燕麦发酵饮料乳酸菌菌种的筛选

赵福利，钟葵，佟立涛，刘丽娅，周闲容，周素梅

（中国农业科学院农产品加工研究所/农业部农产品加工综合性重点实验室，北京 100193）

摘要：选用保加利亚乳杆菌（Lb）、嗜热链球菌（St）、植物乳杆菌（Lp）和嗜酸乳杆菌（La）4 种乳酸菌分别进行燕麦饮料发酵，考察不同乳酸菌发酵对燕麦发酵饮料的理化特性、营养成分及风味的影响，旨在筛选最适宜燕麦发酵饮料的乳酸菌菌种。研究结果表明：相对于其它 3 个菌种，菌种 Lp 产酸速率快，发酵后活菌数增加较多（3.89×10^9 cfu/mL），黏度（9.08 mp s）与 La（9.28 mp s）无显著差异，却显著大于 Lb（7.07 mp s）和 St（7.17 mp s）菌种（$p<0.05$）。发酵制备的燕麦发酵饮料中总酚含量高，为 12.43 mg/100 ml，植酸含量低（16.49 mg/100 mL），β-葡聚糖含量与其它菌种发酵饮料差异不显著（$p>0.05$）。GC-MS 分析结果表明 Lp 发酵后的燕麦饮料产生较多的醛类，醇类以及有机酸等挥发性风味成分，使燕麦发酵饮料拥有较为独特的口感，其感官评分也最高。因此，筛选出菌种 Lp 为最适宜的燕麦发酵饮料乳酸菌菌种。

关键词：乳酸菌；燕麦发酵饮料；理化特性；营养成分；风味口感

文章篇号：1673-9078(2015)11-263-270 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.11.040

Selection of Lactic Acid Bacterial Strains for a Fermented Oat Beverage

ZHAO Fu-li, ZHONG Kui, TONG Li-tao, LIU Li-ya, ZHOU Xian-rong, ZHOU Su-mei

(Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

Abstract: The most suitable strain of lactic acid bacteria from four different species, *Lactobacillus bulgaricus* (Lb), *Streptococcus thermophilus* (St), *L. plantarum* (Lp), and *L. acidophilus* (La), was selected to prepare a fermented oat beverage. The effects of the bacteria on the physicochemical properties, nutritional components, and taste and flavor of the oat beverage were investigated. Compared with the other three strains, Lp showed a faster acid production rate and a larger increase in viable cell count (3.89 ×109 cfu/mL). The viscosity (9.08 mp s) of the beverage prepared using Lp showed no significant difference from that prepared using *La* (9.28 mp s) ($p<0.05$), but was significantly higher than those using Lb (7.07 mp s) and St (7.17 mp s) ($p<0.05$). The oat beverage fermented by Lp showed high content of total phenols (12.43 mg/100 mL), low content of phytic acid (16.49 mg/100 mL), and no significant difference in β-glucan content when compared with beverages prepared using other bacteria ($p>0.05$). The results of gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) showed that after Lp fermentation, a larger quantity of aldehydes, alcohols, organic acids, and other volatile flavor components were produced, giving the fermented oat beverage a unique taste and the highest sensory score. Therefore, Lp was chosen as the most suitable lactic acid bacterial strain to prepare the fermented oat beverage.

Key words: lactic acid bacteria; fermented oat beverage; physicochemical properties; nutritional components; taste and flavors

燕麦是世界上第六大粮食作物，含有丰富的蛋白质、不饱和脂肪酸及各种膳食纤维，此外，还富含钙、铁、磷、维生素和酚类等物质，其功能成分含量相对于其它谷物较高，是一种营养丰富，具有保健作用的谷物[1]。

继碳酸饮料、纯净水、茶饮、果汁饮料之后，谷物饮料正以“第五代饮料”的姿态进入中国饮料市场[2]。其中谷物发酵饮料的研究和开发逐渐成为热点，它是一种采用发酵工程和酶法相结合而研制的一种营养饮料，发酵过程中产生的过氧化氢、抗生物质等能够抑制肠道内各种病菌和腐败菌的增殖，改善肠道菌群，同时形成的乙酸、丁酸等多种挥发性成分会使产品具有独特的风味和口感[3]。谷物发酵饮料已成为一种重要的发酵食品，有着非常大的市场发展潜力。

燕麦相对于其他的谷物更具有开发价值，而饮料是一种重要的应用途径。国内外关于以燕麦为原料进行深加工，开发含益生菌的生物发酵乳产品的研究较多[4~5]，如以鼠李糖乳杆菌发酵脱脂奶粉和燕麦的混合

