

# 不同发酵方法生产 100%大麦啤酒饮料的研究

朱明光<sup>1</sup>, 崔云前<sup>1, 2</sup>, 朱维岳<sup>3</sup>, 王敏<sup>1</sup>

(1. 工业发酵微生物教育部重点实验室, 天津市工业微生物重点实验室, 天津科技大学生物工程学院, 天津 300457) (2. 山东省微生物工程重点实验室, 齐鲁工业大学中德啤酒技术中心, 山东济南 250353)

(3. 齐鲁工业大学实验与工程训练管理中心, 山东济南 250353)

**摘要:** 本文研究了利用诺维信公司 Ondea Pro<sup>®</sup>酶进行 100%大麦啤酒饮料的生产。分别利用上面发酵法与下面发酵法进行 100%大麦啤酒饮料的生产, 酿造而成 100%啤酒饮料, 并对其麦汁糖谱组成、氨基酸含量、蛋白质隆丁区分、 $\alpha$ -氨基氮含量、啤酒风味物质等指标进行了全分析, 特别是对上面发酵的特色风味物质 4VG 进行了检测, 最后邀请国家级品酒委员进行了感官品评。研究发现, 利用 Ondea Pro<sup>®</sup>酶生产的麦汁, 完全能够为酵母提供足够的营养物质, 从而生产出令人满意的啤酒饮料。而上面发酵法生产的 100%大麦啤酒饮料, 由于采用了独特的酵母菌种和较高的发酵温度, 其风味物质含量远高于下面发酵法, 品评口感也远胜于下面发酵法生产的产品。上面发酵法生产的 100%大麦啤酒饮料具有极大的市场潜力, 是极具推广价值的一款啤酒饮料。

**关键词:** 100%大麦啤酒饮料; Ondea Pro<sup>®</sup>酶; 上面发酵法; 下面发酵法

文章篇号: 1673-9078(2014)10-231-236

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.10.039

## A Comparison of Fermentation Methods to Produce 100% Barley Beer

ZHU Ming-guang<sup>1</sup>, CUI Yun-qian<sup>1,2</sup>, ZHU Wei-yue<sup>3</sup>, WANG Min<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Industrial Fermentation Microbiology, Ministry of Education, Tianjin Key Laboratory of Industrial Microbiology, College of Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China) (2. Shandong Provincial Key Laboratory of Microbial Engineering, China-Germany Beer-Brewing Technical Center, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China) (3. The Management Center of Experimental and Engineering Training, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China)

**Abstract:** In this study, Novozymes Ondea Pro<sup>®</sup> enzyme was used to produce 100% barley beer. Samples of beer produced using top fermentation and bottom fermentation techniques were assessed. The sugar spectrum composition, amino acid content, Lundin fraction value,  $\alpha$ -amino nitrogen content in the wort, and flavor substances in 100% barley beer samples were examined. In particular, the characteristic flavor substance 4VG in beer produced using the top fermentation technique was examined, and members of the National Alcohol Tasting Committee were invited to conduct sensory evaluations. The wort brewed by Ondea Pro<sup>®</sup> provided sufficient nutrients for yeast and resulted in high-quality, 100% barley beer. The flavor substance contents of the 100% barley beer beverage brewed using the top fermentation technique were much higher than those of the bottom fermentation product, and the taste was also much better owing to the special top-fermenting yeast strain and the relatively high fermentation temperature. Thus, the 100% barley beer produced using the top fermentation technique has considerable market potential and promotional value.

**Key words:** 100% barley beer; Ondea Pro<sup>®</sup> enzyme; top fermentation; bottom fermentation

中国啤酒国家标准 GB4927-2008 规定<sup>[1]</sup>, 啤酒是以麦芽、水为主要原料, 加酒花(包括酒花制品), 经酵母发酵酿制而成的、含有二氧化碳的、起泡的、低酒精度饮料。由于本文采用了 100%大麦(非大麦芽)

收稿日期: 2014-06-19

基金项目: 工业发酵微生物教育部重点实验室(天津科技大学)开放基金项目(20111M002)

