

高产 3-甲基丁醛乳酸乳球菌对切达干酪风味的影响

陈 臣, 田同辉, 周文雅, 于海燕, 袁海彬, 田怀香*

(上海应用技术大学香料香精化妆品学部 上海 201418)

摘要 为研究高产 3-甲基丁醛乳酸乳球菌 YN2-1 对切达干酪风味的影响,将其作为附属发酵剂加入切达干酪中,通过感官定量描述分析、气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)、气相色谱-离子迁移谱联用技术(GC-IMS)及电子鼻技术对比分析不同切达干酪样品的香气特征及其挥发性化合物的差异。首先在对样品的定量描述性分析和喜好度评价中发现,添加乳酸乳球菌 YN2-1 的切达干酪与未添加该菌的样品具有显著的香气差异,添加 YN2-1 的奶酪坚果风味、奶香味及肉汤风味香气强度更高,其喜好度得分也更高。经 GC-MS 测定发现:添加乳酸乳球菌 YN2-1 并成熟 60 d 和 120 d 的干酪样品中 3-甲基丁醛的含量分别为 18.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 13.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 显著高于对照组,表明该菌株在切达干酪中具有高产 3-甲基丁醛的特性。利用 GC-IMS 指纹图谱直观地区分添加乳酸乳球菌 YN2-1 的切达干酪与对照样品风味物质间的差异,其中 2,3-丁二酮、2-戊酮 D、2-壬酮、2-甲基丁醛、正丙醇、乙酸丁酯、丁酸丁酯、2,5-二甲基吡嗪、2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪等物质含量在成熟 60 d 或 120 d 的样品中显著增加。不同样品间电子鼻雷达图轮廓不重叠,判别因子(DFA)的区分度较高,表明添加 YN2-1 菌株的干酪样品与对照样品之间具有明显差异,验证了 GC-MS 与 GC-IMS 的分析结果。结论:该菌株的加入除了能够提高 3-甲基丁醛含量外,还有助于干酪中其它风味物质含量的增加,对切达干酪的坚果香、奶香及果香具有明显改善作用,具有良好的应用潜力。

关键词 切达干酪; 附属发酵剂; 气相色谱-质谱联用; 气相色谱-离子迁移谱; 电子鼻

文章编号 1009-7848(2023)11-0276-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.11.027

切达干酪是一种内部成熟的硬质干酪^[1],是目前世界上消费量最大的干酪品种,同时也是我国进口最多的干酪品种^[2-3]。因其含有大量的酪蛋白和多种人体必需氨基酸、维生素等营养物质且具有浓郁的坚果风味而受到大众的广泛欢迎^[4-6]。

风味是影响消费者对干酪喜好程度的重要因素^[7]。对于干酪生产商而言,根据消费者的喜好,关注他们对于干酪的质量和风味的需求至关重要^[8]。附属发酵剂是可应用于干酪生产并能够提高干酪风味品质的一类微生物^[9-10],是干酪成熟过程中风味形成的主要贡献者^[1]。不同附属发酵剂菌株对于干酪的风味影响也有所差异。Drake 等^[11]将瑞士乳杆菌 WSU19 作为附属发酵剂添加到低脂切达干酪中,其橡木香气与坚果香气强度相较于未添加该菌株的干酪样品更高而苦味较低。宋云花等^[12]研究发现,添加附属发酵剂菌株——嗜热链球菌 H069-B-01 后切达干酪的水果风味强度有所增加。选择合适的附属发酵剂菌株,研究其对切达干酪风味

的影响,对于干酪风味改良具有重要意义。

虽然气相色谱-质谱联用技术(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)常用于香气物质检测,但是存在一定的局限性,例如对于一些含量低的香气活性物质检测能力有限,且无法直观地区分样品间的差异。此外,样品的预处理及检测时间限制了该技术的应用^[13]。基于此,一些新兴技术,例如气相色谱-离子迁移谱(Gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)和电子鼻等已逐步应用于食品风味的检测^[14]。GC-IMS 无需对样品进行预处理且操作简单、检测速度快、灵敏度高^[15],已在多种食品的风味检测中证明了该技术的高效性^[16-17]。电子鼻通过模仿人类嗅觉感知达到识别并分类样品中挥发性化合物的目的,能够实现样品的快速检测^[18]。GC-MS、GC-IMS 与电子鼻技术相结合可综合各技术的优点,从而达到快速、准确区分样品间差异的目的^[19-20]。

3-甲基丁醛是在切达干酪中提供坚果风味的关键香气化合物之一^[5]。本实验室前期筛选出 1 株在氨基酸培养基中具有高产 3-甲基丁醛能力的乳酸乳球菌 YN2-1(以下简称 YN2-1)^[21]。本研究将 YN2-1 作为附属发酵剂制备切达干酪,首先采