收稿日期：2014-12-23

基金项目：公益性行业（农业）科研专项（201403063-3）

作者简介：赵福利（1989-），女，在读硕士研究生，主要从事粮油深加工与功能食品研究

通讯作者：周素梅（1971-），女，博士，研究员，主要从事粮油深加工与功能食品研究

液可以制得发酵燕麦乳,或选用乳酸菌发酵制成功能性燕麦饮料及类似酸乳的燕麦饮料。葛磊[6]针对燕麦发酵饮料的发酵工艺及调配进行了详细的研究，确定了采用乳酸菌和酵母菌两次发酵工艺。有报道[7]称具有特殊组织结构的皮层是谷物中难以消化的成分，并且抗氧化剂含量的升高使其产生苦味、颜色变深而难以直接食用，但是却富含膳食纤维、维生素、矿物元素、植酸和*β*-葡聚糖等。因此，如果采用全谷物制作发酵饮料，其具有高营养、低脂肪、低胆固醇和低热量的特点，长期摄入，可有效降低心脑血管疾病、癌症、Ⅱ型糖尿病等慢性疾病的危险，同时有助于体重控制。然而，目前关于用乳酸菌发酵燕麦饮料多集中在去除燕麦麸皮的研究，对于利用生物发酵技术进行全燕麦发酵从而保留大量的膳食纤维及酚酸类物质，改善口感鲜有报道，对何种乳酸菌适合制作全燕麦发酵饮料的研究也较少。

本研究以保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、植物乳杆菌和嗜酸乳杆菌分别发酵制作全燕麦饮料，重点对燕麦发酵饮料的理化性质、主要营养成分变化及口感风味进行初步探讨，选择出适宜发酵燕麦饮料的乳酸菌，得到营养丰富，口感优良的燕麦发酵饮料，不仅增加了市场上饮料的新品种，也为生物技术在农产品深加工中的应用开拓了发展前景，为粮食转化增值开辟一条新途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料及主要试剂

原料燕麦是坝莜 1 号，产地为河北张家口；保加利亚乳杆菌（*Lactobacillus delbtueckii subsp. bulgaricus* 简称 Lb），嗜热链球菌（*Streptococcus thermophilus* 简称 St），植物乳杆菌（*Lactobacillus plantarum* 简称 Lp），嗜酸乳杆菌（*Lactobacillus acidophilus* 简称 La），购于中国科学院微生物研究所菌种保藏中心。

1.2 试验仪器及设备

MCO-15AC 型二氧化碳培养箱：三洋 SANYO Electric Co.；LDZX-50KBS 型高压蒸汽灭菌锅：上海申安医疗器械厂；Scientz-150 型高压均质机：宁波新芝生物科技股份有限公司；NDJ-IB 型旋转黏度计：上海昌吉地质仪器有限公司；FLC-3，DL-CJ-IF 型超净工作台：哈尔滨市东联公司；JMS-30A 型胶体磨：廊通机械有限公司；QP-2010 plus 型气相色谱-质谱联用仪：日本岛津公司；ICS-3000 型离子色谱仪：美国黛安公司。

1.3 试验方法

1.3.1 燕麦发酵饮料的加工工艺

乳酸菌→活化→接种

↓

燕麦→前处理→浸泡→打浆→酶解→杀菌→发酵→过滤→调配→均质→杀菌、冷却 →成品

1.3.2 乳酸菌菌种活化培养

用接种环在无菌操作条件下分别挑取一环保存在斜面培养基中的菌种于固体 MRS 上划线，37 ℃培养 2 d，如此活化传代 3 次，待固体 MRS 上长出明显的菌落后，分别挑取固体 MRS 上单一的菌落于液体培养基中，37 ℃培养 1 d，此时制得的液体菌液即为活化好的菌液， 4 ℃冰箱保藏备用。

1.3.3 基本成分测定方法

pH 值采用酸度计法测定；可滴定酸度(单位用 °T 表示)采用酸碱中和滴定法；参照 GB/T 5009.5-2003 测定蛋白含量；参照 AACC Method 32-23、AOAC Method 995.16 方法测定 *β*-葡聚糖含量；采用福林酚法[8]测定总酚含量；植酸含量采用爱尔兰植酸/总磷试剂盒测定；乳酸菌活菌数，采用 MRS 培养基稀释平板法；有机酸和糖含量采用离子色谱测定[9]。

1.3.4 黏度测定方法

采用 NDJ-IB 型旋转黏度计进行测定，选用 6 号转子，转速设定为 60 r/min，稳定 5 min 后进行读数。

1.3.5 风味成分测定方法

固相微萃取：精密称取燕麦发酵饮料 5 mL 置入 20 mL 的顶空瓶中，用 PTFE/硅橡胶隔垫密封压紧。采用 CAR/PDMS 复合萃取头，将样品置于 40 ℃条件下平衡 15 min 后，将萃取头插入顶空瓶中萃取 40 min，最后将萃取头拔出并置于 250 ℃的进样口中解吸 5 min。