作者简介: 朱明光(1971-), 男, 博士研究生, 工程师, 研究方向: 发酵食品

通讯作者: 王敏(1971-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 发酵工程

酿造, 生产得到的产品并不符合 GB4927-2008 规定的“啤酒”定义, 故本文称之为“啤酒饮料”。目前, 国内大规模的啤酒生产中, 多为下面发酵法的大麦芽啤酒。传统下面发酵法生产的啤酒清新爽口, 但近年来随着高浓稀释酿造技术的大规模应用, 啤酒口味越来越淡薄, 而且发酵温度较低, 发酵周期较长, 对设备的占用率较高。而利用上面发酵法能够为啤酒带来浓郁的酯香和酚香, 增加其醇厚性, 而且上面发酵法发酵温度高, 发酵周期短, 设备周转周期较快<sup>[2]</sup>。

对于 100%大麦啤酒饮料的生产, 目前只有酶制

剂这一种生产方法。我国啤酒工业生产中最常采用的酶制剂分单一酶制剂和复合酶制剂两种。由于糖化过程中涉及酶类较多,计算繁琐,操作复杂,单一酶制剂只能作为辅助用酶应用于麦芽原料的酿造<sup>[3]</sup>,难以适应大麦为原料的情况。虽然复合酶制剂种类繁多,应用方便,更能适应一般啤酒工业的生产,但由于目前常见的复合酶制剂为糖化辅助用酶,与麦芽相比,含酶种类较少,缺乏脂肪酶等酶类,若用于100%大麦啤酒饮料的生产,无法最大程度地还原麦汁组成,势必会影响啤酒饮料的风味<sup>[4]</sup>。本技术选用的 Ondea Pro<sup>®</sup>酶包含  $\alpha$ -淀粉酶、 $\beta$ -淀粉酶、纤维素酶、木聚糖酶、脂肪酶和中性蛋白酶等酶类,可以最大程度地满足糖化过程中大麦内大分子营养物质的转化,产生足够的糖类和氨基酸等营养物质,从根本上解决了利用大麦直接进行啤酒饮料酿造的难题,从而节约原料成本,并减少麦芽制备过程中水和能源的损耗。因此,本技术选用 Ondea Pro<sup>®</sup>酶,能最大程度地保证麦汁的营养成分,从而确保该啤酒饮料与普通啤酒风味的相似度。

目前国内外的研究中,也有利用大麦进行下面发酵啤酒的酿造<sup>[4~5]</sup>,但口味较淡薄。而本研究从上面发酵的角度入手,利用2t中试设备分别进行100%大麦啤酒饮料上面发酵法和下面发酵法的生产,利用全自动啤酒分析仪检测其常规理化指标,利用高效液相和气相色谱检测其风味物质的变化,并对成品啤酒进行了感官品评,比较了两种生产方法的优劣。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料和试剂

大麦(山东莱莒麦芽厂),诺维信 Ondea Pro<sup>®</sup>酶(诺维信中国生物技术有限公司),4-乙烯基愈创木酚(4VG)以及葡萄糖、木糖、果糖、麦芽糖、麦芽三糖、异麦芽糖等标准品(sigma-aldrich 上海贸易有限公司),甲醇、磷酸等均为分析纯。

### 1.2 菌种

上面发酵菌株 W303-1A (*MAT $\alpha$* , *leu2-3/112*, *ura3-1*, *trp1-1*, *his3-11/15*, *ade2-1*, *can1-100*, *GAL*, *SUC2*, *mal0*)由德国慕尼黑 Doemens 啤酒学院提供,下面发酵菌株 CGMCC2.412 购自中国科学院普通微生物保藏中心。

### 1.3 仪器与设备

2t中试啤酒发酵设备,济南中德啤酒设备有限公

司;麦芽粉碎机 GD-5,山东泰安轻工机械有限公司;全自动啤酒分析仪,奥地利 Anton Paar 公司;LC-10AT 高效液相色谱仪,日本岛津;氨基酸分析仪,德国 sykam 公司;气相色谱仪,美国 Perkin Elmer 公司。

## 1.4 生产工艺

上面发酵法 100%大麦啤酒饮料的酿造工艺如下(两锅满罐):

