



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20150132

添加细菌纤维素无明矾马铃薯淀粉粉条的实验研究

郝建东¹, 张力², 贺雅欣², 刘照洋²

(1. 天津科技大学化工与材料学院, 天津 300457; 2. 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: 用细菌纤维素替代明矾为食品添加剂, 可制得品质较好的马铃薯淀粉粉条. 通过品质测定确定当细菌纤维素的添加量为 0.20% 时粉条品质最佳, 糊汤度为 0.113 优于市售马铃薯淀粉粉条的 0.335, 断条率与市售粉条相同均为 0, 咀嚼度为 2.092 g 与市售粉条的咀嚼度 2.437 g 接近.

关键词: 细菌纤维素; 粉条; 马铃薯淀粉; 食品添加剂

中图分类号: TS236.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2016)06-0034-05

Alum-free Potato Starch Noodles with Bacterial Cellulose as Food Additive

HAO Jiandong¹, ZHANG Li², HE Yaxin², LIU Zhaoyang²

(1. College of Chemical Engineering and Materials Science, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Bacterial cellulose was used as a food additive to substitute for alum in traditional potato starch noodles, and better quality noodles can be made. When the bacterial cellulose was 0.20%, the best noodles with the following properties were made: the absorbance value is 0.113, better than the 0.335 of the market potato starch noodles; the break rate is 0, the same as that of the market potato starch noodles; and the chewiness is 2.095, very close to that of the market noodles, 2.437.

Key words: bacterial cellulose; noodles; potato starch; food additive

粉条在中国和韩国销量很大, 以绿豆、蚕豆、豌豆等豆类淀粉制作的粉条质量为佳, 但价格较高. 薯类、玉米产量大, 淀粉价格低, 但其不溶性直链淀粉含量少, 制作的粉条易断条糊汤, 色泽差. 添加明矾($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)的传统工艺可显著改善粉条的品质^[1]. 马铃薯在我国年产量非常高, 主要作为蔬菜和淀粉原料, 价格低廉且无异味, 是生产传统粉条的主要原料^[2]. 但是, 长期摄食含铝的食物会影响肠道中矿物质元素的吸收, 导致骨质疏松症, 同时也会影响神经系统传导, 致使脑神经细胞发育不良而智力低下. 世界卫生组织已于 1989 年正式把铝确定为食品污染物并要求加以控制. 我国 GB 2762—2012^[3]规定食品中铝含量不可超过 100 mg/kg(干样品), 折算成明矾的用量不可超过 0.1%(干样品).

细菌纤维素(bacterial cellulose, BC)是由细菌产

生的可被生物降解的天然纳米结构高分子材料, 并具有优于其他天然纤维素的许多特性, 近年来成为国内外生物材料研究的热点之一^[4-5], 在食品工业中可以作为增稠剂、胶体填充剂和食品原料. BC 作为天然纤维素同样具有膳食纤维的减肥特性^[6]. 目前, 已有将 BC 用于发酵香肠、酸奶及冰激凌的生产研究报告^[7], 本文研究了 BC 替代明矾制作马铃薯淀粉粉条的配方和工艺.

1 材料与方法

1.1 原料

马铃薯淀粉(生粉)品质符合 GB/T 8884—2007^[8], 由无锡市天之源食品有限公司生产, 规格为 200 g × 12 袋. 东北乡村土豆粉条由齐齐哈尔弘旭

收稿日期: 2015-09-24; 修回日期: 2016-05-03

基金项目: 国家级大学生创新创业资助项目(201410057122)

作者简介: 郝建东(1963—), 男(满), 天津人, 副教授, haojd@tust.edu.cn.

淀粉有限公司生产. BC 为本实验室自行培养, 实验菌种为木葡糖醋酸杆菌 (*Acetobacter xylinum*) CGMCC1.1812, 由工业发酵微生物教育部重点实验室保藏.

1.2 仪器

电子天平, 上海精密仪器公司; 电热鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司; T100 型标准疏解机, 美国 AMC 公司; LM-20 型压面器, 永康市千团贸易有限公司; YLER 型电炉, 永康市顺翔电器厂; WFJ72 型可见分光光度仪, 上海光谱仪器有限公司; TA. XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司.