收稿日期: 2022-11-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31972197)

第一作者: 陈臣,男,博士,教授

通信作者: 田怀香 E-mail: tianhx@sit.edu.cn

用感官定量描述分析对干酪样品进行评价,使用 GC-MS 检测添加 YN2-1 的切达干酪及未添加该菌的干酪中 3-甲基丁醛含量,而后用 GC-IMS 检测各干酪样品中的挥发性风味化合物,最后采用电子鼻技术对不同切达干酪样品进行区分及验证,并结合判别因子分析(Discriminant factor analysis, DFA),解析干酪样品间挥发性组分的差异,探究乳酸乳球菌 YN2-1 对切达干酪风味的影响,为开发更适合我国消费者口味的原制切达干酪,促进我国干酪产业发展提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

生鲜牛乳,光明乳业有限公司;发酵剂 M14,法国丹尼斯克有限公司;凝乳酶 MT2200,美国国际香精香料公司;乳酸乳球菌 YN2-1,筛选自中国云南的乳扇酸乳清,已证实其具有高产 3-甲基丁醛的能力以及良好的耐盐性和耐酸性,现保存于上海应用技术大学产香菌种质资源库;内标物 2-辛醇(20 mg/L)、标准品 3-甲基丁醛(色谱纯)及正构烷烃(C6~C30,色谱纯),美国 Sigma-Aldrich Chemical 公司。

1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪(GC-MS 7890-5975),美国 Agilent 科技有限公司;Flavour Spec®气相色谱-离子迁移色谱联用仪,德国 G.A.S 公司;HER-ACLES II 快速气相色谱型电子鼻,法国 Alpha MOS 公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头,美国 Supelco 公司;DC1741 型干酪小型制备机,上海承欢轻工机械有限公司;PT-20C 型微型杀菌机,上海沃迪智能装备股份有限公司;EMS-10S 型恒温水浴锅,常州市人和仪器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 附属发酵剂的制备 将乳酸乳球菌 YN2-1 在脱脂乳培养基中连续 3 次传代活化后离心(5 000 r/min, 4 $^{\circ}\text{C}$, 10 min),去除上清液,菌泥用灭菌生理盐水洗涤并离心(5 000 r/min, 4 $^{\circ}\text{C}$, 10 min) 2 次。随后,用灭菌生理盐水调整菌液浓度为 1.0×10^9 CFU/mL,置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保藏待用(为保证菌体存活率,菌液准备过程与牛乳接菌发酵步骤紧密衔接)。

1.3.2 切达干酪的制备 取生鲜牛乳 150 L,灌入杀菌机进行巴氏杀菌(75 $^{\circ}\text{C}$, 15 s)。将巴氏杀菌后的牛乳冷却至 31 $^{\circ}\text{C}$ 后导入干酪罐中,加入发酵剂 M14(1%,质量分数)及附属发酵剂(菌液浓度 1×10^9 CFU/mL,加入量 0.8%,体积分数),30 $^{\circ}\text{C}$ 熟化 30 min,待牛乳 pH 值下降约 0.4 时加入凝乳酶 MT2200(1.5%,质量分数)进行凝乳,该过程持续 40 min 后切割凝乳,然后以 1 $^{\circ}\text{C}/5$ min 的升温速率将牛乳温度升至 38 $^{\circ}\text{C}$,达到预定温度后排乳清操作,在此过程中温度始终保持 38 $^{\circ}\text{C}$ 。随着酸度的上升,凝乳凝结成块,将其切割成边长 30 cm 的方块,堆酿处理,每隔 15 min 翻转 1 次。将堆叠的凝乳块切成 1 cm^3 的方块,均匀地将食盐(2.5%,质量分数)撒到凝乳块上,翻拌均匀后入模型压榨成型,真空包装,于 10 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中成熟(该温度有利于加快干酪的成熟)^[22-24]。分别在成熟 0, 60 d 和 120 d 时取样,样品编号为 YN 0 d、YN 60 d、YN 120 d。以不添加附属发酵剂且成熟相同时间的切达干酪为对照组,编号为 KB 0 d、KB 60 d、KB 120 d。

