

抗性糊精调节两种肠道益生菌体外增殖

卫娜¹, 黄政², 靳福娅¹, 马梦垚¹, 李雄亮¹, 侯轶³, 胡松青^{2*}

(1. 广东广业清怡食品科技股份有限公司, 广东广州 510000) (2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640) (3. 华南理工大学轻工科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 肠道菌群是人体健康的关键影响因子, 膳食纤维在调节肠道菌群平衡方面有着重要作用。该研究从清怡牌抗性糊精体外消化实验出发, 探究抗性糊精对保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌体外生长的影响, 对比研究了抗性糊精与其它膳食纤维对两种益生菌体外增殖的差异。结果表明, 在模拟胃液和肠液中清怡牌抗性糊精最大水解度分别为 1.32% 和 3.67%, 表明抗性糊精具有良好的耐胃肠道消化特性。抗性糊精虽然无法作为单一营养碳源生长促进两种益生菌增殖, 但在保证营养源条件下, 添加一定量抗性糊精能够促进菌种体外生长, 在保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌的基础培养基中较优的抗性糊精添加量分别为 0.6% 和 0.4% (*m/m*)。与添加聚葡萄糖、菊粉、低聚果糖等膳食纤维相比, 抗性糊精能使两种益生菌增殖程度更大, 稳定期菌液 OD₆₀₀ 值达到 2.0, 表明对抗性糊精的利用率较高。研究结果为水溶性抗性糊精有效调节肠道菌群健康提供了理论支撑。

关键词: 抗性糊精; 保加利亚乳杆菌; 干酪乳杆菌; 体外增殖

文章编号: 1673-9078(2025)06-52-58

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.6.0548

Resistant Dextrin Regulates the Proliferation of Two Intestinal Probiotics *in Vitro*

WEI Na¹, HUANG Zheng², JIN Fuya¹, MA Mengyao¹, LI Xiongliang¹, HOU Yi³, HU Songqing^{2*}

(1. Guangdong Guangye L&P Food Ingredient Co. Ltd., Guangzhou 510000, China)

(2. School of Food Sciences and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(3. School of Light Industry and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Intestinal flora is a key factor influencing human health, and dietary fibers play an important role in regulating the balance of intestinal flora. In this study, based on the *in vitro* digestion experiment of Qingyi brand resistant dextrin, the effects of resistant dextrin on the *in vitro* growth of *Lactobacillus bulgaricus* and *Lactobacillus casei* were investigated, and the differences between resistant dextrin and other dietary fibers in the *in vitro* proliferation of the two kinds of probiotics were compared and studied. The results showed that the maximum degrees of hydrolysis of Qingyi brand resistant dextrin in simulated gastric and intestinal fluids were 1.32% and 3.67%, respectively, indicating that the product possessed good gastrointestinal digestion-resistant properties. Although the resistant dextrin could not be used as a sole nutrient carbon source to promote the proliferation of two probiotics, but under the condition of ensuring nutrient source, the addition of a certain amount of resistant dextrin to basal nutrient medium could promote the *in vitro* growth of the strains, and the better amounts for addition to the basal media were 0.6% and 0.4% (*m/m*) for *Lactobacillus bulgaricus* and

引文格式:

卫娜,黄政,靳福娅,等.抗性糊精调节两种肠道益生菌体外增殖[J].现代食品科技,2025,41(6):52-58.

WEI Na, HUANG Zheng, JIN Fuya, et al. Resistant dextrin regulates the proliferation of two intestinal probiotics *in vitro* [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(6): 52-58.

收稿日期: 2024-04-24

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2022B0202020002)

作者简介: 卫娜 (1980-), 女, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 食品生物技术研究, E-mail: nana08452000@163.com

通讯作者: 胡松青 (1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术与生物加工研究, E-mail: fesqhu@scut.edu.cn

Lactobacillus casei, respectively. Moreover, compared with the addition of other dietary fibers, such as polydextrose, inulin and fructooligofructose, resistant dextrin enabled a greater extent of proliferation of two probiotics, with the OD₆₀₀ values at the stable phase reaching 2.0, indicating that the utilization rate of resistant dextrin was greater. The results of this study provide a theoretical support for the effective regulation of intestinal flora by water-soluble resistant dextrin.

