

核磁共振及其成像技术研究面粉吸水率及其形成过程

陈卫江¹, 林向阳^{1,2}, 阮榕生^{1,*}, 王娜¹, 朱榕璧², 张锦胜¹
 (1. 南昌大学食品科学教育部重点实验室, 江西 南昌 330047;
 2. 福州大学生物科学与工程学院, 福建 福州 350002)

摘要: 利用核磁共振及其成像技术研究了面筋含量、含水量、添加物、搅拌与面团中水的状态之间的关系。水分状态的测定使用自旋-晶格和自旋-自旋弛豫时间(T_1 和 T_2)。在面团搅拌过程中,在初期 T_2^* 和相应的质子密度值随着搅拌时间的延长而快速减小,说明自由水加入到面粉中后迅速与面粉中的蛋白以及其他成分发生了水合作用。 T_2^* 与搅拌时间的曲线体现了面团的这个搅拌过程,从中可以直观的得到面团的最佳搅拌时间。搅拌时间受水分含量的影响,并且不同面筋含量的面粉搅拌稳定时间也不相同。面筋含量与搅拌时间成正比。高温有利于面团的形成,并且影响面团中水分的流动性。通过低、中、高三种不同面筋含量面粉吸水率与NMR自旋-晶格弛豫时间关系的研究,实验结果发现 T_1 以及 T_1 幅度随水分含量的增加而增加,随面筋含量的增加而减少,并且得到了 T_1 与吸水量之间的关系曲线,不同面筋含量面粉的最佳吸水量:湿面筋含量25.4%面粉的吸水量为55.0%;湿面筋含量30.4%面粉的吸水量为57.5%;湿面筋含量35.8%面粉的吸水量为60%。

关键词: 核磁共振; 磁共振成像技术; 面团; 吸水率; 搅拌时间

Study on the Absorbability and Formation of Flour with NMR and MRI Techniques

CHEN Wei-jiang¹, LIN Xi-ang-yang^{1,2}, RUAN Rong-sheng^{1,*}, WANG Na¹, ZHU Rong-bi², ZHANG Jin-sheng¹
 (1. Key Laboratory of Food Science, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330047, China;
 2. College of Bioscience and Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The relationship between gluten contents, stirring, hydration, and the state of water in flour dough were studied with NMR and MRI techniques. The state of water was measured using spin-lattice and spin-spin relaxation times, or T_1 and T_2 respectively. In stirring period, T_2^* values (or the apparent T_2 obtained with single 90 degree pulse sequence) and the corresponding proton density decreased rapidly initially with increasing stirring time, indicating that the bulk water added to the flour was rapidly incorporated into the flour, hydrating the proteins and other components in the flour. The curve between T_2^* and mixing time

收稿日期: 2006-08-17

*通讯作者

基金项目: 长江学者和创新团队发展计划(IRT0540); 江西省技术带头人培养计划项目(Z02605)

作者简介: 陈卫江(1979-), 男, 硕士研究生, 研究方向为粮油及植物蛋白工程。

表明微生物的多样性影响及关键点的控制研究[J]. 食品科学, 2006, 27(4): 170-173.

[13] 张子平. 冷却肉的加工技术及质量控制[J]. 食品科学, 2001, 22(1): 83-89.

[14] 徐幸莲, 彭增起, 韩健. 超市冷却肉微生物状况的调查[J]. 食品科学, 2003, 24(8): 209-211.

[15] Olsson C, Ahme S, Pettersson B, et al. The bacterial of fresh and chilled stored pork: analysis by cloning and sequencing of 16S rRNA genes[J].

International Journal of Food Microbiology, 2003, 83: 245-252.

[16] 吕志平. 国内外技术法规和标准中食品微生物限量[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002. 1-179.

[17] Borch E, Kant-Muermans M L, Blijst Y. Bacterial spoilage of meat and cured meat products[J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 33: 103-120.

[18] 东秀珠, 蔡妙英, 等. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 66-294.

showed the formation process of dough that can direct the optimal stirring time in dough. Stirring time was also affected by moisture content, however, there was no difference among different content of gluten. The data shows that the stable time was different with the different of gluten content in dough, the higher the gluten, the longer stable time. Higher temperature increased the formation of dough. The water mobility was also found to be affected by stirring temperature. With two component fitting, it was found that T_1 values and T_1 amplitudes increased with increasing moisture content and decreasing gluten content, also found that there was solid relationship between T_1 and water absorption in flour which decided the optimal moisture content in different gluten flour, with the gluten content of 25.4%, 30.4%, 35.8% in flour the optimal moisture absorption is 55%, 57.5% and 60% respectively.