气相色谱-质谱联用法：色谱条件：色谱柱：DB-5 ms 毛细血管柱，起始温度 40 ℃，保持 3 min，然后以 5 ℃/min 的速度升到 90 ℃，再以 12 ℃/min 升到 250 ℃，保持 8 min，载气：氦气，流速：1.5 mL/min，进样口温度：250 ℃，进样量：SPME，进样方式：自动，不分流，电离方式：EI，电子能量：70 EV，接口温度：250 ℃，离子源温度：200 ℃。

1.3.6 燕麦发酵饮料感官评分

组成 20 人的感官评定小组对饮料色泽、气味和口感、组织状态进行感官评分，总分 100 分。各项权重分和评分标准见表 1。

1.4 数据处理

使用 Excel 2007 对数据进行统计分析，利用 SAS 9.0 统计软件进行方差分析，标记字母法表示组间差异显著性。

表 1 燕麦发酵饮料感官评价表

Table 1 Sensory evaluation of fermented oat beverages

项目	分数	评分标准	
色泽	20	均匀乳白色，光泽好	15.0~20.0
		淡黄色，光泽一般	8.0~14.0
		深黄色，无光泽	<8.0
气味和口感	45	有燕麦清香、乳香，无异味，酸甜适中，口感细腻滑爽	35.0~45.0
		有燕麦清香，无乳香味，稍有异味，稍偏酸或偏甜，口感略有粗糙	28.0~34.0
		无燕麦香味，有明显异味，过酸或过甜，口感粗糙	<28.0
组织状态	35	呈均匀细腻乳浊状，无分层或沉淀	28.0~35.0
		均匀细腻，无分层，仅有少量沉淀	18.0~27.0
		不均匀，有大量沉淀及悬浮物	<18.0

2 结果与讨论

2.1 发酵过程中 pH 和酸度的变化

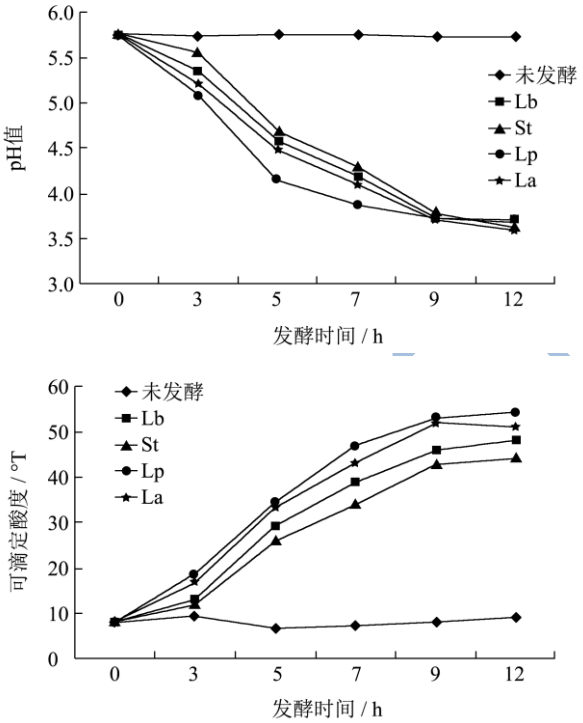


图 1 燕麦发酵饮料发酵过程中 pH 和可滴定酸度的变化

Fig.1 Changes in pH and titratable acidity of fermented oat beverages during the fermentation process

如图 1 所示，pH 随着发酵的进行不断下降，可滴定酸度则不断增加，这是由于乳酸菌利用原料中的碳水化合物不断产酸[6]。在前 3 h 之内，因为乳酸菌刚刚接种到一个新的生长环境，处于菌种的适应期，代谢产物较少，pH 的下降和产酸量的增加均较缓慢，5~9 h 之间 pH 迅速下降，酸度迅速增加，因为进入对数期，菌种利用环境中的可发酵糖等充足的营养物质进行繁殖和代谢，菌种生长繁殖快。然而 9 h 后产酸量增加的幅度明显降低，慢慢趋于恒定，这是由于一直升高的酸度及其代谢产物对菌的生长具有抑制和杀灭作用，从而抑制了乳酸菌的生长[6]。。