Key words: resistant dextrin; *Lactobacillus bulgaricus*; *Lactobacillus casei*; proliferation *in vitro*

近年来,肠道微生物与人类健康相关性研究越来越多。研究表明,肠道菌群对于宿主的代谢稳定产生重要影响,适量摄入膳食纤维有助于调节人体肠道菌群平衡,继而影响人体新陈代谢。膳食纤维至少从以下三方面促进人体健康,首先,膳食纤维促进了嗜酸乳杆菌、双歧杆菌等肠道益生菌的生长繁殖,有效抑制了有害菌群的生长;其次,在肠道菌种的作用下,膳食纤维在大肠中选择性发酵能降低肠道 pH 值,增加粪便体积,改善粪便湿度;而且,膳食纤维发酵会产生大量短链脂肪酸,减少肠道中长链脂肪酸含量,有利于降低人体胆固醇水平,增加对矿物质的吸收^[1]。由此可见,益生菌是膳食纤维健康促进作用的桥梁。我国可用于食品的益生菌包括保加利亚乳杆菌、长双歧杆菌、干酪乳杆菌等 35 个种或亚种^[2],本文选择保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌研究抗性糊精对益生菌体外生长的影响。

抗性糊精是一种由淀粉加工而成的水溶性膳食纤维^[3],其不仅能耐酸、耐热,而且能抵抗人体胃肠道消化,在调节人体肠道菌群、减重、降低血脂和血糖等方面有良好的功效,广泛应用于饮料、肉类、烘焙、功能食品等领域中^[4]。法国罗盖特公司的抗性糊精产品 NUTRIOSE[®] 被证明能有效促进耐酸菌如拟杆菌和乳酸杆菌的增殖,减少产生潜在有害的革兰氏阴性菌——产气荚膜梭菌^[5]。国内现有抗性糊精生产方法仍以国外技术为主,通过酸热糊精化反应、糖苷水解酶和分离纯化等工艺流程制备了抗性糊精产品。

本文对抗性糊精进行了模拟胃液和模拟肠液消化实验,考察了抗性糊精产品对保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌的体外生长影响,并且对比分析了两种益生菌在添加有抗性糊精、聚葡萄糖、低聚果糖、菊粉等膳食纤维的改良培养基中的增殖状况。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

胰蛋白胨、胆盐、牛肉浸膏、酵母粉、葡萄糖均为生化试剂,广东环凯微生物科技有限公司;胰

蛋白酶、胃蛋白酶均为生化试剂,生工生物工程(上海)股份有限公司;一水合硫酸锰、七水合硫酸镁、乙酸钠、柠檬酸氢二铵、磷酸氢二钾、氯化钠、氢氧化钠、盐酸均为分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司;保加利亚乳杆菌,自制;干酪乳杆菌,自制;菊粉,晨光生物科技集团股份有限公司;聚葡萄糖、低聚果糖,山东百龙创园生物科技股份有限公司;抗性糊精,广东广业清怡食品科技股份有限公司。抗性糊精的基本组分如表 1 所示。

表 1 清怡牌抗性糊精基本组成(%, m/m)
Table 1 The main components content and molecular weight of L&P resistant dextrin

成分	脂肪	灰分	水分	蛋白质	膳食纤维
含量	0.32±0.02	0.05±0.01	4.20±0.50	0.37±0.06	90.30±1.12

1.2 仪器与设备

FA2204B 型天平,上海天美科技有限公司;PHS-3C 型 pH 计,上海雷磁;LAI-D3 型厌氧培养箱,上海龙跃仪器设备有限公司;UV1100II 型紫外可见分光光度计,上海天美科技有限公司;GI80DWS 智能型高压灭菌锅,致微(厦门)仪器有限公司;DF-101S 型恒温水浴锅,巩义市予华仪器有限责任公司;Labculture G4 A2 型超净无菌工作台,益世科生物有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 抗性糊精在模拟胃液中的水解度

根据 Mackie 等^[6]在人体模拟消化模型的研究制备不同 pH 值的模拟胃液,并测试抗性糊精产品在模拟液的水解度。称取 1.6 g 胃蛋白酶和 1.0 g 氯化钠溶于蒸馏水中,定容至 500 mL。分别取 100 mL 模拟胃液加入一定量盐酸,调节溶液 pH 值为 1.0、2.0、3.0,同时向模拟胃液中逐个加入 1.0 g 清怡牌抗性糊精产品,将其置于 37 ℃ 恒温水浴锅中搅拌 5 h,每小时取样一次,通过 3,5-二硝基水杨酸法测定还原糖值,应用式(1)计算抗性糊精在不同条件下的水解度(DH,%);并以 DH 为纵坐标,

时间(h)为横坐标,绘制抗性糊精在模拟胃液中的消化曲线。

$$D = \frac{G_1 - G_0}{B - G_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

D ——水解度(DH), %;

G_1 ——剩余还原糖含量, mg/L;

G_0 ——初始还原糖含量, mg/L;

B ——总糖含量(TG), mg/L。

1.3.2 抗性糊精在模拟肠液中的水解度

参考 Mazzantini 等^[7]检测益生菌在模拟肠液耐受性的方法,考察抗性糊精在模拟肠液中的水解度。将 0.3% (m/m) 胆盐和 0.1% (m/m) 胰蛋白酶溶解在 200 mL 0.85% (m/m) 无菌氯化钠溶液中,分别取 50 mL 模拟肠液调节 pH 值为 6.0、7.0、8.0,向溶液中分别加入 1 g 清怡牌抗性糊精产品,将其置于 37 °C 恒温水浴锅中搅拌 5 h,每小时取样一次,按 1.3.1 中所述方法测定并计算 DH,绘制抗性糊精在模拟肠液中的消化曲线。