Key words: NMR; MRI; dough; absorbability; stirring time

中图分类号: O657.2; TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2006)11-0124-06

面团的形成是一个复杂的过程,它与面粉本身的成分(如:淀粉、储存蛋白、非淀粉多糖、脂类、水溶性蛋白和无机物等),以及在和面过程中添加的水分、蔗糖、食盐和其它改良剂有关,还与和面的搅拌时间和方式有关。面团的形成过程主要是水分子与面团中的大分子物质(如:蛋白质和碳水化合物)结合的过程。面团的含水量和搅拌混合的程度决定了面团中水的存在状态^[1]。

面团的形成过程不是单一的原辅料混合,它伴随着许多复杂的物理化学变化。根据面团中水的结合程度将其划分为三种存在状态:单分子层结合水、多分子层结合水和自由水。NMR 技术研究食品中的水分,一般也将其划分成两种或者三种存在状态的水分进行研究^[2,3],这些水质子与周围环境的不同物理化学特性表现出不同的弛豫时间(自旋-晶格弛豫时间,用 T_1 表示,自旋-自旋弛豫时间,用 T_2 表示)^[4]。本研究利用多重指数曲线方法拟和 IR 脉冲序列得到面团的 T_1 数据和 FID 脉冲序列获得的面团的 T_2 数据。通过研究面团中不同状态的 T_1 和 T_2 ,推断面团中不同存在状态水分的分子流动性和面筋形成情况,从而判断面粉吸水率与面团形成过程中的关系。在实际生产中,不同的生产者采用的原料、配方、工艺,以及所使用的和面机不尽相同,因此最佳和面时间要根据实际情况进行调整。首先要确定它的最佳吸水量,然后根据加水量的多少确定最佳搅拌时间。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

白玉兰牌面粉(湿面筋含量26%) 广州南方面粉股份有限公司;安琪牌高活性干酵母;食盐;砂糖;南昌市饮用水。

1.2 仪器设备

0.3T ¹H YOMINGMR2 IMAGING 核磁共振成像系统(配备内径为15.6cm的射频线圈) 宁波健信机械有限公司;SL2002N 型电子天平 上海民桥精密科学仪器有限

公司;BL5 型三功能搅拌机 广州市番禺立丰食品机械厂;吹泡—稠度仪 瑞典波通仪器公司;肖邦 SDmatic 损伤淀粉测定仪 瑞典波通仪器公司;DHG-9036A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海精密实验设备有限公司。

1.3 方法

1.3.1 面粉理化指标的测定

湿面筋含量、干面筋含量分别按 GB/T14607-93、GB/T14608-93 方法测定。中筋粉以高筋粉和低筋粉各 50% 配制得到的面粉,并按 GB/T14607-93、GB/T14608-93 方法测定湿面筋含量、干面筋含量。面粉的稳定时间和吸水率按 GB/T14615-93 方法测定。

1.3.2 制备不同含水量的面团

样品的弛豫性质与样品分子的运动性、环境温度和含水量等因素都有密切的关系,因此,所有实验操作和测试均在环境温度 30 的条件下完成,实验重复 3 次,做好记录。

实验分两组进行。第一组,依次量取 20、25、30、35、40、45、50ml 水,分别加入 100g 面粉,手工和面 10min 左右,揉成团后装入保鲜袋中,立即进行核磁共振实验。

1.3.3 不同面筋面粉吸水率的测定以及 NMR 不同吸水量的测定

吸水率表示在制作面团时,混合一定重量面粉所需水分的量。吸水率按 GB/T 14614-93 小麦粉吸水率和面团揉和性能测定法粉质仪法方法测定。

35.8%、30.4% 和 25.4% 三种湿面筋强度的面粉分别在水分添加量为 35%、40%、42.5%、45%、47.5%、50%、52.5%、55%、57.5%、60%、62.5%、65%(面粉总重量比)条件下按照 1.3.2 方法制备不同的面团,用 NMR IR 序列测定面团的纵向弛豫时间常数 T_1 及其信号密度。IR 实验采用的参数:采样点数 TD=2048 弛豫衰减时间 $D^0=1s$ 。利用 T_1 -Fit 软件拟合计算出 T_1 值,实验重复测定三次,取平均数据,使用 Excel 软件处理结果。