1.3 粉条制作方法

1.3.1 BC 前处理

BC 溶液的制备: 取本实验室制备的 BC 膜经碱洗、水洗去碱, 加适量水疏解, 均质得 BC 溶液.

BC 含水率的测定: 取 5 个称量瓶用水洗干净, 置于电热鼓风干燥箱中干燥后移入干燥器内冷却, 标记序号. 用分析天平依次测每个瓶子的质量 (含瓶盖), 记为 m_0 ; 向每个称量瓶中依次加入 5 mL BC 溶液, 测其质量, 记为 m_1 ; 将 5 个称量瓶置于电热鼓风干燥箱内干燥, 烘烤完毕移入干燥器内冷却至室温后用分析天平逐一测其质量, 记为 m_2 , 按式 (1) 计算含水率.

$$\text{含水率} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100\% \quad (1)$$

电热鼓风干燥箱测定含水率设定条件一: 105 °C 干燥 0.5 h. 设定条件二: 60 °C 干燥 2 h. 每一条件测 5 组含水率取算数平均值, 可知两条件下的含水率误差小于 2%, 其平均含水率的均值为 98.99%.

1.3.2 制芡

制芡是制作粉条的主要工序. 将少量马铃薯淀粉、BC 溶液与适量的水混合, 在水浴条件下缓慢加热至马铃薯淀粉溶液糊化. 期间朝着同一方向不断搅拌, 直至马铃薯淀粉溶液呈糊状, 颜色发青, 即为熟芡.

1.3.3 和面

将制好的熟芡与适当的马铃薯淀粉混合, 不断揉搓, 至面团表面光滑不粘手即可.

1.3.4 挤压成型

将和好的面团放入压面机内, 事先将水烧至沸腾状态, 将粉条挤入水中煮沸 2 min, 锅中的粉条要轻轻搅拌, 防止因为没有搅拌发生粘连和搅拌过猛发生断条的情况.

1.3.5 冷却、老化

将煮熟的粉条捞入 4 °C 的凉水中冷却 3 min, 然后捞出粉条晾在架子上, 0 ~ 25 °C 条件下老化 24 h 得到干粉条; 也可从凉水中捞出直接冷藏冻干.

1.4 制芡用水量的确定

在添加 BC 无明矾马铃薯淀粉粉条的研制过程中, 通过前期多次的预实验发现: 当以 10 g 制芡马铃薯淀粉为基准时, 制芡用水 (含 BC 溶液中的水分) 少于 100 g 时制得的熟芡较黏稠, 和成的面团质地干硬, 无法从挤压器中挤出较好的粉条; 反之, 制芡用水 (含 BC 溶液中的水分) 大于 140 g 时制得的熟芡较稀, 达不到要求的黏度, 挤出的粉条都断成 2 ~ 3 cm 的小段. 于是将制芡用水 (含 BC 溶液中的水分) 控制在 120 g, 制成熟芡; 用其与 140 ~ 160 g 马铃薯淀粉混合和面, 得到了质地和挤压效果较好的面团.

1.5 BC 用量范围的确定

BC 以其溶液的方式添加, 但在实验中添加量均按其含水率折算成其中纯 BC 质量计. 通过实验发现当 BC 的添加量小于 0.14% 时, 挤压出的粉条易发生断条, 入水即断裂成多根, 无法制得符合要求的粉条; 同时, 当 BC 的添加量大于 0.32% 时, 挤压出的粉条在水中易粘连成块, 并条效果尤其明显. 最终确定 BC 的添加量在 0.14% ~ 0.32%, 并在此区间内取不同点研究 BC 对粉条品质的影响.