1.3.3 培养基制备

1.3.3.1 基础培养基

配制适用于两种益生菌生长的基础培养基,培养基组成如下(200 mL):胰蛋白胍 2.00 g、酵母粉 1.00 g、牛肉浸膏 2.00 g、一水合硫酸锰 0.04 g、葡萄糖 4.00 g、七水合硫酸镁 0.04 g、柠檬酸氢二铵 0.37 g、乙酸钠 1.00 g、磷酸氢二钾 0.45 g。加入 200 mL 蒸馏水,调节 pH 值为 6.6,倒入 500 mL 锥形瓶密封后,121 °C 下灭菌 20 min 后,置于超净台中冷却备用。

1.3.3.2 抗性糊精基础培养基

按照表 1 所示抗性糊精中膳食纤维含量(90.30%, m/m)计,将基础培养基中所用葡萄糖用 4.4 g 抗性糊精产品替代,其他配料和操作保持不变。

1.3.3.3 添加膳食纤维的改良培养基

向基础培养基配方中分别加入 0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和 1% (m/m) 清怡牌抗性糊精样品或其他膳食纤维产品(聚葡萄糖、低聚果糖、菊粉),其他配料和操作保持不变。

1.3.4 益生菌活化

将超净工作台紫外灭菌 20 min,吸取 5 mL 基础培养基至试管,接入 5 μ L 自制保加利亚乳杆菌或干酪乳杆菌,摇匀密封,将试管置于 37 °C 厌氧培养箱中培养 24 h,合并两次活化所得菌液备用。

1.3.5 益生菌的增殖

取一批 10 mL 试管,每管中各加入 5 mL 基础培养基,接入 50 μ L 益生菌活化菌液后,将试管于 37 °C 厌氧培养 24 h,在第 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24 小时取样,用紫外分光光度计测定发酵液 600 nm 处的吸光度(即 OD₆₀₀)值,用 pH 计测定发酵液 pH 值。分别以 OD₆₀₀ 值和 pH 值为纵坐标,时间(h)为横坐标,得到两种益生菌在基础培养基增殖和菌液 pH 值变化曲线。

采用同样实验方法测定两种益生菌在抗性糊精基础培养基、添加膳食纤维的改良培养基增殖和菌液 pH 值变化曲线。

1.3.6 数据处理分析

每个实验重复三次,实验数据以三次测定的平均值表示,并采用 Origin 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 清怡牌抗性糊精产品耐胃肠道消化生理特性分析

作为一种水溶性膳食纤维,抗性糊精的突出生理特性是能够抵抗人体消化道的水解。清怡牌抗性糊精在 pH 值为 1.0、2.0、3.0 的模拟胃液中的水解过程如图 1a 所示。DH 值越高,意味着抗性糊精越易被模拟胃液消化。从图 1a 可以看出,在不同酸性 pH 值条件下,抗性糊精产品的水解度随时间的增长而增加,4 h 后水解度达到最高并趋于稳定;表明抗性糊精仍存在部分慢消化成分,其随消化过程时间延长逐渐被消化。同时,伴随模拟胃液 pH 值的降低,产品水解度会随之增高,当 pH 值为 1.0 时,模拟胃液对抗性糊精的最大水解度为 1.32%,表明清怡牌抗性糊精在酸性模拟胃液条件下显示出良好的抗消化特质。

抗性糊精在 pH 值为 6.0、7.0、8.0 的模拟肠液中的水解过程如图 1b 所示。可以看出,抗性糊精产品水解度随时间的增加而升高,在 4 h 后趋于稳定,与胃液消化曲线呈现相似的趋势。不同的是,当模拟液的 pH 值越高,产品水解程度反而越高,在 pH 值为 8.0 时,抗性糊精水解度可达到 3.67%,仍处于较低的水解水平。由此说明抗性糊精产品在模拟肠液中也表现出良好的抗消化特质。

人体胃液呈酸性,肠液则在碱性区间,清怡牌

抗性糊精产品在 pH 值 1.0 的模拟胃液和 pH 值 8.0 模拟肠液中均维持在一个比较低的水解度, 表明其具有较强的消化抵抗功能。在抗性糊精产品的制造过程中, 酸热处理破坏了淀粉的有序晶体结构, 在短侧链上形成了新的糖苷键 (如 α -1,2、 α -1,3、 α -1,6 糖苷键等), 不利于双螺旋结构的形成, 结构分支度 (DB) 较高。由于分支度增加与聚合度和平均链长呈负相关^[8], 从而增加了抗性糊精的膳食纤维含量, 对胃肠道消化抵抗力增强。此外, 在模拟胃液和模拟肠液水解过程中, 抗性糊精产品均具有水解现象, 与 Liu 等^[9]研究指出抗性糊精结构中仍存在可被缓慢降解的 α -1,6- 糖苷键相佐证, 表明抗性糊精存在一定的慢消化现象。总之, 体外模拟胃液与肠液实验结果表明清怡牌抗性糊精产品良好的耐消化特质。

