025	0.7966	
1.0315	0.8098	
1.0346	0.8187	
1.0432	0.8441	
1.0645	0.8496	
1.0703	0.853	第三百分位
1.1293	0.8604	
1.1319	0.872	

1.2257	0.8733	
1.2416	0.8753	
1.2436	0.8784	
1.2676	0.8828	
1.2796	0.9009	
1.2894	0.9033	
1.3082	0.9106	
1.3267	0.9318	
1.3779	0.9439	
1.3809	0.9509	
1.3895	0.9576	
1.425	0.959	

（2.3）从上述表 6 和表 7 中总结幂律拟合的 n 和 R^2 的描述结果，如下：

表 8

	n	R^2
最小值	0.18	0.30
最大值	1.43	0.96
平均值	0.88	0.73
第一百分位	0.71	0.69
第二百分位	0.81	0.76
第三百分位	1.07	0.85

以幂律拟合指数 n 和从幂律拟合模型导出的 R^2 被选为敏感性判别标准，幂律拟合指数 n 用于表征感知颗粒感得分随体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$增加的增长速率，R^2 用于表征幂律拟合模型的拟合精度。进一步地，将高敏感性组的划分标准被定义为幂律拟合指数 n 和 R^2 同时大于聚类参数分布的第三百分位（R^2 系数和幂律拟合指数 n 分布的 75%分别等于 0.85 和 1.07）。低敏感性组的划分标准被定义为幂律拟合指数 n 和 R^2 系数同时小于聚类参数分布的第一百分位（R^2 系数和幂律拟合指数 n 分布的 25%分别等于 0.69 和 0.71）。中度敏感组的划分标准被定义为幂律拟合指数 n 和 R^2 系数大于聚类参数分布的第一百分位和/或小于第三百分位。

具体来说，在本申请中，第一百分位是指将所有样本的聚类参数值按照由小到大顺序排列后第 25%的数字，第二百分位是指将所有样本的聚类参数值按照由小到大排列后第 50%的数字，第三百分位是指将所有样本的聚类参数值按照由小到大排列后第 75%的数字。由幂律拟合模型获得所有聚类参数（R^2 系数和幂律拟合指数 n）并按照由小到大排列后，通过第一百分位、第二百分位数、第三百分位数的划分对所有聚类参数进行等位划分，R^2 系数值和幂律拟合指数 n 值同时低于第一百分位数时，可从百分位数定义上归类其“所属感官人员的感知颗粒感得分随体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$增加的增长速率”以及“所属感官人员的感知颗粒感得分和体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$对幂律模型的依从性”低于所有感官人员中排名后 25%的水平，以此用于表征低敏感性组。反之，R^2 系数值和幂律拟合指数 n 值同时高于第三百分位数时，可从百分位数定义上归类其“所属感官人员的感知颗粒感得分随体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$增加的增长速率”以及“所属感官人员的感知颗粒感得分和体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$对幂律模型的依从

性”高于所有感官人员中排名前 25%的水平，以此用于表征高敏感性组。而对于 R^2 系数值和幂律拟合指数 n 值高于第三百分位数和/或低于第三百分位数时，可从百分位数定义上归类其“所属感官人员的感知颗粒感得分随体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$增加的增长速率”和/或“所属感官人员的感知颗粒感得分和体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$对幂律模型的依从性”处于所有感官人员中排名前 25%至排名后 25%之间的水平，以此用于表征中等敏感性组。

最终，所有感官成员被分为高（N=9）、低（N=11）和中等（N=38）敏感度组，每个敏感度组的代表性拟合结果如图 5 的（A）~（C）所示。同时，每个敏感度组的平均颗粒感得分和 $D_{[4,3]}$之间的关系如图 6 的（A）~（C）所示。图 6 中，圆形、正方形、上三角、下三角和菱形的点依次代表 NT 组、55℃25s 组、65℃25s 组、75℃25s 组和 85℃25s 组；从图中可以看出：

关于高敏感度组，如图 6（A），随着 $D_{[4,3]}$参数的显著增加，感官成员的颗粒感得分显著增加（$p\leq0.05$）。表明他们具有与仪器测试相似的辨别能力，可以将样本区分为“弱”（约 14~20μm，表 2）、“中等”（约 27μm，表 2）和“强”（约 46~65μm，表 2）。