1.3.4 不同面筋强度面团的搅拌期测定

称取5000g的高、中、低三种不同面筋强度的面粉分别与50g酵母在和面机的不锈钢容器里混合均匀,在30 min时将2200g的水加入混合均匀的面粉中,当和面机转动时开始计时。分别在和面1、4、7、10、13、16、19、22、25、28、31、35、40、45、50、55min时采取重量约为40g的小面团,使用FID脉冲序列测定样品的 T_2 值。FID实验采用的参数:采样点数 $TD=2048$ 、重复扫描次数 $NS=16$ 、弛豫衰减时间 $D_0=1s$ 。利用 $T_2^*_{Fit}$ 软件拟合计算出 T_2 值重复实验三次,数据取其平均值。

1.3.5 不同面筋强度面团在最佳吸水区的搅拌期测定

根据1.3.3方法测定结果得到不同面筋含量面粉的面粉吸水量的平缓期(最佳吸水区),在最佳吸水区取水量的平均值分别加入相对应面粉中,按1.3.4方法进行搅拌时间的测定实验。

2 结果与分析

2.1 面粉吸水量的研究

2.1.1 不同面筋含量面粉的吸水量研究

数据采用两组分拟和法,得到两个 T_1 值, T_{11} 范围在4~10ms,这部分水为与面粉大分子相结合紧密的结合水,具有类固体的性质, T_{12} 范围在40~110ms,是相对较为自由的那部分多层水或自由水。图1为不同面筋含量的面团在不同水分含量时表现出的横向弛豫时间常数的变化趋势,在水分含量较低时 T_{11} 和 T_{12} 以及相对应的质子密度都表现出强烈的上升趋势(图1、2、3、4),但是对于高面筋面粉 T_{11} 与 T_{12} 都表现出较缓慢的上升趋势,尤其对于 T_{12} 在初期水分含量小于40%时,其弛豫时间和质子密度几乎保持在零水平的增长。通常认为 T_{11} 这部分水为与面粉大分子相结合紧密的结合水,具有类固体的性质,而 T_{12} 是相对较为自由的那部分多层水或自由水。这种 T_{12} 缓慢变化的现象说明,在初期加入的水分主要用于和面筋蛋白等大分子成分相结合,还远远没有达到面粉吸水量的要求,此时多层水没有增加。而对于面筋含量较低的面粉,它们的 T_{11} 和 T_{12} 以及相对应的质子密度都有明显的上升趋势,这说明面粉初期的吸水已经完成,在下面的阶段中,主要是多层水的形成和充分吸水阶段,从图3中可得知:随着外界水分的增加,NMR的 T_{12} 质子密度也在不断增加,这说明多层水一直在增加。

在一个明显增加趋势后,低、中、高三种不同湿面筋的面团分别依次进入一个面粉吸水率的平缓期。从图1、3可得:在这个阶段 T_{11} 和 T_{12} 几乎都没有随水分含量的增加表现出增加的趋势, T_{11} 和 T_{12} 的增长进入了

一个停滞期,而且对于 T_{11} 这部分水的质子密度也表现为很平缓的上升趋势,说明在这个平缓区内新增加部分的水分并没有继续与大分子相互结合;而新增加部分的水分是以多层水的形式存在,从图4中可以看到即使在平缓区,其 T_{12} 质子密度变化曲线还是继续保持上升趋势。 T_{12} 质子密度的增加表现为活性较强的多层水和自

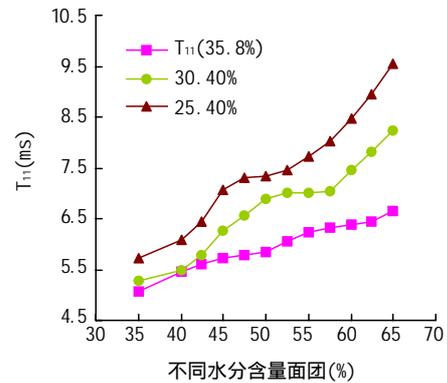


图1 不同面筋含量面粉的吸水量与 T_{11} 之间的关系曲线
Fig. 1 Relationship between T_{11} amplitude and water absorption in flour with different contents of gluten