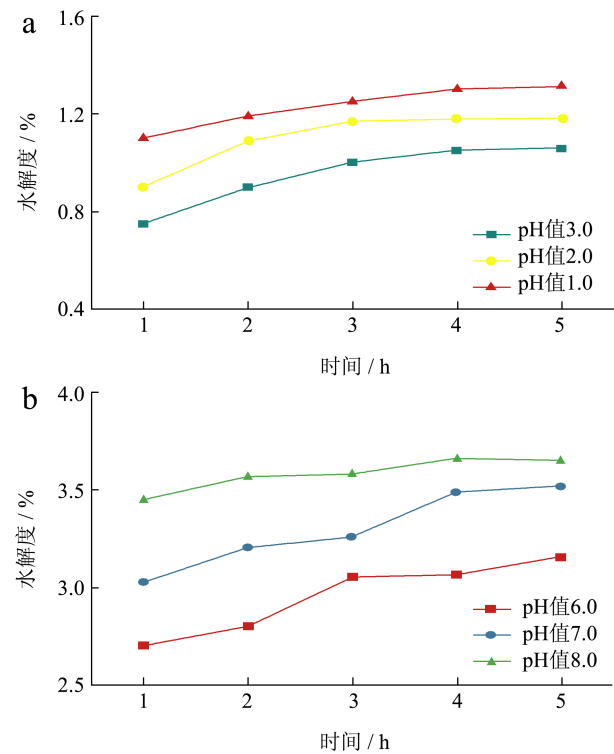


图 1 清怡牌抗性糊精产品在模拟胃液 (a) 和模拟肠液 (b) 中的水解度

Fig.1 Hydrolysis degree of L&P resistant dextrin product in simulated gastric (a) and simulated intestinal fluid (b)

2.2 两种益生菌在基础培养基中的生长情况

图 2a 显示了保加利亚乳杆菌在基础培养基中的生长情况和 pH 值变化情况, 可以看出, 在前 4 h 的对数生长期内, 大量的碳源和氮源为菌种提供良好的生长条件, 益生菌生长迅速, OD₆₀₀ 值急剧升高。

进入正常生长期后, 菌液浓度虽有所增长但相对缓和, 接近线性。细菌在 16 h 后进入生长稳定期, 菌液浓度趋于稳定, OD₆₀₀ 值达到峰值。

对比图 2a、2b 可以看出, 干酪乳杆菌在基础培养基中生长对数期时间较为滞后, 出现在大约 4~12 h 之间。12 h 后细菌浓度趋于稳定, 进入生长稳定期。对比保加利亚乳杆菌在基础培养基上的生长情况, 可以看出, 干酪乳杆菌有更长时间的生长对数期, 且更快进入生长稳定期, 但 OD₆₀₀ 峰值却略低于保加利亚乳杆菌峰值。

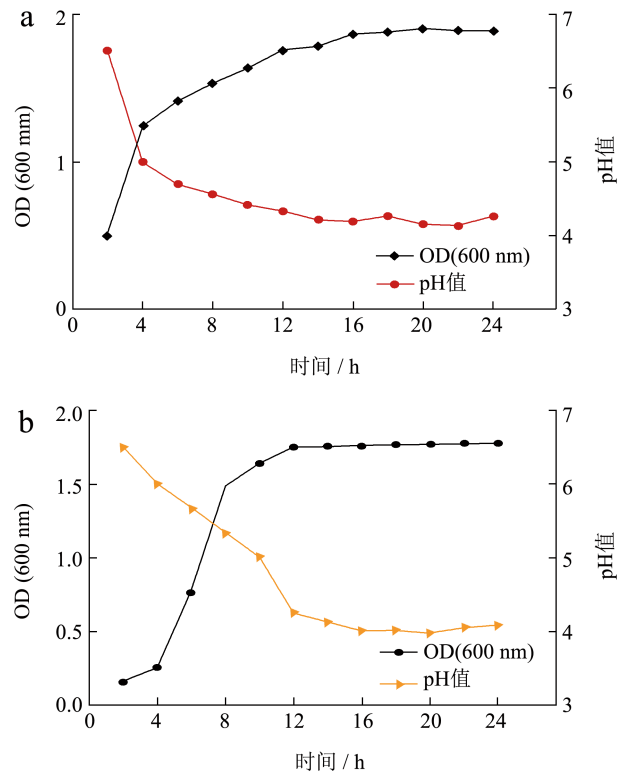


图 2 保加利亚乳杆菌 (a) 和干酪乳杆菌 (b) 在基础培养基中的生长曲线和 pH 值变化曲线

Fig.2 Growth curve and pH value curve of *Lactobacillus bulgaricus* (a) and *Lactobacillus casei* (b) in basal substrate