1.3.3 感官评价 采用定量描述感官评价法对切达干酪样品进行感官分析。评价小组由 12 名成员组成,包括 6 名男性和 6 名女性成员,平均年龄 24 岁。感官评价在标准感官实验室进行。试验前依据 ISO 4121 标准对所有评价人员进行专业感官培训。分别取 6 个切达干酪样品各 20 g 于棕色不透明玻璃瓶中,60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴加热 30 min,用 3 位随机数字编码后以随机顺序呈递给感官评价人员进行感官品评。结合已有的研究基础^[7,25]以及感官评价人员的感官描述,经感官小组成员讨论后筛选本实验所用切达干酪样品的 10 个感官描述词及其相应的香气参考物(见表 1),并要求感官评价人员对切达干酪样品香气的喜好度进行打分。评价结果采用 9 分制(1 分:极微弱/极讨厌;3 分:弱/比较讨厌;5 分:中等/既不讨厌也不喜欢;7 分:强/比较喜欢;9 分:极强/极喜欢)。每个样品重复评价 3 次,记录每位评价人员的评分结果,最后取平均值即香气强度值。

1.3.4 气相色谱-质谱联用分析 采用顶空固相微萃取结合气-质谱联用的方法分析不同切达干酪样品中的香气成分。称取 3.0 g 研碎的干酪样品于 20 mL 顶空瓶中,加入内标物(2-辛醇,20 mg/

表1 感官评价描述词及其定义或相应参考物

Table 1 Sensory evaluation descriptors and their definitions or corresponding references

感官描述词	参考物
奶香味	鲜牛乳
坚果味	无盐生坚果
肉汤味	牛肉汤
乳清味	新鲜乳清
水果味	0.1%己酸乙酯水溶液
硫味	煮熟并捣碎的鸡蛋
酸味	0.08%柠檬酸水溶液
腐臭味	0.05%丁酸水溶液
酒香味	30%乙醇水溶液

L)100 μ L。用聚四氟乙烯硅胶垫密封后于 60 $^{\circ}$ C 水浴条件下平衡 5 min, 将萃取头 (50/30 μ m, DVB/CAR/PDMS) 插入顶空瓶中萃取 30 min, 等待进样。

色谱柱采用 HP-Innowax (60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m); 载气为氦气, 流速 1 mL/min。升温程序: 在 40 $^{\circ}$ C 下保持 4 min, 以 3 $^{\circ}$ C/min 升至 100 $^{\circ}$ C, 保持 2 min, 以 4 $^{\circ}$ C/min 升至 150 $^{\circ}$ C, 再以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 230 $^{\circ}$ C, 保持 5 min。进样口温度 250 $^{\circ}$ C。MS 条件: 电子轰击离子源, 电离能量 70 eV; 离子源温度 230 $^{\circ}$ C, 接口温度 250 $^{\circ}$ C, 四级杆温度 150 $^{\circ}$ C。扫描模式为全扫描, 质量扫描范围 m/z 30~450。各样品均做 3 次平行测定。

定性、定量分析: 通过与 NIST17 谱库比较, 同时根据相同色谱条件下 C6~C30 正构烷烃的保留时间计算检测物质的保留指数 (RI), 并与文献[26]报道的 RI 值进行比对定性。通过建立不少于 5 点的标准曲线 ($y=1.96x+0.0883, R^2=0.99$) 对 3-甲基丁醛进行定量。

1.3.5 气相离子迁移色谱分析 分别称取 3.0 g 切碎的切达干酪样品, 置于 20 mL 顶空进样瓶中, 密封, 以 500 r/min 的孵化转速在 60 $^{\circ}$ C 条件下孵育 10 min, 然后, 通过 1 mL 气密加热注射器 (85 $^{\circ}$ C) 将 100 μ L 顶空气体自动注入进气口。色谱柱型号为 MTX-5 (柱长 15 m, 内径 0.53 mm, 膜厚 1.0 μ m, 美国 RESTEK 公司), 柱温 60 $^{\circ}$ C, 载气为氮气 (纯度 $\geq 99.999\%$)。流量程序设定: 初始流速 2 mL/min, 保持 2 min, 然后在 18 min 内流速线性升

至 100 mL/min, 并保持在 100 mL/min, 直至 30 min 止。IMS 温度 45 $^{\circ}$ C, 漂移气体的流速 150 mL/min。对每个样品做 3 次平行分析。

1.3.6 电子鼻分析 称取切达干酪样品各 3.0 g, 装入 20 mL 顶空进样瓶中, 置于电子鼻样品盘, 待测。测定条件: 采用顶空自动进样, 进样量 5 000 μ L, 注射速度 125 μ L/s, 孵育温度 70 $^{\circ}$ C, 孵育时间 30 min, 捕集阱捕集温度 50 $^{\circ}$ C, 捕集时间 50 s, 分流 10 mL/min, 柱温箱初始炉温 50 $^{\circ}$ C, 等温线 250 $^{\circ}$ C, 检测器温度 260 $^{\circ}$ C, 增益 12, 偏移量 1 000。每个样品做 3 次平行测定。