1.6 粉条性能的测试

1.6.1 断条率的测定

取 20 根没有机械损伤的长度为 20 cm 的粉条, 在 1 L 水中微沸煮 30 min 后过滤除水, 数其中完整的粉条数, 重复 3 次取平均值. 断条率按式 (2) 计算^[7].

$$\text{断条率} = \frac{\text{断条数}}{\text{加入粉条数}} \times 100\% \quad (2)$$

1.6.2 糊汤度的测定

取 10 g 干粉条于 200 mL 沸水中, 加热沸腾 20 min, 期间不断加沸水使之保持 200 mL. 取汤汁定容至 200 mL, 在可见分光光度仪 650 nm 处用 1 cm 比色皿测定其溶液的吸光度, 每组样品重复 3 次, 取平均值^[9].

1.6.3 质构参数的测定

硬度: 表示产品发生一定程度形变时产生的最大应力, 数值为一次压缩过程中的压力峰值, 单位为 g.

黏聚性: 指样品内部黏结程度和抵抗外界破坏的能力, 为第 2 次穿冲的做功面积除以第 1 次穿冲的做功面积.

弹性: 表示物体在外力作用下发生形变, 当撤去

外力后恢复原来状态的能力,数值上为除去外力后长度与原长度的比值。

咀嚼度:数值上为硬度、弹性和黏聚性三者的乘积,单位为 g。

拉伸距离:表示粉条在外力作用下能够被拉伸的最大距离,数值为粉条被拉伸到的最大长度减去粉条的原长度。

选取粗细均匀、无弯曲、无损伤的干粉条若干,在沸水中煮沸 10 min 后捞出进行硬度、黏聚性、弹性、咀嚼度和拉伸距离的测定。

测定硬度、黏聚性、弹性和咀嚼度时,吸去粉条表面水分,在每根粉条上 3 个不同位置截取长度 0.5 ~ 1.0 cm,用游标卡尺量取其直径,并计算平均值,然后用质构仪按照以下条件进行测定。每次测量 1 根,每组测 3 根,取平均值^[9]。测试条件:探头 P36-R,触发力 5 g,测试前速度 2 mm/s,测试速度 1 mm/s,测试后速度 1 mm/s。

测定拉伸距离时,吸去粉条表面水分,在每根粉条上截取长度 5.5 cm,用质构仪进行测定,每次测试 1 根,每组测 3 根,计算平均值^[8]。测试条件:探头 AKIE,触发力 5 g,测试前速度 2 mm/s,测试速度 3.3 mm/s,测试后速度 10 mm/s,距离 75 mm。

2 结果与分析

2.1 BC用量对断条率的影响

根据 BC 用量的多少,分析其对粉条断条率的影响,结果见表 1。随着 BC 用量的增加断条率明显下降;在 150 g 和面淀粉和 10 g 制芡淀粉中,BC 用量达到 0.17% 以上时,断条率减小到零。其原因可能是,BC 具有超精细网状结构,当加入足够量的 BC 会吸附淀粉胶粒,使其形成稳定的空间结构,增强淀粉颗粒之间的相互作用,进而实现粉条断条率的下降。

表 1 BC 用量对粉条断条率的影响

Tab. 1 Effect of amount of BC on the broken bar rates of noodles

BC/%	0.14	0.17	0.20	0.25	0.32
断条率/%	80	0	0	0	0

2.2 BC用量对糊汤度的影响

通过测定已制备好的添加 BC 的干粉条,加入水中煮沸后汤的吸光度,从而判断其糊汤程度,结果如图 1 所示。在 150 g 和面淀粉和 10 g 制芡淀粉中,当 BC 用量为 0.17% 时,此时汤的吸光度最大,即糊汤

度最高;当 BC 用量为 0.20% 时,此时汤的吸光度最小,即糊汤度最低。随 BC 量的增加出现糊汤先增大后减小的现象,可能是由于 BC 分子带有较多的—OH,持水能力较强^[10],自身分子间结合能力也较强,与马铃薯淀粉分子间结合能力也较强;在添加量较小的情况下,其分子间距离较远,持水能力的表现突出,使粉条的结合水含量较高,在干燥后水分蒸发形成分子空位,煮粉条时 BC 分子复水困难^[10],难以在自身分子间和淀粉分子间形成有效的网状结构,使淀粉分子较易溶于水中,导致糊汤度提高;当 BC 添加量逐渐加大后,其自身分子间与淀粉分子间的结合能力凸显,形成网状结构使淀粉分子较难溶入水中,导致糊汤度下降。