已有研究表明, 益生菌在肠道中会进行选择性地发酵并产生一系列短链脂肪酸, 肠道 pH 值会随着这些短链脂肪酸的产生而缓慢降低。这些短链脂肪酸已被证明可以抑制部分病原体生长, 抵御消化道炎症风险, 有一定的抗氧化和抗癌作用^[10]。因此, 通过测定培养基的 pH 值是监测益生菌在培养基生长情况的一个重要指标。观察图 2 可以发现, 两个基础培养基环境 pH 值均随益生菌生长有明显下降趋势, 且最终 pH 值都趋近于 4.0, 这可能是由于 pH 值 < 4.0 的环境不适于两种益生菌生长所造成的。

2.3 两种益生菌在抗性糊精基础培养基中的生长情况

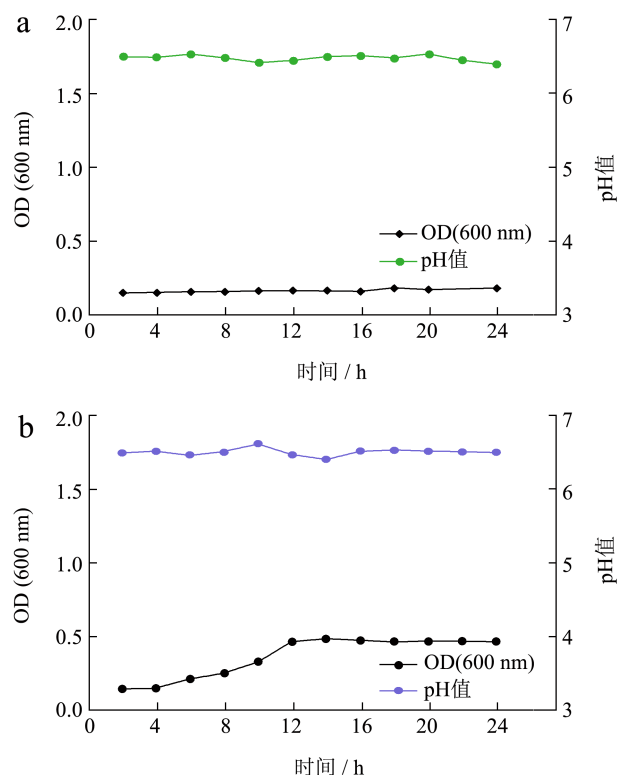


图3 保加利亚乳杆菌 (a) 和干酪乳杆菌 (b) 在抗性糊精基础培养基中的生长曲线和 pH 值变化曲线

Fig.3 Growth curve of *Lactobacillus bulgaricus* (a) and *Lactobacillus casei* (b) in resistant dextrin basal substrate

从图3中可以看出, 24 h内保加利亚乳杆菌在抗性糊精基础培养基中菌液浓度几乎无显著变化, 而且培养基 pH 值也维持在 6.5 左右, 说明保加利亚乳杆菌无明显的生长增殖; 干酪乳杆菌在抗性糊精基础培养基中菌液浓度在 12 h 处略微增长, 但 pH 值未有明显变化, 表明其增殖效率不高。由此可见, 保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌两种益生菌不能利用抗性糊精作为唯一碳源进行正常生长繁殖。干酪乳杆菌相对于保加利亚乳杆菌而言, 对于抗性糊精的利用率相对较高, 根据曹瑞博等^[11]干酪乳杆菌功能性研究可推测, 这可能是由于干酪乳杆菌相比于保加利亚乳杆菌对环境具有更好的耐受性。

2.4 两种益生菌在抗性糊精改良培养基中的生长情况

如图4所示, 结合益生菌基础培养基生长曲线来看, 保加利亚乳杆菌在不同抗性糊精添加量的改良培养基菌液生长浓度均大于基础培养基, 且抗性糊精质量分数在 0.6% (m/m) 时菌液 OD₆₀₀ 值高,

可以达到 2.0 左右。图5中干酪乳杆菌也表现出相似的趋势, 当抗性糊精添加量为 0.4% (m/m) 时改良培养基 OD₆₀₀ 值最高, 达到 2.1 左右。此外, 添加不同质量分数的抗性糊精培养基菌液生长情况从生长曲线上与基础培养基基本保持一致, 其对数生长期和稳定期时间节点相似, 说明在保证益生菌营养源需求的情况下, 添加一定量抗性糊精产品能够促进益生菌增殖。