从图 1 还可以看出，相同的时间内，经过 Lp 和 La 发酵的燕麦饮料 pH 低，酸度高，发酵速率明显比 Lb 和 St 快，其中 Lp 能更好的利用环境中的营养物质，在发酵的第 7 h pH 即可达到 4.0 以下；而 Lb 和 St 的发酵上升趋势较缓慢，在第 9 h pH 达到 4.0 以下。综上所述，对燕麦饮料进行发酵可以选用发酵速率较快的 Lp 菌种。

2.2 发酵前后营养成分的变化

由图 2 a~b 可知，用四种不同的乳酸菌接种相同的量，发酵 9h 后，总酚含量和植酸含量有显著的增加（$p < 0.05$），很可能是因为燕麦经过微生物作用有助于将多酚和植酸从燕麦麸皮中提取出来，而且乳酸菌发酵过程中产生的水解酶及其他复杂反应能够促进多酚和植酸的释放[10]。经过 Lp 发酵后，总酚含量增加最多，而植酸含量增加较少，Lb 和 St 发酵后燕麦饮料的总酚和植酸含量没有显著的差异（$p > 0.05$），La 发酵后总酚和植酸含量增加最少。

燕麦中的蛋白质可以为乳酸菌的生长提供丰富的氮源，与未发酵的燕麦饮料相比，总蛋白和可溶性蛋白均有一定程度的降低，而不同菌种之间蛋白的含量没有显著的差异（$p > 0.05$）（图 2 (c)）。同时 β-葡聚糖经过乳酸菌发酵后有显著的降低（$p < 0.05$）（图 2 (d)），这可能是因为厌氧性细菌能够产生一种独特的可以降解纤维素的胞外基质--纤维素体，这种纤维素体能够与细胞表面或者细胞内的基质形成纤维素-酶-微生物

的三元复合体，从而能够水解多糖[11-12]。由于酚类是燕麦中主要的抗氧化功能成分物质，而 β-葡聚糖是燕麦降血脂的关键物质，植酸具有螯合作用、抗氧化性，但也是一类突出的抗营养因子[13]，因此其含量不宜过高。综合考虑营养成分发酵前后的变化，选用 Lp 菌种较为适宜。

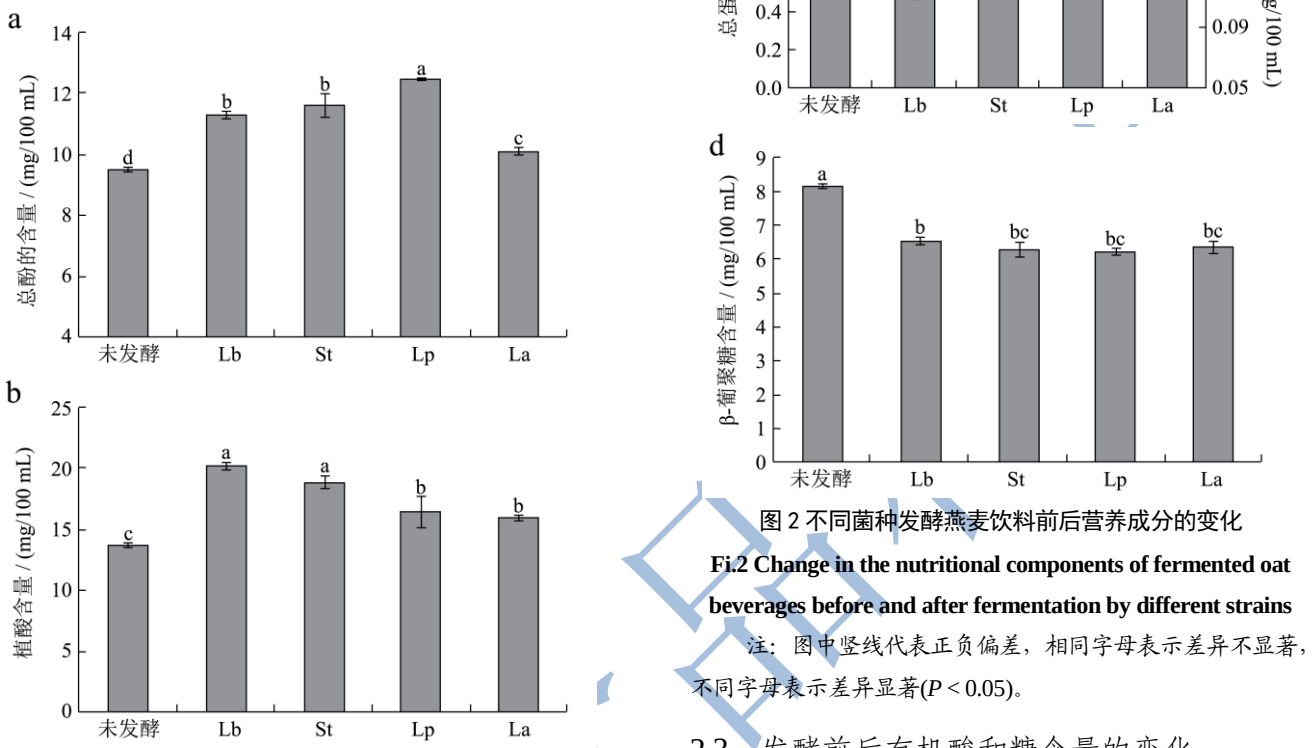


图 2 不同菌种发酵燕麦饮料前后营养成分的变化

Fi.2 Change in the nutritional components of fermented oat beverages before and after fermentation by different strains