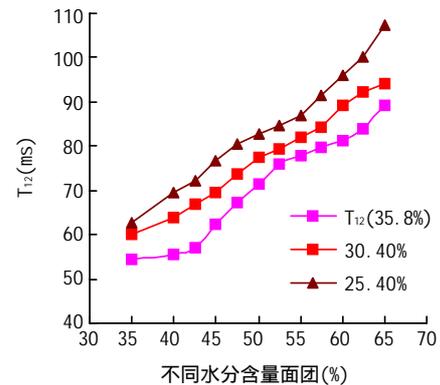


图2 不同面筋含量面粉的吸水量与 T_{12} 之间的关系曲线
Fig. 2 Relationship between T_{12} and water absorption in flour with different contents of gluten

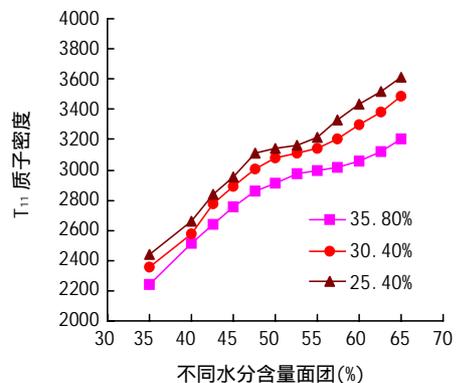


图3 不同面筋含量面粉的吸水量与 T_{11} 质子密度之间的关系曲线
Fig. 3 Relationship between T_{11} amplitude and water absorption in flour with different contents of gluten

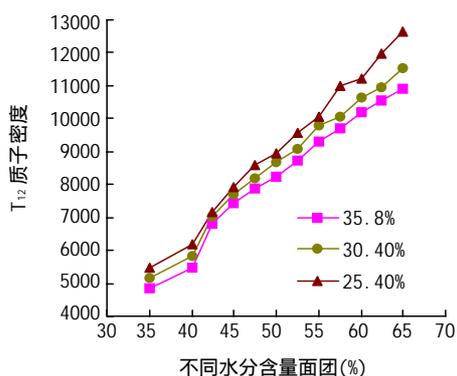


图4 不同面筋含量面粉的吸水量与T₁₂质子密度之间的关系曲线
Fig.4 Relationship between T₁₂ amplitude and water absorption in flour with different contents of gluten

由水含量在面团中增加，通常我们认为面团中适宜的游离水有利于增加面团的流动性，面团较为柔软，但是却不宜过多，否则会破坏面团网络结构的稳定性，最终影响产品的品质^[5]。从图1、2、3、4的T₁与加水量曲线中可以得到很多关于面粉不同吸水量时内部水分的结合信息，因此将在下面定义为面团的NMR吸水曲线。

从图1和2中可知：随着水分含量的继续增加，T₁₁和T₁₂急剧升高，面粉的吸水量从平缓期往后面的过水期发展，且低筋粉比高筋粉要提前进入这种阶段；从图3和4中也可看出，此时质子密度也迅速增大。这种水分活度和密度的迅速增长，导致面团变得松软，结构不稳定，难以成型，面粉吸水已经过度。

为了便于理解，把上述的“平缓期”称为“最佳吸水区”，此时面团的面筋形成进入一个相对稳定期。从图3中可以看到，低面筋(湿面筋25.4%)面粉的最佳吸水区为47.5%~55%，中面筋(湿面筋30.4%)的吸水最佳区域为50%~57.5%，而高面筋(湿面筋35.8%)最佳吸水区域为50%~60%之间。

面粉的化学成分主要为碳水化合物、蛋白质、脂肪、矿物质、水、少量的维生素、酶等。其中，碳水化合物约占面粉重的74%，它包括淀粉(占面粉重的67%)、糊精和少量糖；蛋白质约占面粉重的12%，它主要包括麦胶蛋白、麦谷蛋白、麦球蛋白、麦清蛋白和酸溶蛋白等；水分约占14%^[6]。可见面粉中除了碳水化合物和蛋白质外，水分为主要物质，其它物质含量很少。因此调制面团时水与面粉的作用主要表现在水与蛋白质的作用和水与碳水化合物的作用上^[7]。

同时还通过采用通过瑞典波通仪器公司的吹泡-稠度仪对实验的三种面粉进行吸水率、稳定时间进行测定，实验结果分别为：湿面筋含量25.4%面粉的吸水率为55.8%，稳定时间为4.6min；湿面筋含量30.4%面粉的吸水率为57.7%，稳定时间为7.6min；湿面筋含量35.8%面粉的吸水率为60.2%，稳定时间为：10.6min。