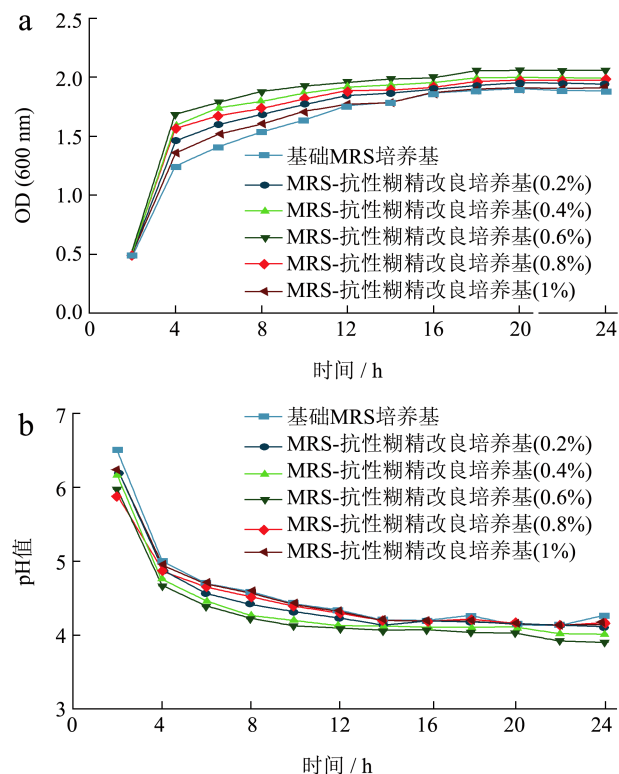


图4 保加利亚乳杆菌在抗性糊精改良培养基中的生长曲线 (a) 及发酵液 pH 值变化曲线 (b)

Fig.4 Growth curve (a) of *Lactobacillus bulgaricus* in resistant dextrin modified substrate and pH change (b) of fermentation broth

不仅如此, 从两种益生菌的生长曲线可以看出抗性糊精促进益生菌生长并不是添加量越高越好。从图4可观察到, 保加利亚乳杆菌在抗性糊精添加量在 0~0.6% (质量分数) 范围内, 抗性糊精添加量越高, 其菌液 OD₆₀₀ 值越大, 但当添加量继续上升后, 其菌液最终生长稳定期的 OD₆₀₀ 值反而与基础培养基数值持平。对于干酪乳杆菌, 抗性糊精添加量 0.6%~1.0% (m/m) 时, 生长稳定期菌液 OD₆₀₀ 值反而略低于基础培养基 OD₆₀₀ 值 (图5)。Farooq 等^[12]研究发现, 添加小米膳食纤维超过一定量也会抑制益生菌生长, 降低益生菌菌液的最大生长值。

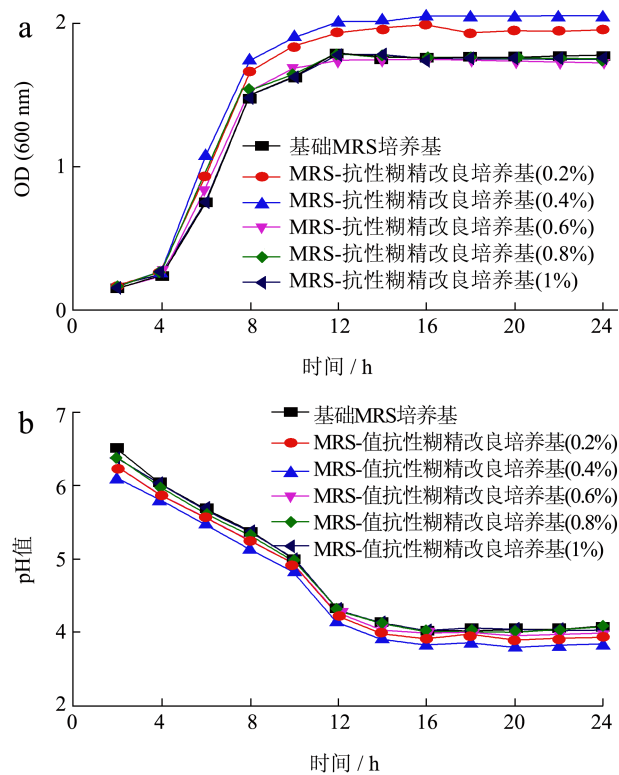


图5 干酪乳杆菌在抗性糊精改良培养基中的生长曲线 (a) 及发酵液 pH 值变化曲线 (b)

Fig.5 Growth curve (a) of *Lactobacillus casei* in resistant dextrin modified substrate and pH change (b) of fermentation broth

结合图4和图5中益生菌发酵液pH值变化可知,保加利亚乳杆菌在抗性糊精添加量为0.6% (m/m),以及干酪乳杆菌在抗性糊精添加量为0.4% (m/m) 时,发酵液pH降低程度较大,说明在较优的抗性糊精添加量下,益生菌能在更低的pH值环境下增殖。Dario等^[13]研究发现,添加膳食纤维低聚果糖一定程度可以促进长益生菌双歧杆菌的生长和发酵液pH值的下降。由此可见,抗性糊精与低聚果糖等膳食纤维一样,在基础营养得到满足的情况下,一定程度上能促进益生菌生长增殖。