关于低敏感度组，如图 6（B），在低于 55℃/25s 和高于 55℃/25s 的组中，颗粒感得分显著不同（$p\leq0.05$）。75℃/25s 组被归类为“强”，而其他处理组被归类为“中等”。

关于中度敏感性组，如图 6（C），“弱”、“中等”和“强”等级也与高敏感性组类似地被清楚地区分，但是在低于 55℃/25s 组之间（$p>0.05$）和高于 75℃/25s 组之间（$p>0.05$）没有观察到显著差异。

最终，就个体敏感度对颗粒感的总体影响而言，大约 81%被归类为“中等”和“高”敏感度的感官成员获得了大致一致的结果，即体积加权平均直径 $D_{[4,3]}<20\mu m$ 通常被归类为“弱”等级，体积加权平均直径 $D_{[4,3]}>46\mu m$ 被归类为“强”等级，体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$位于二者之间的被归类为“中等”等级。

当绝大多数感官成员具有相似的区分不同颗粒大小的酸奶的能力时，这并不影响颗粒感等级的总体评估结果。

实施例 3 降低后热处理酸奶的颗粒感的方法

由上述实施例可以看出：与后热处理低于 55℃/25s 的酸奶相比，后热处理温度高于 75℃/25s 的酸奶具有更明显的颗粒特性。因此，本发明进一步围绕体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$进行研究，发现，以体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$作为关键性指标，可以有效指导如何降低后热处理酸奶的颗粒感。

具体试验如下：

以不同的体积比(1:9、3:7、5:5、7:3 和 9:1)混合具有不同体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$的酸奶，包括：实施例 1 中步骤（1.2）得到的 NT 组、65℃/25s 组和 85℃/25s 组，混合得到的后热处理酸奶，其中，混合试验如下：

对于 NT 组和 65℃/25s 组的混合试验，其混合的比例及其粒径参数如下表所示。其中，A1、A2、A3、A4 和 A5 依次表示 NT 组和 65℃/25s 组的体积比为 1:9、3:7、5:5、7:3 和 9:1。

表 9

	$D_{[10]}$(μm)	$D_{[50]}$(μm)	$D_{[90]}$(μm)	$D_{[4,3]}$(μm)
65℃/25s 组	9.78 ± 0.01^a	21.09 ± 0.06^a	53.00 ± 1.09^b	27.20 ± 0.36^a
A1	7.61 ± 0.05^b	17.04 ± 0.38^b	59.36 ± 1.16^a	25.80 ± 2.55^a
A2	7.64 ± 0.04^b	17.42 ± 0.16^b	59.78 ± 1.36^a	26.14 ± 0.45^a
A3	7.36 ± 0.03^b	15.68 ± 0.13^c	49.02 ± 0.98^c	22.80 ± 0.39^b

A4	7.40±0.03^{b}	15.34±0.11^{c}	43.14±1.28^{d}	20.80±0.37^{c}
A5	7.35±0.03^{b}	15.64±0.09^{e}	40.40±0.59^{e}	20.14±0.23^{e}
NT 组	7.70±0.10^{b}	13.70±0.36^{c}	22.98±1.07^{f}	14.55±0.39^{d}

注：表 9 中同一列含相同字母代表组别间差异不显著（$p>0.05$），同一列不含相同字母代表组别间差异显著（$p\leq0.05$）。

相应地，采用实施例 2 的方法对 NT 组和 65℃/25s 组的混合试验得到的后热处理酸奶进行颗粒感评价，结果见下表：

表 10

	A1	A2	A3	A4	A5	NT 组	65℃/25s 组
$D_{[4,3]}$值	$D_{[4,3]}$(μm)						
	25.8	26.14	22.8	20.8	20.14	14.55	27.2
感官成员编号	颗粒感得分						
1	4	4	1	2	1	3	7
2	4	5	4	3	2	2	5
3	2	2	2	1	1	3	5
4	4	3	1	0	4	2	3
5	4	6	4	2	2	2	3
6	5	6	2	4	1	2	4
7	7	6	3	3	0	3	4
8	3	4	3	2	1	3	4
9	4	2	2	1	3	2	4
10	2	5	2	1	0	3	4
11	6	6	3	3	2	2	4
12	7	3	2	1	2	3	5
13	5	5	3	3	4	3	3
14	5	6	3	4	4	2	3
15	4	3	2	3	1	2	2
16	5	5	3	3	2	2	3
17	5	5	3	3	1	3	6
18	2	2	1	1	3	2	3
19	6	4	3	5	2	4	3
20	2	4	1	1	2	4	6
21	5	5	3	4	2	2	1
22	8	4	3	4	2	2	4
23	4	5	4	3	2	2	2
24	7	5	4	5	4	2	3
25	6	5	2	3	1	2	2
26	7	5	6	5	2	2	4
27	7	8	3	4	4	3	5
28	4	6	4	3	5	3	4
29	7	4	3	1	1	3	4