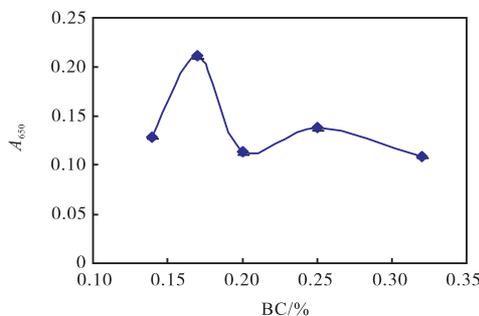


图 1 BC 用量对粉条糊汤度的影响

Fig. 1 Effect of amount of BC on the paste soup level of noodles

2.3 质构参数的结果与分析

2.3.1 BC 用量对硬度的影响

采用质构仪对不同 BC 用量粉条的硬度进行测定,结果如图 2 所示。

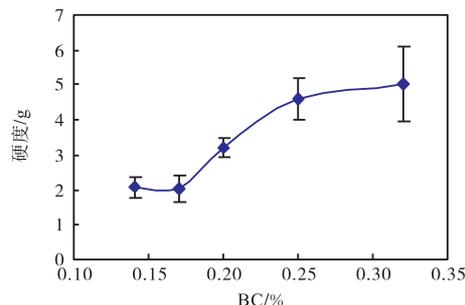


图 2 BC 用量对粉条硬度的影响

Fig. 2 Effect of amount of BC on the hardness of noodles

在 150 g 和面淀粉和 10 g 制芡淀粉中,随着 BC 用量的增加,粉条硬度也不断增加;其中当 BC 用量在 0.17% ~ 0.25% 时,随着 BC 用量的增加,粉条硬度有更快的增加趋势。其可能原因是 BC 具有高化学纯度和高结晶度^[10],且其含量越多淀粉分子间结合的

越牢固,使粉条的硬度随 BC 用量增加而增加.当 BC 量增大到一定量后,由于其持水量较大,BC 的加入使粉条结构中的结合水增多,干燥时汽化了一部分结合水,在第二次水煮时由于 BC 的复水能力较差,汽化的这部分结合水不能重新加入网状结构形成空位,削弱了其增强淀粉分子结合力的作用,使硬度的增加趋缓.

2.3.2 BC 用量对黏聚性的影响

BC 用量对粉条黏聚性的影响结果如图 3 所示.在 150 g 和面淀粉和 10 g 制芡淀粉中,随着 BC 用量的增加,粉条的黏聚性先增加后下降,当 BC 用量为 0.17% 时,粉条的黏聚性最大.其原因可能是由于 BC 与马铃薯淀粉分子的结合力,自身分子间的结合力都较强并且与水分子结合能力也较强,当加入量较少时引入的结合水较少,干燥后留下的分子空位也较少,形成的网状结构较紧密,BC 加强分子间作用力的作用明显,当 BC 加入量较多时,引入的结合水较多,干燥后留下的分子空位也较多,削弱了网状结构,粉条第二次水煮后由于 BC 复水性较差,空位不能被填补,从而出现黏聚性先增加后减小的现象.

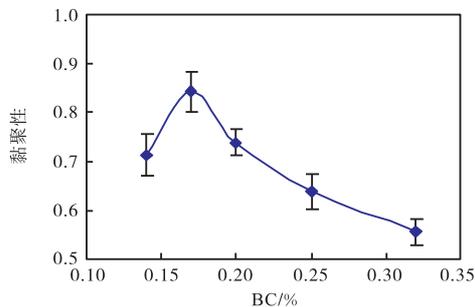


图 3 BC 用量对粉条黏聚性的影响

Fig. 3 Effect of amount of BC on the cohesiveness of noodles

2.3.3 BC 用量对弹性的影响

BC 用量对粉条弹性的影响结果如图 4 所示.在 150 g 和面淀粉和 10 g 制芡淀粉中,当 BC 用量在 0.17%~0.20% 时,粉条弹性变化较明显且随 BC 用量增加而减小.在前期实验中曾发现,BC 湿膜经挤压后变形,当外力移除后形变不能恢复,这可能是导致粉条弹性随 BC 加入量减小的原因.