2.5 两种益生菌在不同种类膳食纤维改良培养基的生长情况

不同种类的益生菌对不同膳食纤维的利用有各自偏好特性。李雅丽等^[14]在分析6种低聚糖对肠道益生菌生长情况的影响及代谢产物时指出,抗性糊精被婴儿双歧杆菌直接利用但作用较弱。为比较抗性糊精与其他膳食纤维对保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌生长增殖的差别,在保加利亚乳杆菌基础培养基中分别添加0.6% (m/m) 的抗性糊精、聚葡萄糖、

菊粉、低聚果糖,在干酪乳杆菌基础培养基中分别添加0.4% (m/m) 的不同膳食纤维,两种益生菌在不同膳食纤维改良培养基中的增殖情况如图6和图7所示。

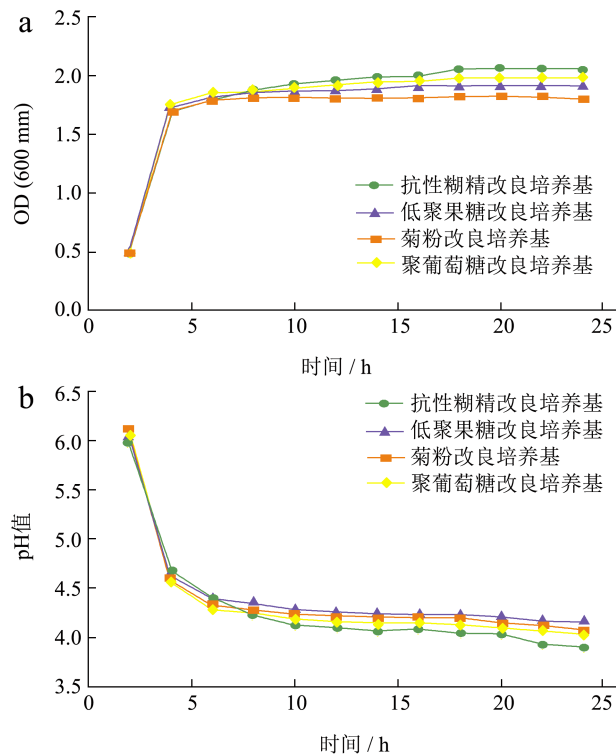


图6 保加利亚乳杆菌在不同膳食纤维改良培养基中的生长曲线 (a) 与发酵液 pH 值变化曲线 (b)

Fig.6 Growth curve (a) of *Lactobacillus bulgaricus* in different dietary fibers modified substrate and pH change (b) of fermentation broth

在等量添加膳食纤维的改良培养基中,添加低聚果糖、聚葡萄糖、菊粉的培养基中菌体,特别是干酪乳杆菌,生长较早进入对数生长期,而在进入稳定期后,添加抗性糊精的改良培养基菌液OD₆₀₀峰值相对较高,聚葡萄糖、菊粉改良培养基菌液OD₆₀₀值相对较低。此外,观察添加不同种类膳食纤维改良培养基的pH值变化,可以看出,各个膳食纤维改良培养基pH值有相似的变化趋势,在开始时快速下降,随后基本保持稳定,添加抗性糊精的改良培养基经发酵后,pH降低程度最大。由此可见,保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌虽然利用聚葡萄糖、菊粉、低聚果糖等膳食纤维的速度比利用抗性糊精的速度快,但是,两种益生菌对抗性糊精的利用率比其它三种膳食纤维更高,同样添加量的情况下,抗性糊精则更有利于这两种益生菌的增殖生长,益生菌增殖程度更大。

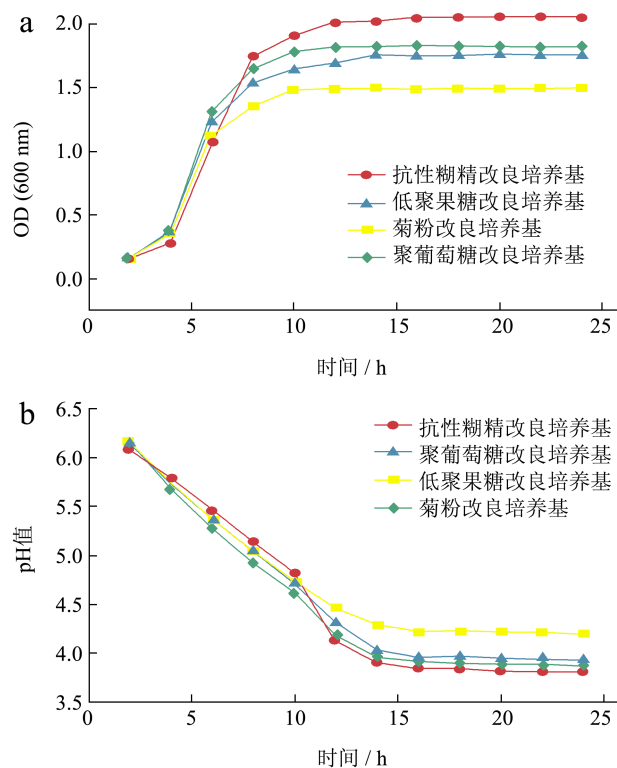


图7 干酪乳杆菌在不同膳食纤维改良培养基中的生长曲线 (a) 与发酵液 pH 值变化曲线 (b)