结果与上面NMR吸水实验中，吸水曲线平缓期(面粉最佳吸水区域)的最后阶段分别是：55%、57.5%和60%几乎重合，这也证实了NMR的弛豫时间T₁与面粉吸水率的关联性，面粉的最大吸水率在NMR吸水曲线平衡区的最末期。

2.2 面团搅拌过程的研究

2.2.1 不同面筋强度面团搅拌过程的研究

T₂*在NMR弛豫特征参数中常常代表结合最紧密的性质类似固体的那部分水分，在面团中代表与大分子相互紧密结合的单层水，也是面团搅拌过程中最难充分结合的部分，而其它部分的多层水以及游离水分的搅拌混合相对容易。L. A. Farhat等人^[8]利用自旋-自旋弛豫时间考察面团形成过程分子运动性也有类似的结果。

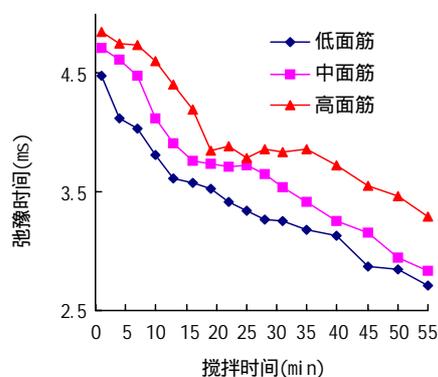
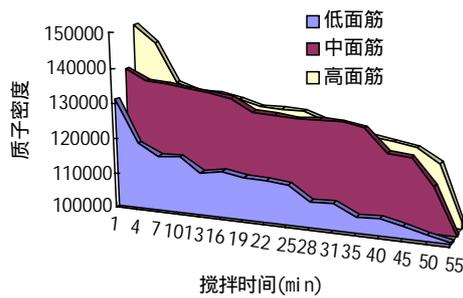


图5 不同面筋含量面团的搅拌期T₂*趋势图
Fig.5 Change in T₂* of dough with different contents of gluten during stirring period

图5显示了不同面筋强度面团在30℃水温条件下，搅拌55min内T₂*变化曲线，通常自由水流动性好，T₂就较大^[9]。水分子的流动性与弛豫时间成正比关系^[10]，在搅拌开始阶段(称“搅拌初始阶段”)，这部分水分显示了较高的自由度，在图中表现为有较长的弛豫时间，此时面团的结合还在淀粉吸水溶胀阶段，并且部分水分子首先与蛋白质外围的亲水性基团作用形成水化合物。水分子附在面团表面，吸水量较少，体积增加不大，占面粉蛋白80%以上的麦胶蛋白和麦谷蛋白这两种面筋蛋白在接触表面形成面筋膜，阻碍水的浸透和其它蛋白的相互作用，因此在开始阶段弛豫曲线并没有表现出大幅度的变化趋势，只有缓慢降低。当水快速加入面粉等原料的混合物中时，面粉粒迅速吸水，随后随着搅拌的进行，这种水化作用先在表面进行，而后逐渐向内部展开，面筋膜被部分破坏，使水化作用得以不断进行。这时水分子的流动性普遍减小，面团的平均信号幅度也明显下降(如图6所示)，这是在搅拌过程中溶胀的淀粉分子吸水破坏后更容易通过氢键开始形成淀粉—水—淀粉(其它大分子面筋蛋白等)体系，这部分结合

图6 不同面筋含量面团的搅拌期 T_2^* 质子密度趋势图Fig.6 Change of T_2^* amplitude of dough with different contents of gluten during stirring period