2.3.4 BC 用量对咀嚼度的影响

BC 用量对咀嚼度的影响结果如图 5 所示.在 150 g 和面淀粉和 10 g 制芡淀粉中,随着 BC 用量的增加,粉条咀嚼度先增加后下降,但下降不明显.其原因可能是 BC 具有很强的持水能力且能够相互交织形成发达的超精细网络结构,随着 BC 含量的增加,粉条的结合水量增加且具有更好的空间结构,粉

条的咀嚼度得到明显改善;当 BC 用量超过一定限度时,由于其持水性较强,粉条含结合水量不断增加,干燥后留下的空位增多,第二次水煮后不能填补的空位也较多,使得粉条的咀嚼度小幅度下降.

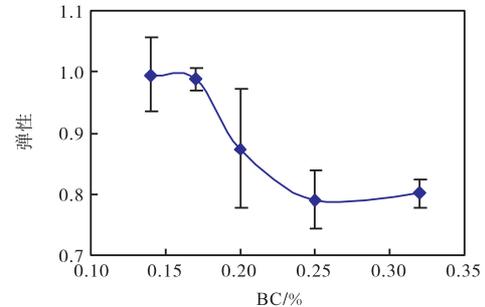


图 4 BC 用量对粉条弹性的影响

Fig. 4 Effect of amount of BC on the elasticity of noodles

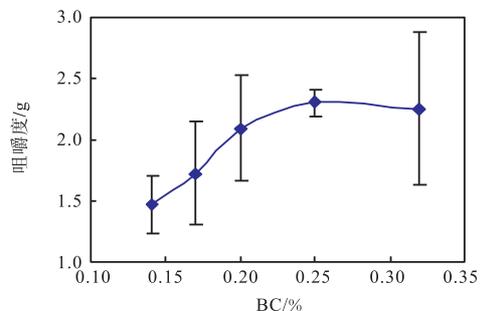


图 5 BC 用量对粉条咀嚼度的影响

Fig. 5 Effect of amount of BC on the chewiness of noodles

2.3.5 BC 用量对拉伸距离的影响

BC 用量对粉条拉伸距离的影响如图 6 所示.

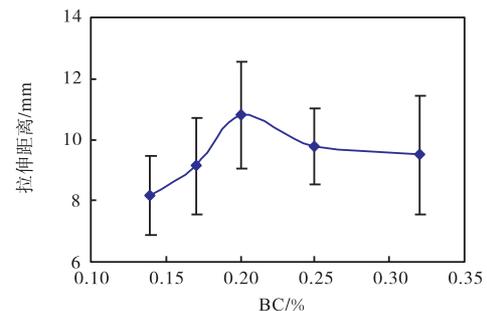


图 6 BC 用量对粉条拉伸距离的影响

Fig. 6 Effect of amount of BC on the stretching distance of noodles

在 150 g 和面淀粉和 10 g 制芡淀粉中,当 BC 用量为 0.20% 时,粉条的拉伸距离最大.其可能原因是 BC 具有较强刚性,弹性模量大,纤维模数为一般纤维的数倍至 10 倍以上,并且抗拉强度高且具有很强的持水能力.随着 BC 用量的增加使得粉条的拉伸强度不断增强;当超过一定限度时粉条含结合水率上升,水分一定程度阻碍了 BC 间形成紧密的网络结

构,使得粉条拉伸强度下降^[10]。

2.4 BC最佳添加量的确定

将添加 BC 马铃薯淀粉粉条的 5 个添加量的 5 组性能综合对比,确定了其中的最佳添加量。由表 2 可以看出:第 3 组的 BC 添加量适中,断条率为零,说明粉条煮后不易断,品相较好;吸光度最低,说明粉条煮后粉条中淀粉流失最少;硬度、弹性、黏聚性、咀嚼度均适中,表明粉条的口感相比于其他方案较好;拉伸距离为 5 组中最大。