Fig.7 Growth curve (a) of *Lactobacillus casei* in different dietary fibers modified substrate and pH change (b) of fermentation broth

3 结论

通过模拟胃肠液环境消化过程, 随时间增加, 清怡牌抗性糊精产品水解度均有所增加; 随着 pH 值降低, 模拟胃液中抗性糊精的水解度随之增加, pH 值为 1.0 时水解度值最大达到 1.32%; 同时随着 pH 值升高, 模拟肠液中抗性糊精的水解度随之增加, 当 pH 值为 8.0 时最大达到 3.67%, 表明抗性糊精产品显著的抗消化特性。若直接以抗性糊精作为单一营养碳源, 保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌均未表现出明显的生长增殖; 但得到一定营养源保证后, 添加适当的抗性糊精产品能够在一定程度上促进益生菌的增殖, 同时环境 pH 值随之下降。对保加利亚乳杆菌而言, 较优的抗性糊精添加量为 0.6% (m/m); 对干酪乳杆菌而言, 较优添加量则为 0.4% (m/m)。聚葡萄糖、菊粉、低聚果糖能够更快促进保加利亚乳杆菌和干酪乳杆菌的增殖, 抗性糊精则能使两种益生菌增殖程度更大, 两种益生菌对抗性糊精的利用率更高。总之, 清怡牌抗性糊精不仅表现出体外慢消化特性, 在体外益生菌培养中也表现出更优的促增殖效应, 能够更有效促进干酪乳杆菌的增殖。

当人体摄入抗性糊精产品进行消化抵抗后, 会诱导肠道益生菌繁殖, 使得环境 pH 值降低, 具有显著的益生元特性, 有利于人体肠道健康。

参考文献

- [1] 龚芳红, 贺松, 张德纯, 等. 百合浸提液对双歧杆菌体外促生长作用的初步探讨[J]. 食品与发酵工业, 2009, 11: 64-67.
- [2] 丁瑞雪, 武俊瑞, 岳喜庆, 等. 益生菌对肠道营养健康调控作用的研究进展[J]. 中国乳品工业, 2018, 46(1): 24-32.
- [3] 李良玉, 刘晚霞, 李朝阳, 等. 绿豆抗性糊精的高效纯化技术及分子特性研究[J]. 中国食品学报, 2020, 20(10): 134-141.
- [4] 朱洁. 抗性糊精的工艺及特性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
- [5] BERARD M, DEREMAUX L, CATHERINE LEFRANC-MILLOT C, et al. Prebiotic effect of Nutriose®: review [C]. International Congress of Nutrition, 2009.
- [6] MACKIE A, MULET-CABERO A I, TORCELLO-GOMEZ A. Simulating human digestion: developing our knowledge to create healthier and more sustainable foods [J]. Food & Function, 2020, 11, 9397-9431.
- [7] MAZZANTINI D, CALVIGIONI M, CELANDRONI F, et al. *In vitro* assessment of probiotic attributes for strains contained in commercial formulations [J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 21640.
- [8] LI Z R, LIU Y, HUANG Y H, et al. Identification of the key structure, preparation conditions and properties of resistant dextrin for indigestibility based on simulated gastrointestinal conditions [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2022, 57: 7233-7244.
- [9] LIU Z Z, LIU J, REN L Q, et al. Preparation of high-quality resistant dextrin through pyrodextrin by a multienzyme complex [J]. Food Bioscience, 2022, 47: 101701.
- [10] KAWAKITA D, LEE YCA, TURATI F, et al. Dietary fiber intake and head and neck cancer risk: A pooled analysis in the international head and neck cancer epidemiology consortium [J]. International Journal of Cancer, 2017, 141(9): 1811.
- [11] 曹瑞博, 汪建明. 干酪乳杆菌的功能性研究及其应用[J]. 中国食品添加剂, 2009(S1): 169-172.
- [12] FAROOQ U. 小米膳食纤维作为主要碳源对益生菌生长和发酵过程中短链脂肪酸产量的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [13] PEREZ-CONESA D, LOPEZ G, ROS G. Fermentation capabilities of bifidobacteria using nondigestible oligosaccharides, and their viability as probiotics in commercial powder infant formula [J]. Journal of Food Science, 2005, 70: 279-285.
- [14] 李雅丽, 王默涵, 周志桥. 6种低聚糖对肠道益生菌生长情况的影响及代谢产物分析[J]. 食品科技, 2021, 46(3): 7-13.