30	3	5	1	2	4	3	4
31	5	5	3	3	4	4	4
32	1	1	1	1	2	2	4
33	4	4	3	1	5	3	6
34	2	2	2	3	2	3	6
35	2	4	1	1	4	3	5
36	7	4	2	1	2	4	6
37	6	6	4	4	3	3	7
38	4	4	2	2	4	3	5
39	3	5	3	2	2	4	6
40	3	2	1	0	3	3	5
41	2	2	1	0	2	1	5
42	8	7	3	4	3	1	3
43	6	5	3	3	1	1	6
44	4	3	1	1	4	1	4
45	7	5	2	2	2	1	5
46	4	5	2	3	2	1	4
47	4	4	1	2	2	1	6
48	1	8	2	5	1	1	4
49	5	5	3	4	2	2	5
50	4	6	4	4	3	1	3
51	5	5	4	2	1	3	5
52	4	4	2	3	1	3	5
53	7	6	5	5	3	2	1
54	5	5	5	3	1	3	5
55	6	7	3	4	1	4	6
56	5	5	3	1	2	3	2
57	3	5	2	2	1	4	4
58	5	5	3	4	2	4	4

对于 NT 组和 85℃/25s 组的混合试验，其混合的比例及其粒径参数如下表所示。其中，B1、B2、B3、B4 和 B5 依次表示 NT 组和 85℃/25s 组的体积比为 1:9、3:7、5:5、7:3 和 9:1。

表 11

	$D_{[10]}$(μm)	$D_{[50]}$(μm)	$D_{[90]}$(μm)	$D_{[4,3]}$(μm)
85℃/25s 组	17.40 ± 0.38^{a}	60.63 ± 1.54^{a}	123.17 ± 3.13^{a}	65.98 ± 1.67^{a}
B1	16.95 ± 0.13^{a}	58.03 ± 0.66^{a}	138.25 ± 10.01^{a}	68.83 ± 3.04^{a}
B2	14.33 ± 0.10^{b}	49.83 ± 0.51^{b}	116.00 ± 1.83^{b}	58.28 ± 0.73^{b}
B3	14.17 ± 0.25^{b}	40.87 ± 2.03^{c}	90.93 ± 7.87^{c}	47.40 ± 3.04^{c}
B4	10.60 ± 0.35^{c}	25.24 ± 0.46^{d}	66.98 ± 1.89^{d}	32.78 ± 0.37^{d}
B5	8.19 ± 1.48^{d}	17.93 ± 4.04^{e}	50.87 ± 2.67^{e}	24.53 ± 2.78^{e}
NT 组	7.70 ± 0.10^{d}	13.70 ± 0.36^{f}	22.98 ± 1.07^{f}	14.55 ± 0.39^{f}