粉碎:利用对辊粉碎机粉碎大麦,适当调整辊间距,要求麦皮破而不碎,胚乳尽可能碎。

糖化:保证料水比为1:3.5。充分搅拌,调整醪液pH值为5.7~6.0。连续搅拌下加入大麦质量0.2%比例的 Ondea Pro<sup>®</sup>酶。糖化温度变化见图1。

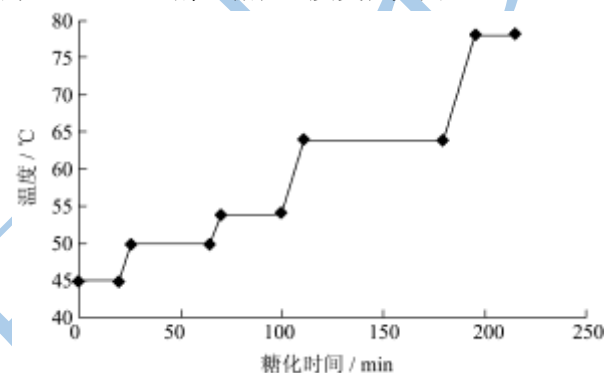


图1 100%大麦啤酒饮料糖化工艺曲线图

Fig.1 The mashing process profile of 100% barley beer

下料温度为45℃,保温20min,有利于酶的浸出;

升温至50℃,保温40min,有利于蛋白酶的作用;

升温至54℃,保温30min,有利于蛋白酶的作用,可以确保FAN在适宜的范围;

升温至64℃,保温70min,有利于 $\beta$ -淀粉酶的作用,提高麦汁中麦芽糖的含量;

升温至78℃,保温20min,有利于少量 $\alpha$ -淀粉酶的作用,碘检。

过滤:采用常规的回流时间和过滤速度;正常水量洗糟。

煮沸:混合麦汁浓度控制为9.5°P,煮沸90min后糖度约为10.0°P。酒花添加量根据计算确定。

冷却:接种上面发酵酵母W303-1A,冷却为16℃。

发酵:16℃发酵,约2d降糖至4.0°P左右,封罐。封罐后每天检测双乙酰含量,直至降到0.1mg/L。开始降温,首先降至4℃,维持24h后,再降至0~1℃。

成品啤酒:对成品啤酒进行取样,进行物理理化

指标分析, 气相风味物质分析, 并邀请国家级和省级评酒委员进行品评, 打分。

100%大麦啤酒饮料的下面发酵法酿造, 除采用下面发酵酵母和发酵温度不同之外, 其生产工艺与上面发酵法基本相同。其中, 下面发酵法的发酵温度为 8 °C, 糖度降至 4.0 °P 左右封罐, 约 7 d 后进行降温。

### 1.5 麦汁中糖类物质含量的测定<sup>[5-6]</sup>

采用日本岛津 LC-10AT 高效液相色谱仪, 预处理柱 C<sub>18</sub> 4.6 mm×26, 分析柱 Nucleosil 5 μm C<sub>18</sub> 4.6 mm×250, 柱温 30 °C, 流动相为重蒸水, 流量 1 mL/min, 抽滤后超声波除气。

### 1.6 啤酒中 4VG 含量的测定

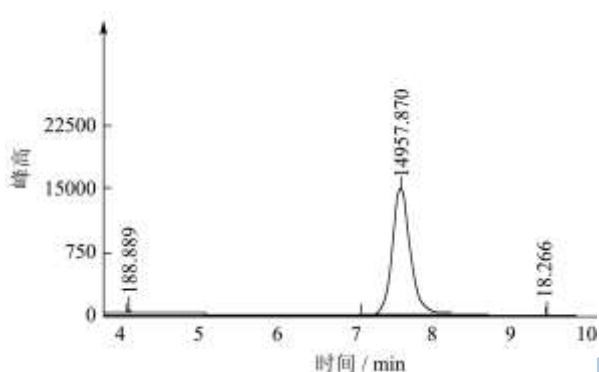


图 2 4VG 的标样谱图

Fig.2 The chromatogram of 4VG

根据 Shinohara 等人<sup>[7]</sup>描述的方法进行。采用日本岛津公司高效液相色谱仪 (HPLC), C<sub>18</sub> 柱子 150 mm×4.6 mm (no.6042278, Hitachi, Tokyo), 流动相 H<sub>2</sub>O/CH<sub>3</sub>OH/H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 比例为 599:400:1 (V/V/V), 流量 1 mL/min, 进样量 20 μL, 检测温度室温, 检测波长 230 nm。具体操作步骤为:

(1) 标准品的配备: 取标准品 4VG 20 μL, 定容于 50 mL 容量瓶中, 则标准品浓度为: 20 μL×1.1 g/mL÷50 mL=440 mg/L。

(2) 流动相的配备: 高纯水 149.75 mL, 甲醇 (色谱纯) 100 mL, 磷酸 (分析纯) 0.25 mL, 即高纯水、甲醇、磷酸的体积比为 599:400:1。将上述试剂依次进行抽滤, 混匀在一起。然后, 将配制好的流动相连容器放入超声波水槽中脱气 10~20 min。

(3) 注入标准品 4VG, 保留时间为 7~8 min, 如图 2 所示 (4VG 含量为 2.96 mg/L)。

(4) 不同浓度标样的配制: 取一定量的标准品 4VG, 用流动相进行稀释, 配制 5 个浓度 (见表 1), 并进样。进样速度为 1 mL/min, 紫外检测波长为 230 nm。

(5) 做回归方程: 依次将 5 个梯度进样, 所得谱图与标准品谱图比对, 记录峰高 (见表 1), 做出 4VG 含量与峰高的回归方程 (如图 3 所示)。

(6) 进啤酒样品: 分别用 0.45 μm 超滤膜将待检测啤酒样品过滤后, 放入超声波水槽中脱气 10~20 min。然后, 依次进样测 4VG 对应峰高, 根据回归方程计算 4VG 含量。

表 1 不同浓度 4VG 的配制

Table 1 The preparation of 4VG at different concentrations

| 序号 | 4VG 浓度 / (mg/L) | 配制方法                           | 峰高       |
|----|-----------------|--------------------------------|----------|
| 1  | 0.56            | 取 0.063 mL 标准品加入 49.937 mL 流动相 | 2568.44  |
| 2  | 1.11            | 取 0.125 mL 标准品加入 49.875 mL 流动相 | 5162.13  |
| 3  | 2.22            | 取 0.25 mL 标准品加入 49.75 mL 流动相   | 10028.45 |
| 4  | 2.96            | 取 0.33 mL 标准品加入 49.67 mL 流动相   | 13525.30 |
| 5  | 4.44            | 取 0.50 mL 标准品加入 49.50 mL 流动相   | 19332.02 |

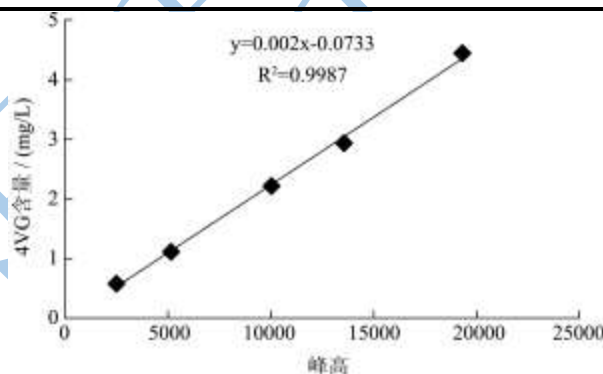


图 3 4VG 含量标准曲线

Fig.3 Standard curve of 4VG content

### 1.7 啤酒中风味物质含量的测定 (顶空气相色谱法)

采用美国 Perkin Elmer 公司气相色谱仪, 型号 AutoSystem XL, 氢火焰离子化检测器 FID, DM-5 石英毛细管柱 30×0.25。

啤酒样品的处理: 取啤酒样品 5 mL 倒入 20 mL 顶空进样瓶中, 加入 0.1 mL 内标溶液 (2000 mg/L), 加密封垫、铝盖压紧, 55 °C 水浴 15 min。放入进样托盘, 检测。

色谱条件: 起始温度 50 °C, 保持 2 min 后, 以 10 °C/min 升至 80 °C, 不保持, 再以 20 °C/min 升至 170 °C, 不保持。氮气流速 20 mL/min, 氢气流速 20 mL/min, 空气流速 240 mL/min, 进样量 0.5 μL。