注：图中竖线代表正负偏差，相同字母表示差异不显著，不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 发酵前后有机酸和糖含量的变化

表 2 不同菌种发酵燕麦饮料前后有机酸和糖含量的变化

Table 2 Changes in the contents of organic acid and sugar of fermented oat beverages before and after fermentation by different strains

指标处理	乳酸/(mg/100 mL)	乙酸/(mg/100 mL)	葡萄糖/(mg/100 mL)	蔗糖/(mg/100 mL)
未发酵	0.00	0.00	1947.00±8.71^{a}	83.13±1.81^{a}
Lb	166.75±2.29^{a}	0.99±0.03b^{c}	1577.75±13.87^{b}	74.75±1.14^{c}
St	147.74±3.08^{c}	0.91±0.03^{c}	1475.38±1.74^{d}	74.25±0.92^{c}
Lp	155.15±2.03^{b}	2.51±0.05^{a}	1590.38±2.04^{c}	78.00±0.56^{b}
La	106.93±1.24^{d}	1.06±0.02^{b}	1494.50±1.24^{d}	82.00±2.45^{a}

注：相同字母表示差异不显著，不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

从表 2 中可看出，未发酵的燕麦饮料葡萄糖含量为 1 947.00 mg/100 mL，蔗糖含量为 83.13 mg/100 mL，乳酸和乙酸含量为 0，而加入不同乳酸菌发酵 9 h 后，有机酸和糖都有不同程度的改变，其中葡萄糖是乳酸菌主要的营养物质，为其提供丰富的 C 源，而对蔗糖的利用相对较少，产生的有机酸以乳酸为主，同时有少量的乙酸。Lb 和 St 菌种相对于 Lp 和 La 菌种除更好的利用单糖葡萄糖外，还能适当的利用蔗糖，使得发酵后葡萄糖含量下降为 1577.75 mg/100 mL 和 1475.38 mg/100 mL，蔗糖的含量分别下降到 74.75 mg/100 mL 和 74.25 mg/100 mL。而 Lp 和 La 菌种相对于 Lb 和 St 菌种除了产生大量的乳酸之外，还产生了较多的乙酸，分别为 2.51 mg/100 mL 和 1.06 mg/100 mL，显著高于 Lb 和 St 菌种（$p < 0.05$），从而为燕麦发酵饮料提供了更丰富的风味和酸味。

2.4 发酵前后活菌数和黏度的变化

燕麦饮料经过乳酸菌发酵 9 h 后，活菌数明显的增加两个数量级，如表 3 所示，其中 Lp 增加的相对较多，由 2.83×10^{7} cfu/mL 增加到 3.89×10^{9} cfu/mL，而

黏度有显著的降低（$p < 0.05$），可能是因为燕麦中 β-葡聚糖在发酵过程中被微生物降解为小分子物质而利用，使得这种高分子聚合物含量减少，从而使燕麦发酵饮料体系中的交联作用降低，黏度相应降低[14]，由表中可知，不同乳酸菌发酵后燕麦饮料黏度均有不同程度的降低，Lp 和 La 黏度降低到 9.08 和 9.28 mp·s，显著高于经过 Lb 和 St 菌种发酵的燕麦饮料（7.07 和 7.17 mp s）（$p < 0.05$）。综上所述，选用 Lp 发酵燕麦饮料，因为具有一定黏度的燕麦发酵饮料其口感较好，稳定性也较好。

2.5 燕麦发酵饮料感官评价

通过将感官评分与相应的 pH 结合起来考察，由表 4 可以看出，在整个发酵过程中，当 pH 在 4.1~4.3 范围内时，其感官评分普遍较其他 pH 高。

表 3 不同菌种发酵燕麦饮料前后活菌数和黏度的变化

Table 3 Changes in viable count and viscosity of fermented oat beverages before and after fermentation by different strains