注：表 11 中同一列含相同字母代表组别间差异不显著（$p>0.05$），同一列不含相同字母代表组别间差异显著（$p\leq0.05$）。

相应地，采用实施例 2 的方法对 NT 组和 85℃/25s 组的混合试验得到的后热处理酸奶进行颗粒感评价，结果见下表：

表 12

	B1	B2	B3	B4	B5	NT	85℃/25s 组
$D_{[4,3]}$值	$D_{[4,3]}$(μm)						
	68.83	58.28	47.4	32.78	24.53	14.55	65.98
感官成员编号	颗粒感得分						
1	8	7	6	5	4	3	7
2	8	6	7	7	2	2	7
3	7	6	6	6	4	3	9
4	9	7	7	5	4	2	9
5	5	6	6	8	4	2	7
6	7	7	8	2	1	2	4
7	8	8	6	6	4	3	4
8	6	4	4	5	4	3	8
9	8	7	8	5	4	2	9
10	7	6	5	4	3	3	8
11	5	5	5	3	1	2	8
12	6	6	5	2	2	3	9
13	8	5	5	3	3	3	9
14	7	5	5	5	3	2	8
15	8	8	5	5	2	2	6
16	5	6	6	7	3	2	9
17	6	6	6	6	5	3	8
18	7	4	4	3	2	2	8
19	6	5	8	8	6	4	6
20	8	7	5	6	1	4	8
21	9	7	8	4	3	2	7
22	8	8	8	7	5	2	9
23	6	6	4	5	4	2	9
24	8	8	8	6	4	2	9
25	6	5	6	4	3	2	7
26	6	7	8	2	0	2	7
27	5	5	5	4	1	3	7
28	7	5	4	2	1	3	7
29	5	5	6	6	3	3	7
30	9	7	4	5	4	3	7
31	8	8	8	5	2	4	7
32	7	7	7	5	4	2	7
33	7	6	6	5	4	3	7
34	7	6	8	2	2	3	8
35	9	5	8	5	4	3	7
36	8	8	8	8	7	4	8
37	7	4	8	8	6	3	7
38	7	5	8	4	3	3	8
39	9	6	5	3	1	4	8
40	9	5	8	5	2	3	6
41	7	7	5	5	4	1	9
42	9	9	6	8	4	1	7
43	6	9	3	3	1	1	9
44	5	6	9	5	4	1	6
45	6	6	5	2	2	1	9
46	8	9	6	5	3	1	8
47	7	6	5	6	2	1	8
48	5	5	7	2	1	1	8
49	9	7	6	1	2	2	9

50	8	8	8	8	4	1	9
51	8	8	5	5	3	3	4
52	6	5	4	3	1	3	4
53	7	5	6	7	4	2	6
54	7	5	6	3	1	3	4
55	8	5	5	4	3	4	8
56	8	5	5	5	3	3	8
57	5	5	6	5	5	4	7
58	7	4	4	3	2	4	7

对于 65℃/25s 组和 85℃/25s 组的混合试验，其混合的比例及其粒径参数如下表所示。其中，C1、C2、C3、C4 和 C5 依次表示 65℃/25s 组和 85℃/25s 组的体积比为 1:9、3:7、5:5、7:3 和 9:1。

表 13

	$D_{[10]}$(μm)	$D_{[50]}$(μm)	$D_{[90]}$(μm)	$D_{[4,3]}$(μm)
85℃/25s 组	17.40 ± 0.38^{a}	60.63 ± 1.54^{a}	123.17 ± 3.13^{a}	65.98 ± 1.67^{a}
C1	17.28 ± 0.13^{a}	58.83 ± 0.79^{a}	131.00 ± 4.24^{a}	67.25 ± 1.52^{a}
C2	14.85 ± 0.06^{b}	50.65 ± 0.55^{b}	122.50 ± 1.73^{b}	60.73 ± 0.73^{b}
C3	14.08 ± 0.17^{b}	43.98 ± 0.77^{c}	106.50 ± 5.20^{c}	53.00 ± 1.78^{c}
C4	10.70 ± 0.30^{c}	26.60 ± 0.10^{d}	71.54 ± 1.26^{d}	34.54 ± 0.39^{d}
C5	10.52 ± 0.04^{c}	25.04 ± 0.18^{d}	61.20 ± 0.94^{e}	31.08 ± 0.36^{e}
65℃/25s 组	9.78 ± 0.01^{c}	21.09 ± 0.06^{e}	53.00 ± 1.09^{f}	27.20 ± 0.36^{f}

注：表 13 中同一列含相同字母代表组别间差异不显著（$p>0.05$），同一列不含相同字母代表组别间差异显著（$p\leq0.05$）。

相应地，采用实施例 2 的方法对 65℃/25s 组和 85℃/25s 组的混合试验得到的后热处理酸奶进行颗粒感评价，结果见下表：

表 14

	C1	C2	C3	C4	C5	65℃/25s 组	85℃/25s 组
$D_{[4,3]}$值	$D_{[4,3]}$(μm)						
	67.25	60.73	53	34.54	31.08	27.2	65.98
感官成员编号	颗粒感得分						
1	6	6	6	4	6	7	7
2	6	6	9	5	4	5	7
3	5	6	6	5	4	5	9
4	5	6	6	6	7	3	9
5	7	8	8	4	8	3	7
6	5	5	8	5	5	4	4
7	6	5	5	4	2	4	4
8	7	7	6	5	7	4	8
9	7	4	8	3	4	4	9
10	7	5	7	6	7	4	8
11	7	8	7	7	7	4	8
12	7	7	9	4	4	5	9
13	6	5	9	5	7	3	9
14	7	9	6	2	2	3	8
15	5	5	5	6	5	2	6
16	6	7	5	6	5	3	9
17	7	6	6	7	6	6	8
18	8	8	8	6	6	3	8
19	6	7	8	7	5	3	6
20	8	8	6	7	3	6	8
21	6	5	5	6	4	1	7
22	5	5	4	5	5	4	9