对最终啤酒饮料样品取样分别测定三次。

### 1.8 啤酒理化指标的分析

利用 Anton Paar 全自动啤酒分析仪对啤酒样品进行理化指标分析。

### 1.9 啤酒的感官品评

将酿造的啤酒贮存于 5 °C，以准备品评。一组具有丰富品评经验的国家级和省级评酒委员对所酿啤酒进行感官品尝，对啤酒所体现出来的“头疼”感、酚香、酯香、口味、苦味以及后味等感官特性进行了打分评判，从 1 分到 5 分，分别代表从很差到很好<sup>[8]</sup>。样品分为两组，采用盲评法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 麦汁成分分析

利用 HPLC 分别对 100% 大麦麦汁（2 个批次，分别记为 1# 和 2#）进行了糖谱的测定，采用氨基酸测定仪进行氨基酸含量的测定，相关数据见表 2、表 3、表 4。

表 2 100% 大麦麦汁的糖类物质含量 (g/L)

| 样品编号 | 葡萄糖  | 木糖  | 果糖   | 麦芽糖   | 麦芽三糖  | 异麦芽糖 |
|------|------|-----|------|-------|-------|------|
| 1#   | 41.9 | 6.7 | 16.2 | 754.9 | 155.9 | 24.4 |
| 2#   | 21.1 | 2.4 | 22.5 | 744.8 | 190.4 | 18.9 |

表 3 100% 大麦麦汁的氨基酸组成

|             | 氨基酸       | 分子量    | 氨基酸含量/(mmol/L) |      |
|-------------|-----------|--------|----------------|------|
|             |           |        | 1#             | 2#   |
| A 组<br>快速吸收 | Asp 天门冬氨酸 | 133.13 | 0.44           | 0.39 |
|             | Ser 丝氨酸   | 105.11 | 1.14           | 0.97 |
|             | Glu 谷氨酸   | 147.12 | 0.46           | 0.45 |
|             | Arg 精氨酸   | 174.20 | 0.72           | 0.62 |
|             | Thr 苏氨酸   | 119.24 | 0.59           | 0.53 |
| B 组<br>中速吸收 | Lys 赖氨酸   | 146.19 | 0.38           | 0.35 |
|             | His 组氨酸   | 155.12 | 0.41           | 0.37 |
|             | Val 缬氨酸   | 117.10 | 0.97           | 0.92 |
|             | Met 蛋氨酸   | 149.24 | 0.26           | 0.25 |
|             | Ile 异亮氨酸  | 131.23 | 0.49           | 0.47 |
| C 组<br>慢速吸收 | Leu 亮氨酸   | 113.18 | 1.18           | 1.13 |
|             | Phe 苯丙氨酸  | 165.19 | 0.92           | 0.82 |
|             | Tyr 酪氨酸   | 181.23 | 0.66           | 0.53 |

从表 2 可以发现，尽管麦汁中葡萄糖含量比较低，低于标准麦汁糖谱中 10~15% 的比例<sup>[9]</sup>，容易造成酵母起发较慢。但麦芽糖含量要高于标准麦汁 50~60% 的含量<sup>[9]</sup>，如此保证了 100% 大麦麦汁的糖类物质含量并不会对后续的发醇过程造成明显影响。

在表 3 中，经计算得知，快速吸收氨基酸和中速吸收氨基酸占总氨基酸比例的 82% 以上，A 组快速吸收氨基酸的比例在 40% 以上，能够满足酵母自身生长和快速繁殖的需要；B 组中速吸收氨基酸在 35% 以上，能够为酵母合成醇类、酯类和酚类等风味物质提供足量的氮源，也可以保证蛋白质分子的合成，从而提高啤酒饮料的泡沫性能<sup>[10]</sup>。