	初始菌数 /(cfu/mL)	末菌数 /(cfu/mL)	黏度 /(mp s)
未发酵	-	-	18.95 ± 0.49^{a}
Lb	1.66×10^{7}	1.71×10^{9}	7.07 ± 0.21^{c}
St	1.48×10^{7}	1.59×10^{9}	7.17 ± 0.23^{c}
Lp	2.83×10^{7}	3.89×10^{9}	9.08 ± 0.08^{b}
La	2.50×10^{7}	2.73×10^{9}	9.28 ± 0.13^{b}

注:相同字母表示差异不显著，不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

表 4 pH 和发酵时间对燕麦发酵饮料感官评分的影响

Table 4 Effect of pH and fermentation time on sensory scores of fermented oat beverages

菌种		时间/h					
		0	3	5	7	9	12
Lb	pH	5.75	5.36	4.58	4.21	3.74	3.68
	感官得分	78.87	76.25	71.30	80.50	69.60	61.90
St	pH	5.75	5.57	4.68	4.31	3.78	3.64
	感官得分	74.33	78.50	71.67	80	69.50	63.20
Lp	pH	5.75	5.00	4.15	3.89	3.74	3.72
	感官得分	75.93	79.13	82.00	73.87	70.00	59.80
La	pH	5.75	5.21	4.49	4.11	3.705	3.59
	感官得分	73.67	76.00	67.33	79.13	64.50	52.00

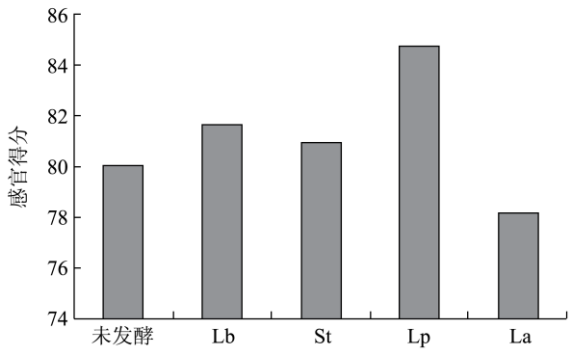


图 3 燕麦发酵饮料的感官评分

Fig.3 Sensory scores of fermented oat beverages

本研究对 pH 4.2 时的四种不同乳酸菌发酵燕麦饮料进行了感官评价（见图 3），同时用未发酵的燕麦饮料作为对照，从图 3 可看出不同乳酸菌发酵的燕麦饮料感官评定值差异较大。这可能是由于不同乳酸菌在发酵过程中产生的代谢产物差异很大，如低级脂肪酸、羰基化合物等。由图 3 可以看出，Lp 发酵得到的燕麦饮料感官评分高于其他三种和对照，因为其发酵后产生了更多的醛类、酯类及有机酸等化合物，提供了更多的风味口感。Lb 和 St 发酵后的饮料感官评定值相近，口感相近，这与两者产生的风味物质相近有关。La 发酵的饮料在口感上稍有欠缺，其评分最低。综合考虑，应倾向于口感较好的植物乳杆菌发酵燕麦饮料。

2.6 燕麦发酵饮料挥发性风味成分

利用 CAR-PDMS /GC-MS 法对不同乳酸菌发酵燕麦饮料前后挥发性风味成分进行分离、提取和鉴定。

如表 4 所示，发酵前后主要的挥发性物质是醛类、醇类、酯类、酮类及酸类，随着发酵的进行，各类挥发性物质的相对含量逐渐上升，经不同乳酸菌发酵后，其含量变化不同，其中 Lp 和 La 菌种产生的醛类种类和含量均较多（26.51%和 24.28%），而 Lb 菌种发酵后醇类含量最多，达到 20.48%，其次是 Lp 菌种（7.33%），发酵后有机酸含量最多的是 Lp 菌种，为 11.26%。表 4 中显示，与发酵前相比， Lb 发酵后醛类检测到 7 种，醇类 6 种，酸类 5 种；La 发酵后醛类为 7 种，醇类为 5 种，酸类 3 种；Lp 发酵后醛类多达 13 种，醇类 8 种，酸类能达到 10 种；La 发酵后醛类

9 种，醇类 6 种，酸类 5 种；在这些风味物质中，按呈味特征可分为三类，一类是具有奶香、果香、花香等愉悦香气的物质，包括 1-庚醇、1-壬醇、2-辛烯醛和 2-壬烯醛等；一类是具有青草、酸败等刺激性气味的物质，包括正己醛、正己醇、2,4-癸二烯醛、1-辛醇和 2-戊基呋喃等；此外是一些无特征风味或者呈味不明显的物质。