最紧密的水自由度也随之逐渐下降,并开始形成比较粗糙、空洞较大的面筋网络。

随着搅拌时间的不断延长,面团进入第二个阶段—面筋的形成阶段。由于被蛋白质胶体包含的低分子可溶性成分(可溶性糖、维生素、矿物质等)所形成的内部渗透压较大,此时大量的水分子进入胶体内部,增大了蛋白质吸水量,形成面筋网络,构成面团骨架,将淀粉粒包围在其中,基本形成了具有延伸性和弹性的面团,面筋的形成过程导致水分的自由度有急剧下降趋势(如图5所示),此时水分扩散趋于均匀分布阶段。但是由于更大网络较链结构的形成导致 T_2^* 呈现大幅度的下降,随后面筋网络和淀粉颗粒已经结合,蛋白质部分开始变得有弹性。随后进入搅拌的平缓稳定阶段,面筋网络结构基本形成,这是面筋网络扩展阶段,也是面团形成的重要阶段。把“面筋网络扩展期”为面团的“最佳的搅拌期”。从图5中可以看到,不同面筋含量的面团进入平稳阶段有很大不同,面筋含量越高的面团,其搅拌稳定期进入的也更晚,并且表现出较长的平稳阶段,这可以与面筋网络稳定性相联系。高筋粉形成的面筋网络比低筋粉的更加稳定。这也是为何选用高筋粉作为做面包原料的原因。从图5中可以得到这样的稳定时间区域对于低(24.6%)、中(30.4%)、高(35.6%)分别是12.5~17.5min、15~25min和20~35min。

当继续延长搅拌时间,越过面筋网络充分形成的平稳期, T_2^* 表现出继续下降的趋势,这时面筋网络遭到破坏,面筋网络中的水不断析出。当面筋网络被搅拌器机械外力破坏,大分子结构也遭到破坏,与分子结合最紧密的水分子也开始游离出来,因此这部分水急剧下降(图6)。而 T_2^* 下降的原因也是由于这部分水大量向自由度更大的水分迁移,而面团中的大分子却并没有减少。实验结果表明, T_2^* 在搅拌过程中的变化很好的反映了面团在搅拌过程中水分与面粉中各种成分的结合方式和结合度,下面将其 T_2^* 与搅拌时间的曲线称为“NMR 搅拌时间曲线”。

2.2.2 环境温度对搅拌时间的影响

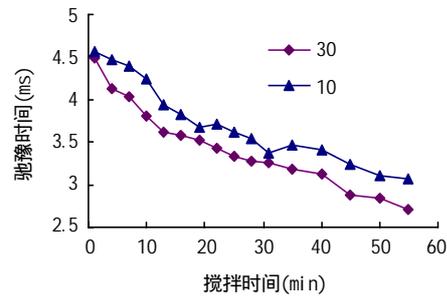


图7 不同水温对搅拌时间的影响

Fig.7 Effect of water temperature on stirring time

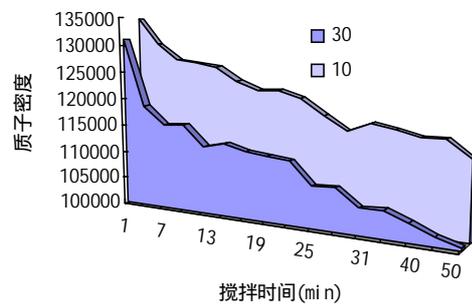


图8 不同水温的搅拌对质子密度的影响

Fig.8 Effect of temperature on T_2^* amplitude during stirring

面团制作过程中周围环境温度对面团的形成和质量有很大影响。图7、8显示了不同水温条件下对面团搅拌时间曲线的影响。从图7中可以明显地反映出:在10℃低温条件下搅拌,其搅拌的最佳期比30℃时要明显滞后,并且表现出较为平缓的 T_2^* 曲线。从图8中可以看出:10℃低温条件下搅拌时的信号幅度明显要高于30℃时搅拌下的面团的信号幅度(质子密度),且在30℃时搅拌下的面团的信号幅度随搅拌时间的延长呈明显的下降趋势,这说明在高温条件下搅拌时出现严重的水分损失。和面时要注意周围的气温,和面时要注意周围的气温,采用合适的温度和面。特别是在夏季时建议采用冰水和面,稳定面团质量。

3 结论

调制面团时水与面粉的作用主要表现在水和蛋白质及碳水化合物中的作用上。面团的形成过程实际就是水分分布和面筋形成过程。研究面团的调制过程最重要的是研究面团中水分的迁移、分布并与其它高分子结合的状况。利用NMR技术能从水分子流动性和结合能力的角度研究面粉的吸水量和面团的形成时间。实验结果得到面粉的吸水曲线和面团的形成曲线,根据所得到的面团的NMR吸水曲线和NMR搅拌时间曲线可以获得不同面筋含量面粉的最佳吸水量和稳定时间:湿面筋含量25.4%面

皂土处理对葡萄酒发酵及质量的影响

屈慧鸽¹, 张会宁², 缪静¹, 刘进杰¹, 张玉香¹
 (1. 鲁东大学生命科学学院, 山东 烟台 264025;
 2. 法国采购服务有限公司酒类事业部, 上海 200040)