23	7	7	7	7	6	2	9
24	7	5	5	4	5	3	9
25	9	8	8	7	9	2	7
26	7	7	6	7	6	4	7
27	6	6	6	3	4	5	7
28	6	6	6	8	4	4	7
29	6	6	8	7	5	4	7
30	8	8	6	9	5	4	7
31	6	7	6	5	5	4	7
32	6	6	5	6	6	4	7
33	7	7	2	2	2	6	7
34	6	8	4	6	5	6	8
35	8	7	7	7	8	5	7
36	6	6	6	5	4	6	8
37	6	6	9	4	4	7	7
38	8	5	5	5	5	5	8
39	5	7	7	6	4	6	8
40	7	4	8	5	5	5	6
41	6	6	8	7	6	5	9
42	7	7	7	6	3	3	7
43	6	5	5	5	5	6	9
44	6	4	6	3	5	4	6
45	5	7	6	6	5	5	9
46	5	5	8	5	4	4	8
47	7	8	7	5	2	6	8
48	5	9	5	5	6	4	8
49	5	5	6	6	5	5	9
50	7	6	6	5	7	3	9
51	6	8	5	6	2	5	4
52	9	6	6	5	5	5	4
53	6	8	7	5	4	1	6
54	6	5	7	5	6	5	4
55	5	6	7	6	6	6	8
56	6	5	6	7	6	2	8
57	5	8	7	2	4	4	7
58	9	8	7	5	2	4	7

从上表可以看出，将体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤46μm 的酸奶与由其进行后热处理杀菌后得到的酸奶混合后，或者，将体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤46μm 的后热处理酸奶混入另一体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$＞46μm 的后热处理酸奶中，不同程度地降低了体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤46μm 较大的后热处理酸奶的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$。随后是感知颗粒感的降低。

具体而言：

在 NT 组和 65℃/25s 组的混合试验中，随着 NT 组的体积比例(vol%)变得超过 30%，A3、A4 和 A5 体积比下的混合后的酸奶的 $D_{[4,3]}$值显著($p\leq0.05$)低于 65℃/25s 组，如表 8 所示。同时，如图 7（A）所示，其中，实心正方形、上三角、菱形、下三角和空心正方形的点依次代表混合时的体积比：9:1、7:3、5:5、3:7 和 1:9，（A）中实心圆形和空心圆形依次代表 NT 组和 65℃/25s 组，可以看出，其颗粒感评价也揭示了相应得分从“中等”降低到“弱”。

在 NT 组和 85℃/25s 组的混合试验中，随着 NT 组的体积比例(vol%)变得超过 10%，B2、B3、B4 和 B5 体积比下的混合后的酸奶的 $D_{[4,3]}$值显著($p\leq0.05$)低于 85℃/25s 组，如表 11 所示。然而，如图 7（B）所示，其中，实心正方形、上三角、菱形、下三角和空心正方形的点依次代表混合时的体积比：9:1、7:3、5:5、3:7 和 1:9，（B）中实心圆形和空心圆形依次代表 NT 组和 85℃/25s 组，可以看出，其颗粒感评价中，NT 组的体积百分比为 30%(B2)和 50%(B3)

的混合后酸奶的颗粒感得分仍被归类为“强”。随着 NT 组的 vol%进一步增加到 70%(B4)和90%(B5)，混合后酸奶的颗粒感评分从“强”降低到“中等”(B4)和“弱”(B5)。