表 4 100% 大麦麦汁的理化指标

Table 4 Physicochemical indices of 100% barley worts

| 项目/样品                          | 1#     | 2#     |
|--------------------------------|--------|--------|
| 原麦汁浓度/°P                       | 10.25  | 10.18  |
| 色度(EBC)                        | 8.00   | 8.00   |
| pH                             | 5.73   | 5.81   |
| 总酸/(10 <sup>-2</sup> mL/mL)    | 0.97   | 0.81   |
| 苦味质(EBC)                       | 13.12  | 11.90  |
| 浊度_90°(EBC)                    | 1.26   | 1.91   |
| 浊度_25°(EBC)                    | 4.89   | 3.52   |
| α-氨基氮/(mg/L)                   | 118.50 | 107.00 |
| 极限发酵度/%                        | 70.76  | 70.54  |
| 粘度/(mpa·s)                     | 1.42   | 1.37   |
| 可凝固性氮/(10 <sup>-2</sup> mg/mL) | 1.67   | 1.32   |
| 总氮/(10 <sup>-2</sup> mg/mL)    | 82.16  | 81.43  |
| 蛋白区分 A 区/%                     | 26.30  | 26.50  |
| 蛋白区分 B 区/%                     | 20.80  | 20.60  |
| 蛋白区分 C 区/%                     | 52.90  | 52.90  |
| β-葡聚糖/(mg/L)                   | 54.80  | 73.20  |

在表 4 中，大麦麦汁 α-氨基氮的含量稍低，而 α-氨基氮是酵母生长的主要营养物质，这在一定程度上也说明大麦啤酒饮料中酵母的活性会受到部分影响，也从侧面解释了其双乙酰还原速度较慢的原因。在 100% 大麦麦汁中 β-葡聚糖的含量较高，而 β-葡聚糖是决定麦汁粘度的重要指标，故在麦汁过滤时应注意调整过滤速度，防止糟层板结，避免造成麦汁过滤困难<sup>[9]</sup>。蛋白质区分中，A、B、C 区分别为高、中、低分子含氮物质<sup>[9]</sup>，A 区为 26%，能够保证啤酒饮料形成丰富的泡沫和醇厚的口感。B 区占 20% 左右，比标准 15% 偏高，能提高啤酒的“杀口力”，但也因此造成 C 区比例比正常的 60% 略低，对酵母的生长并不会明显的有影响的。

经过对 100% 大麦麦汁的糖谱、氨基酸以及蛋白质区分的分析，尽管葡萄糖含量较低（低于标准麦汁糖谱中 10~15% 的比例），会对酵母的起发速度造成一定的影响，但是麦芽糖含量要高于标准麦汁 50~60% 的含量、氨基酸组成和蛋白质区分都比较合理，足以抵消酵母起发慢对 100% 大麦啤酒饮料发酵造成的影

响。故整体而言,采用 100%大麦生产啤酒饮料的方案是可行的,这与王海明<sup>[4]</sup>、Elisabeth<sup>[5]</sup>等人的研究结果是一致的。

## 2.2 大麦啤酒饮料理化成分分析

分别对两种发酵方法的 100% 大麦啤酒饮料进行了理化指标(表 5)、常规风味物质分析(表 6),并补充了对特色风味物质 4VG 的检测。

表 5 上面发酵和下面发酵法 100%大麦啤酒饮料的理化指标

Table 5 Physicochemical indices of 100% barley beer brewed

| with top and bottom fermentation techniques |       |       |
|---|-------|-------|
| 项目/样品                                       | 上面发酵法 | 下面发酵法 |
| 色度(EBC)                                     | 5.50  | 5.20  |
| 真正浓度  | 3.31  | 3.46  |
| 酒精度(V/V)                                    | 4.61  | 4.30  |
| 原麦汁浓度/°P                                    | 10.39 | 10.35 |
| 苦味质(EBC)                                    | 13.27 | 12.71 |
| 总酸/(10 <sup>-2</sup> mL/mL)                 | 1.97  | 1.78  |
| pH  | 4.31  | 4.43  |
| 真正发酵度/%                                     | 69.40 | 64.20 |
| 外观糖度/°P                                     | 1.61  | 1.71  |

由表 5 可见,上面发酵法 100%啤酒饮料的真正发酵度更高,比下面发酵法提高了 8%左右,这是因为上面发酵法的发酵温度比较高,酵母主发酵过程能够发酵更多的糖类物质,从而造成其外观发酵度较低。