表 4 燕麦发酵饮料挥发性风味成分

Table 4 Volatile components of fermented oat beverages

保留时间/min	中文名称	相对含量/%				
		未发酵	Lb	St	Lp	La
	醛类	8.39	12.8	11.19	26.51	24.28
6.835	正己醛	2.14	2.03	2.95	2.81	3.82
12.52	辛醛	-	-	-	2.81	3.94
15.467	壬醛	5.08	9.25	4.22	12.06	9.73
16.294	反式-2-辛烯醛	0.36	0.51	2.17	0.45	1.26
17.212	呋喃甲醛	-	-	-	1.6	1.81
18.66	苯甲醛	0.81	0.66	1.13	1.09	1.15
19.017	反式-2-壬烯醛	-	-	-	1.65	1.77
21.282	反式-2-癸烯醛	-	-	-	1.31	-
22.269	反，反-2，4-壬二烯醛	-	0.24	0.58	0.36	-
23.08	2-十一烯醛	-	-	-	0.42	0.68
23.882	反，反-2，4-癸二烯醛	-	-	-	1.73	-
23.975	十三醛	-	-	-	0.13	-
24.058	丁烯醛	-	0.11	0.14	0.09	0.12
	醇类	4.94	20.48	5.57	7.33	6.46
10.567	3-甲基正丁醇	-	1.26	-	0.3	-
14.518	1-庚醇	-	-	-	1.4	1.23
18.059	2-乙基-1-正己醇	4.54	3.73	0.69	2.74	3.53
19.708	1-正辛醇	-	1.64	0.77	0.86	1.16
20.129	2，3-丁二醇	-	12.11	3.45	0.84	0.16
21.683	1-壬醇	-	-	-	-	0.27
25.2	苯乙醇		1.44	0.16	0.09	-
28.071	肉豆蔻醇	0.4	-	-	0.95	-
29.048	乙醇	-	0.3	0.5	0.15	0.11
	酮类及酯类	0.94	5.65	2.08	3.10	1.55
12.539	羟基丁酮	-	4.89	-	0.77	-
26.564	呋喃酮	-	0.18	0.9	0.54	0.78
26.568	肉豆蔻酸异丙酯	-	-	-	0.71	-
28.927	棕榈酸异丙酯	-	-	-	0.17	-
29.914	邻苯二甲酸二甲酯	-	-	0.29	0.09	-
31.12	邻苯二甲酸二乙酯	0.94	0.68	0.89	0.82	0.77
	酸类	2.43	4.2	2	11.26	5.53
14.521	甲酸	-	-	-	0.61	-
17.1	乙酸	-	-	-	0.52	-
21.928	丁酸	-	-	-	-	0.26
24.424	己酸	-	1.03	1.45	1.88	1.37

转下页

接上页

24.642	丙酸	1.59	-	-	0.62	-
24.753	戊酸	-	-	-	0.25	-
25.763	庚酸	-	0.22	0.16	0.68	-
26.235	磷酸	-	-	-	0.18	-
26.927	辛酸	-	0.54	0.39	0.84	0.6
27.228	苯二甲酸	0.84	0.58	-	2.41	0.54
28.08	壬酸	-	1.83	-	3.27	2.76
	烷烃类	1.1	3.05	2.1	0.68	2.35
12.541	十三烷	-	0.96	0.5	-	-
15.676	十四烷	-	0.37	0.28	-	0.61
15.932	2-乙基 3-甲基 1，3-己二烯	-	-	1.02	-	0.79
18.208	2-甲基二十四	-	-	-	0.39	-
20.521	十六烷	0.31	1.63	-	0.18	0.16
22.275	十五烷	0.17	-	-	-	-
23.724	二十一烷	0.62	0.09	-	0.11	0.1
	其他杂环类	14.87	5.17	9.1	7.77	3.69
10.935	2-戊基呋喃	11.17	4.34	7.86	7.15	1.79
16.099	1，2，3，4-四甲基苯酚	1.22	0.83	-	0.62	1.42
16.951	2-戊基噻吩	1.29	-	0.67	-	0.48
21.358	2-乙酰基噻唑	0.68	-	-	-	-
24.459	1-甲基萘	0.36	-	-	-	-
28.407	2-甲氧基-4 乙烯基苯酚	0.15	-	-	-	-

注：-表示未检出或是匹配度<85。

有研究学者曾指出，酯类是在乳酸菌作用下醇类和有机酸等生成的一类化合物，具有水果香味，高级醇是微生物在氨基酸代谢中产生的，构成饮料的主要香气[6]。本研究中燕麦饮料经过乳酸菌发酵后醇类、酸类和酯类有明显的提高，Lp 发酵后风味成分含量最多。Salmerom 等[15]得到植物乳杆菌发酵燕麦等谷物后，能够明显得改变谷物的挥发性芳香气味成分的组成，形成新的特殊的风味物质。