在 65℃/25s 组和 85℃/25s 组的混合试验中，随着 65℃/25s 组的 vol%大于 10%，C2、C3、C4 和 C5 体积比下的混合后酸奶的 $D_{[4,3]}$值显著($p \leq 0.05$)低于 85℃/25s 组，如表 13 所示。然而，如图 7（C）所示，其中，实心正方形、上三角、菱形、下三角和空心正方形的点依次代表混合时的体积比：9:1、7:3、5:5、3:7 和 1:9，（C）中实心圆形和空心圆形依次代表 65℃/25s 组和 85℃/25s 组，可以看出，其颗粒感评价中，在 65℃/25s 组中，体积百分比为 30%(C2)和 50%(C3)的混合后酸奶的颗粒感得分仍然被归类为“强”。将 65℃/25s 组的体积百分比进一步增加到 70%(C4)和 90%(C5)，混合后酸奶的颗粒感评分从“强”降低到“中等”。

最后应说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

权 利 要 求

1.评估后热处理酸奶的方法，其特征在于，所述方法包括获得所述后热处理酸奶的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$的步骤。

2.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述方法包括：利用所述体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$评价后热处理酸奶中的微凝胶结构。

3.根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述方法包括：

从待测后热处理酸奶样品中离心得到乳清；

所述乳清使用超滤膜过滤得过滤后乳清，即分散剂；

利用所述分散剂进行所述待测后热处理酸奶样品的粒径分布测试，获得所述体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$。

4.根据权利要求 2 或 3 所述的方法，其特征在于，所述后热处理酸奶样品的黏度为 100~500mPa·s。

5.根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的方法，其特征在于，所述后热处理酸奶样品的组分主要包括：

低酯果胶 0.1~0.4%、白砂糖 4~8%、蛋白 2.8~3.2%和脂肪 3.0~4.0%。

6.根据权利要求 1~5 中任一项所述的方法，其特征在于，所述方法包括：利用所述体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$进行后热处理酸奶颗粒感的口腔敏感性测试。

7.根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，所述颗粒感的口腔敏感性测试中包括：对具有不同口腔触觉敏感性的感官成员进行识别的步骤；

所述识别步骤包括：

在后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$在 14~65μm 范围内时，确定颗粒感得分随着后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$值递增的感官成员。

8.根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述颗粒感的口腔敏感性测试中包括以下步骤：

确定全体感官成员，任选地，所述感官成员为 50 人以上；

由所述全体感官成员分别对颗粒感得分进行评估，所述颗粒感得分中依据广义标记量级对应的强度等级进行颗粒感描述：0~3 分被定义为弱等级，3~6 分被定义为中等等级，6~9 分被定义为强等级；

对具有不同口腔触觉敏感性的感官成员进行识别；

所述识别步骤包括：

遵循 $Y=mX^n+k$ 幂律拟合模型对每个感官成员的颗粒感得分与后热处理酸奶样品的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$进行幂律拟合；其中，Y 为感官成员颗粒感得分，X 为体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$值，n 为幂律拟合指数，m 和 k 为常数，R^2 为幂律拟合模型的拟合精度；

由所述幂律拟合指数 n 和所述幂律拟合模型的拟合精度 R^2 判断每个感官成员的敏感性强弱。

9.根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，所述判断每个感官成员的敏感性强弱包括：

对所述幂律拟合指数 n 和所述幂律拟合模型的拟合精度 R^2 进行升序排列，确定所有聚类参数的第一百分位、第二百分位和第三百分位；

由所述第一百分位、所述第二百分位和所述第三百分位对每个感官成员进行所述识别，确定高敏感度组的感官成员、低敏感度组的感官成员和中等敏感度组的感官成员。

10.根据权利要求 7~9 中任一项所述的方法，其特征在于，所述口腔敏感性测试用于颗粒感感官评估测试。

11.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述方法包括：利用体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$指导降低后热处理酸奶的颗粒感；

将后热处理酸奶 A 与体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤46μm 的酸奶 B 混合，所述后热处理酸奶 A 由所述酸奶 B 进行后热处理杀菌后得到；

所述酸奶 B 与后热处理酸奶 A 的体积比≥3:7。

12.根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述酸奶的体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤15μm。

13.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，包括：将后热处理酸奶 A 与体积加权平均直径 $D_{[4,3]}$≤46μm 的后热处理酸奶 C 混合的步骤，所述后热处理酸奶 A 和所述后热处理酸奶 C 由相同的酸奶在不同后热处理温度下杀菌后得到。

14.根据权利要求 13 所述的方法，其特征在于，所述后热处理酸奶 A 的后热杀菌的温度为 65~85℃，所述后热处理酸奶 C 的后热杀菌的温度为 65℃以下，所述混合时，后热处理酸奶 C 与后热处理酸奶 A 的体积比≥7:3。