从表 6 可以看出,上面发酵法比下面发酵法有更高的酯类物质含量,如乙酸乙酯、乙酸异丁酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯、辛酸乙酯和癸酸乙酯等,能赋予啤酒浓郁的水果果香及令人愉悦的香气;而且上面发酵法比下面发酵法的醇类含量更高(也从另一方面证明了表 5 中上面发酵法比下面发酵法的酒精度含量高的事实),提高了酒体的醇厚性,因而酒体的香气和醇厚性极大地弥补了下面发酵啤酒口味淡薄的缺陷。尽管上面发酵法高级醇含量也有所提高,但是醇酯比仍然在 5 以下,故不会有“头疼”感<sup>[11~12]</sup>。从表 6 中还能发现上面发酵法产生的酸类物质含量比下面发酵法的高,因而上面发酵的啤酒饮料较爽口,可以弥补同浓度下面发酵啤酒口味较淡薄的缺陷。上面发酵法高温发酵有利于降低乙醛等生青味物质的产生,因而上面发酵法生产的啤酒饮料中乙醛含量比下面发酵法的略低,也有助于降低啤酒饮料的“头疼”感<sup>[11~12]</sup>。4VG 是上面发酵啤酒的特色风味物质,能为啤酒带来浓郁的丁香花味,从而赋予上面发酵啤酒以独特的酚香,也有利于弥补下面发酵啤酒的口味淡薄问题。

两种发酵方法生产的啤酒饮料具体感官评价见图

4。由图 4 可知,与下面发酵法相比,上面发酵法生产的啤酒饮料酚香和酯香要更加浓郁,明显弥补了下面发酵啤酒的口味淡薄问题,有利于提高该产品的市场竞争力。

表 6 上面发酵和下面发酵法 100%大麦啤酒饮料的风味物质分析

Table 6 Flavor substance analysis of 100% barley beer brewed with top and bottom fermentation techniques

| 风味物质  | 上面发酵法       | 下面发酵法       |
|-------|-------------|-------------|
| 乙醛    | 2.33±0.02   | 2.68±0.02   |
| 乙酸乙酯  | 16.05±0.07  | 10.71±0.06  |
| 乙酸异丁酯 | 0.18±0.01   | 0.08±0.01   |
| 正丙醇   | 15.44±0.03  | 10.50±0.04  |
| 异丁醇   | 33.52±0.03  | 22.27±0.04  |
| 乙酸异戊酯 | 2.74±0.04   | 1.93±0.06   |
| 异戊醇   | 80.23±0.56  | 69.79±0.09  |
| 己酸乙酯  | 0.10±0.01   | 0.03±0.00   |
| 辛酸乙酯  | 0.33±0.03   | 0.24±0.04   |
| 乙酸    | 165.20±0.02 | 102.80±0.76 |
| 癸酸乙酯  | 0.02±0.00   | 0.01±0.00   |
| 异戊酸   | 0.20±0.02   | 0.13±0.03   |
| 乙酸苯乙酯 | 0.28±0.03   | 0.12±0.02   |
| 己酸    | 2.33±0.02   | 1.65±0.05   |
| 苯乙醇   | 17.09±0.02  | 15.93±0.03  |
| 辛酸    | 3.04±0.02   | 2.18±0.04   |
| 癸酸    | 0.06±0.00   | 0.04±0.00   |
| 4VG   | 2.14±0.02   | 0.10±0.00   |

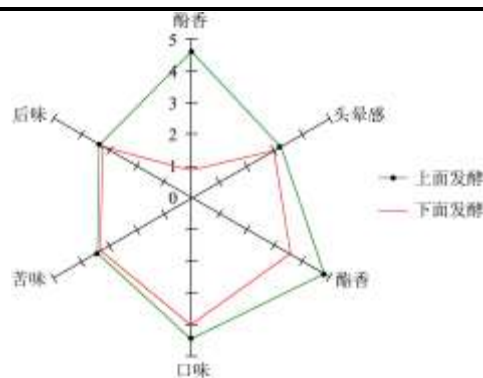


图 4 上面发酵和下面发酵酿造 100%大麦啤酒饮料的感官品评  
Fig.4 Sensory evaluation of 100% barley beer brewed with top and bottom fermentation techniques