摘要: 以霞多丽和玫瑰香为原料, 通过优化和添加两种皂土处理方式, 研究皂土对酒精发酵和葡萄酒质量的影响。结果表明: 添加处理可增加葡萄汁中不溶性固形物含量, 对最大发酵速率和总发酵时间及葡萄酒组分无明显影响; 优化处理可提高葡萄汁的澄清度, 降低发酵速率, 延长总发酵时间, 使葡萄酒的残糖含量较高。无论是添加处理还是优化处理均对葡萄汁的氨基氮含量无明显影响, 因此在优化葡萄汁中添加氮素营养不能扭转发酵缓慢现象。
关键词: 皂土; 添加; 优化; 酒精发酵

Effect of Bentonite Treatment of Grape Juice on Fermentation and Wine Quality

QU Hui-ge¹, ZHANG Hui-ni ng², MIAO Jing¹, LIU Jin-jie¹, ZHANG Yu-xiang¹
 (1. College of Life Science, Eastern Shandong University, Yantai 264025, China;
 2. Oenology Department, Fargo Group, Shanghai 200040, China)

Abstract: Effect of bentonite on fermentation and wine quality were evaluated in two varieties such as chardoney and muscat by simple bentonite addition and bentonite fining pre-inoculation. The results showed: Simple bentonite addition can increase the insoluble solid content of must, but it had no effect on the maximum fermentation rate and the overall fermentation time. Bentonite fining clarified the juice, but inhibited yeast fermentation and prolonged the overall fermentation time, increased the remnant sugar of the wine. Either simple bentonite addition or bentonite fining had no effect on the assimilative nitrogen content of must, so nitrogen nutrient supplementation did not restore fermentation rate to the untreated control.

收稿日期: 2006-08-10

作者简介: 屈慧鸽(1968-), 女, 副教授, 硕士, 主要从事发酵工程的教学与科研。

粉的吸水量为 55.0%, 稳定时间为 5min; 湿面筋含量 30.4%
 面粉的吸水量为 57.5%, 稳定时间为 10min; 湿面筋含量 35.8%
 面粉的吸水量为 60%, 稳定时间为: 15min。
 实验结果还表明: 在 10 的最佳搅拌时间比 30 时要明显延长, 在 30 温度下搅拌时出现严重的水分损失。和面时要注意周围的气温, 采用合适的温度和面。

参考文献:

- [1] H Zheng, M P Morgenstern, O H Campanella, et al. Rheological properties of dough during mechanical dough development[J]. Journal of Cereal Science, 2000, (32): 293-306.
- [2] Troutman M Y, Mastikhin I V, Balcom B J, et al. Moisture migration in soft-panned confections during engrossing and aging as observed by MRI [J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48(3): 257-267.
- [3] B Chal and, F Mari ette, P Marchal, et al. ¹H nuclear magnetic resonance relaxometric characterization of fat and water states in soft and hard cheese [J]. Journal of Dairy Research, 2000, 67(4): 609-618.
- [4] M Kuo, S Gunasekaran. Nuclear magnetic resonance study of water mobility in pasta filata and non-pasta filata mozzarella [J]. Journal of Dairy Sci, 2001, 84(9): 1950-1958.
- [5] 张守文. 面包科学与加工工艺[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996. 29-36.
- [6] B Chal and, F Mari ette, P Marchal, et al. ¹H nuclear magnetic resonance relaxometric characterization of fat and water states in soft and hard cheese [J]. Journal of Dairy Research, 2000, 67(4): 609-618.
- [7] 林向阳, 何承云, 陈卫江, 等. 核磁共振研究蔗糖对面团中分子流动性的影响[J]. 中国食品学报, 2006, 6(1): 31-34
- [8] L A Farhat, J R Mitchell, J M V Blanshard, et al. A pulsed ¹H NMR study of the hydration properties of extruded maize-sucrose mixtures[J]. Carbohydrate Polymers, 1996, 30: 219-227.
- [9] R Roger Ruan, Xiaowan wang, Paul L Chen. NMR study of water in dough [J]. Paper-American Society of Agricultural Engineers, 1997, (3): 60-62.
- [10] R Roger Ruan, Xiaowan wang, Paul L Chen, et al. Study of water in dough using nuclear magnetic resonance. Trends in dough using nuclear magnetic resonance[J]. Trends in Food and Technology, 1999, 10(10): 213-320.