乳酸菌发酵燕麦饮料的风味特征取决于风味成分的数量、种类、感觉阀值和各成分之间的相互作用，由表中可得出，醛类、醇类和酸类对发酵燕麦饮料的风味贡献较大，结合各个方面可知选取 Lp 菌种发酵燕麦饮料比较适宜。

3 结论

3.1 Lp 菌种相对于 La、Lb 和 St 菌种产酸速率较快，发酵前后活菌数增加较多，发酵效率高。发酵后黏度与 La 无显著差异（$p > 0.05$），显著大于 Lb 和 St 菌种（$p < 0.05$）；

3.2 Lp 发酵后的燕麦饮料总酚含量增加较多，植酸含量增加较少，β-葡聚糖含量与 La、Lb 和 St 无显著的差异（$p > 0.05$），均有所降低，Lp 利用的葡萄糖较少，可以少量的利用蔗糖，产生的乳酸含量低于 Lb，但显著高于 St 和 La（$p < 0.05$），乙酸含量显著比 La、Lb 和 St 高（$p < 0.05$）；

3.3 经过 Lp 发酵后，燕麦饮料产生较多的醛类，醇类以及有机酸等挥发性风味成分，使燕麦发酵饮料有独特的风味口感，从而得到较高的感官评分。

参考文献

[1] 周素梅,申瑞玲.燕麦的营养及其加工利用[M].北京:化学工业出版社,2009
ZHOU Su-mei, SHEN Rui-ling. Nutrition and processing of oats [M]. Bei Jing: Chemical Industry Press, 2009

[2] 赵亚利.食品饮料新宠-谷物饮料[J].农产品加工，2009, 1:16-17
ZHAO Ya-li. New food beverage-corn beverage [J]. Agricultural Products Processing, 2009, 1: 16-17

[3] Blandino A, Al-Aseeri M E, Pandiella S S, et al. Cereal-based fermented foods and beverages [J]. Food Research International, 2003, 36(6): 527-543

[4] Gupta S, Cox S, Abu-Ghannam N. Process optimization for

the development of a functional beverage based on lactic acid fermentation of oats [J]. Biochemical Engineering Journal, 2010, 52(2): 199-204

[5] Coda R, Lanera A, Trani A, et al. Yogurt-like beverages made of a mixture of cereals, soy and grape must: microbiology, texture, nutritional and sensory properties [J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 155(3): 120-127

[6] 葛磊.燕麦发酵饮料的研制[D].江苏:江南大学,2012
GE Lei. Study on oats fermented beverage [D]. Jiang Su: Jiang Nan University, 2012

[7] 谭斌.全谷物食品与人体健康[J].农产品加工,2010,4: 6-7
TAN Bin. The whole grains and human health [J]. Farm Products Processing, 2010, 4: 6-7

[8] Manuel P, Birgitte Z, Anne S M. Juice clarification by protease and pectinase treatments indicates new roles of pectin and protein in cherry juice turbidity [J]. Food and Bio-products Processing, 2010, 88: 259-265

[9] 熊建飞,周光明,何强等.离子色谱法测定玄参中的单糖和低聚寡糖[J].食品工业科技,2012,(7): 340-342
XIONG Jian-fei, ZHOU Guang-ming, HE Qiang, et al. Determination of monosaccharides and oligosaccharides in figwort root by ion chromatography [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, (7): 340-342

[10] Anson N M, Selinheimo, E, Havenaar, R, et al. Bio-processing of wheat bran improves *in vitro* bio-accessibility and colonic metabolism of phenolic compounds [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009, 57: 6148-6155

[11] Lynd L R, Weimer P J, Zyle W H, et al. Microbial cellulose utilization: fundamentals and bio-technology [J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2002, 66(3): 506-577

[12] Adele M. Lambo, Rickard Öste, Margareta E.G.-L. Nyman. Dietary fibre in fermented oat and barley *β*-glucan rich concentrates [J]. Food Chemistry, 2005, 89: 283-293

[13] 吴澎,田纪春,王凤成.谷物中植酸及其应用的研究进展[J].中国粮油学报,2009,24(3):137-143
WU Peng, TIAN Ji-chun, WANG Feng-cheng. Present situation and aplication of phytic acid in cereal [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24 (4): 137-143

[14] Luana N, Rossana C, Antonio C J, et al. Manufacture and characterization of a yogurt-like beverage made with oat flakes fermented by selected lactic acid bacteria [J]. International Journal of Food Microbiology, 2014

[15] Salmeron I, Fuciños P, Charalampopoulos D, et al. Volatile compounds produced by the probiotic strain *Lactobacillus plantarum* NCIMB 8826 in cereal-based substrates [J]. Food Chemistry, 2009, 117: 265-271

现代食品科技