## 3 结论

3.1 利用 ondea pro<sup>®</sup> 酶制备的 100%大麦麦汁,经过对其糖谱、氨基酸以及蛋白质区分的分析,证实其能够为酵母提供足够的营养成分,可以保证发酵过程的顺利进行,从而生产出令人满意的 100%大麦啤酒饮

料。

3.2 经过对 100% 大麦啤酒饮料两种发酵方法的对比, 可知上面发酵法有非常大的优势和特色, 即与下面发酵法相比, 上面发酵法生产的啤酒饮料酚香和酯香要更加浓郁, 明显弥补了下面发酵啤酒的口味淡薄问题, 有利于提高该产品的市场竞争力。

## 4 展望

4.1 由于上面酵母适宜的发酵温度较高 (可以在 15~25 °C 发酵), 故将煮沸后的麦汁 (约 98 °C) 进行冷却时, 要求的冷却温度也较高 (15~16 °C), 远远高于下面发酵的冷却温度 (6~9 °C), 能够显著降低麦汁冷却过程的制冷负荷, 经计算, 1000 L 麦汁冷却过程可以降低制冷负荷  $3 \times 10^4$  kJ。另外, 由于上面发酵法发酵温度较高, 双乙酰还原速度快, 啤酒成熟所需时间只有 7~8 d, 而传统下面发酵法约需要 16~20 d, 整个发酵周期也能节能 50%。如果再加上制麦和运输环节节省的能源消耗, 以及降低的二氧化碳排放量, 无疑将极大地提升啤酒企业的经济效益和社会效益, 并有利于环境保护。

4.2 通过添加特种麦芽或螺旋藻等提取液, 能够酿造出不同颜色的 100% 大麦啤酒饮料, 从而丰富 100% 大麦啤酒的花色品种, 更好地满足消费者求新求异的心理需求, 进一步提高企业的市场竞争力。

致谢: 本研究成果也得到了山东省高等学校优秀中青年骨干教师国际合作培养项目经费资助, 在此一并致谢。

## 参考文献

- [1] GB4927-2008. 中华人民共和国国家标准-啤酒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
- [2] 李慧敏, 李宏军, 刘秀华等. 上面发酵和下面发酵小麦啤酒发酵过程的差别研究[J]. 山东理工大学学报, 2012, 26(2): 41-44
- [3] 周春海. 小麦 $\beta$ -淀粉酶生产啤酒用糖浆糖化工艺条件的优化[J]. 现代食品科技, 2012, 28(3): 297-299
- [4] 王海明, 姜宏杰, 李久尊. 大麦啤酒的生产[J]. 酿酒科技, 2010, 192(6): 69-71
- [5] Elisabeth Steiner, Andrea Auer. Comparison of beer quality attributes between beers brewed with 100% barley malt and 100% barley raw material [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(4): 803-813
- [6] Schnitzenbaumer B, Kerpes R, Titze J, et al. Impact of various levels of unmalted oats (*Avena sativa* L.) on the quality and processability of mashes, worts, and beers [J]. Journal of American society of brewing chemists, 2012, 70(3): 142-149
- [7] Shinohara T, Kubodera S, Yanagida F. Distribution of phenolic yeasts and production of phenolic off-flavours in wine fermentation [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2000, 90(1): 90-97
- [8] CUI Yun-qian, CAO Xiao-hong, LI Shan-shan, et al. Enhancing the concentration of 4-vinylguaiacol in top-fermented beers- a review [J]. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2010, 68 (2): 77-82
- [9] 周广田, 聂聪, 崔云前, 等. 啤酒酿造技术[M]. 济南: 山东大学出版社, 2003: 138-143
- [10] Kunz T, Müller C, Mato-Gonzales D, et al. The influence of unmalted barley on the oxidative stability of wort and beer [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2012, 118(1): 32-39
- [11] 要永杰. 浅论啤酒的醇酯比[J]. 啤酒科技, 2007, 120(12): 19-20
- [12] 陈长毅. 影响啤酒中高级醇含量因素及其控制措施的探讨[J]. 现代食品科技, 2010, 26(12): 1370-1374