表 2 不同配方粉条的性能对比

Tab.2 Performance comparison of noodles made with different formulations

配方编号	1	2	3	4	5
BC/%	0.14	0.17	0.20	0.25	0.32
断条率/%	80	0	0	0	0
糊汤度	0.129	0.212	0.113	0.138	0.109
硬度/g	2.068	2.352	3.209	4.588	5.023
黏聚性	0.714	0.843	0.739	0.639	0.555
弹性	0.995	0.988	0.875	0.791	0.801
咀嚼度/g	1.47	1.722	2.092	2.304	2.257
拉伸距离/mm	8.178	9.135	10.791	9.757	9.493

2.5 市售传统马铃薯淀粉粉条与添加 BC 粉条的物性对比

选择市场上品质优良的东北乡村马铃薯淀粉粉条(由齐齐哈尔弘旭淀粉有限公司生产),在相同的实验条件下对其进行物性测试,结果见表 3。

表 3 市售传统马铃薯淀粉粉条与 BC 粉条的物性数据对比

Tab.3 Physical property comparison of traditional potato starch noodles and BC noodles

物性	市售粉条	BC 粉条
断条率/%	0	0
糊汤度	0.335	0.113
硬度/g	1.092	3.209
黏聚性	0.871	0.739
弹性	2.421	0.875
咀嚼度/g	2.437	2.092
拉伸距离/mm	18.930	10.791

粉条的断条率和糊汤度为消费者在煮粉条时用视觉即可直接判断的指标,咀嚼度为食物口感的综合指标也可直接感知;而硬度、黏聚性、弹性、拉伸距离消费者较难准确判断,需通过专用设备测定。因此,在粉条诸多物性数据中最重要的指标为断条率、糊汤度和咀嚼度。由对比结果可以看出:在断条率方面添加 BC 马铃薯淀粉粉条和市售粉条保持一样的水平;但在糊汤度方面添加 BC 马铃薯淀粉粉条糊汤度小

于市售粉条的糊汤度,这说明在水煮条件下添加 BC 马铃薯淀粉粉条淀粉溶于水中的质量小于市售粉条,咀嚼度和黏聚性与市售粉条接近,这说明添加 BC 的马铃薯淀粉粉条的品质在重要指标上都接近或超过了市售马铃薯淀粉粉条。虽然硬度、弹性和拉伸强度与市售粉条各数据有一定差异,但不同消费者对粉条口感的要求各不相同。所以,可以说添加 BC 的马铃薯淀粉粉条已经达到了市售粉条的一般要求,并且在有些方面优于市售粉条。

3 结 语

将 BC 作为食品添加剂取代明矾应用于制作马铃薯淀粉粉条,与市售传统马铃薯粉条相比,添加 BC 粉条最重要的性质达到或超过了市售粉条的性质,表明了 BC 用于粉条的生产是可行的。

参考文献:

- [1] Li X T, Su D P, Shen Q. Improvement of the quality of sweet potato vermicelli by adding phosphate[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(6): 200-204.
- [2] 孔凡真. 马铃薯淀粉及变性淀粉的开发[J]. 西部粮油科技, 2000(1): 39-41.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GB 2762—2012 食品安全国家标准·食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [4] 王银存, 李利军, 马英辉, 等. 细菌纤维素生产及应用研究进展[J]. 中国酿造, 2011(4): 20-23.
- [5] Ross P, Mayer R, Benziman M. Cellulose biosynthesis and function in bacterial[J]. Microbiological Review, 1991, 55(1): 35-58.
- [6] Kendall C W C, Esfahani A, Jenkins D J A. The link between dietary fibre and human health[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(1): 42-48.
- [7] 张基亮, 何欣, 李元敬, 等. 细菌纤维素减肥功能测定及其酸奶的制作[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 61-66.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 8884—2007 马铃薯淀粉[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [9] 陈明珠. 钙盐和铁盐对马铃薯粉条品质影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [10] 谭勇, 刘四新, 李从发. 细菌纤维素在医学方面的应用[J]. 现代生物医学进展, 2008, 8(12): 2344-2346.

责任编辑: 郎婧