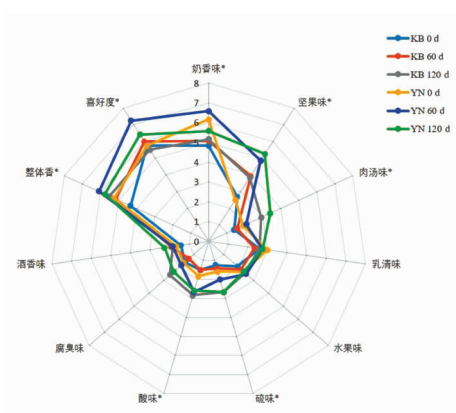
1.4 数据处理

使用 LAV 软件 (laboratory analytical viewer 2.2.1)、Reporter 插件、Gallery Plot 插件和 Dynamic PCA 插件以及 GC \times IMS Library Search 处理 GC-IMS 数据, 采用电子鼻内置程序 (Winmuster, version 1.6.2) 进行电子鼻数据处理与分析, 数据用 IBM SPSS Statistics 21.0 软件进行单因素方差分析 (ANOVA), 用 Duncan's 多重比较评定样品间的差异性, 当 $P < 0.05$ 时具有显著性差异。采用 Origin Pro 9.0 对试验数据作图。

2 结果与分析

2.1 感官评价结果

采用定量描述感官评价法对不同切达干酪样品的 10 种香气及喜好度进行评价, 感官评价结果的雷达图如图 1 所示。不同切达干酪样品在喜好度、整体香、奶香味、坚果味、肉汤味、硫味以及酸味属性上的香气强度均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。香气喜好度和整体香气强度最高的两个切达干酪样品为 YN 60 d 和 YN 120 d, 表明添加乳酸乳球菌 YN2-1 作为附属发酵剂可提高人们对切达干酪的喜爱程度。其中成熟 120 d 的添加 YN2-1 菌株的切达干酪的坚果味和肉汤味显著高于其它干酪样品, 成熟 60 d 的添加 YN2-1 的样品的坚果味香气强度超过未添加附属发酵剂的成熟 120 d 的样品, 表明 YN2-1 菌株可在切达干酪成熟过程中产生较多具有坚果味香气的挥发性化合物。与不添加附属发酵剂 YN2-1 的切达干酪相比, 添加附属发酵剂的 3 个成熟度的干酪样品的奶香味均高于前者。此外, 随成熟时间的延长, 切



注:*表示存在显著性差异($P < 0.05$)。

图 1 不同切达干酪样品的感官评价雷达图

Fig.1 Sensory evaluation radar chart of different cheddar cheese samples

达干酪的硫味更加明显。两个成熟 120 d 的切达干酪样品的硫味均高于其它组别,这可能是导致感官评价员对 YN 120 d 样品的喜好程度次于 YN 60 d 的原因之一。综上所述,添加 YN2-1 的样品的坚果味、奶香味、肉汤味香气强度均高于对照组,同时其喜好度得分也较高,表明乳酸乳球菌 YN2-1 对切达干酪中优良香气的提升效果明显。

表 2 不同切达干酪样品中 3-甲基丁醛含量

Table 2 3-Methylbutyraldehyde content in different cheddar cheese samples

化合物	含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$					
	KB 0 d	KB 60 d	KB 120 d	YN 0 d	YN 60 d	YN 120 d
3-甲基丁醛	ND	6.09 ± 0.16^c	ND	ND	18.43 ± 0.18^a	13.96 ± 0.23^b

注:ND 表示该物质未被检出;不同字母表示样品间的 3-甲基丁醛含量存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.3 GC-IMS 分析结果

2.3.1 不同切达干酪样品的气相离子迁移谱图分析

为探究添加 YN2-1 对切达干酪中除 3-甲基丁醛外的其它挥发性风味化合物的影响,采用 GC-IMS 对不同奶酪样品进行风味分析。不同切达干酪样品中挥发性化合物的 GC-IMS 三维谱图见图 2a,不同切达干酪样品中的挥发性化合物种类和峰值强度均有所不同。为比较不同干酪样品间的差异,结合二维俯视对比图来分析样品间的挥发性化合物见图 2b,以成熟 0 d 的未添加附属发酵剂干酪作参比,若某物质的浓度高于参比样品,则为红色,颜色越深该物质含量越高;低于参比,则为蓝色;颜色越深该物质含量低于参比样品

2.2 GC-MS 分析结果

为探究添加 YN2-1 菌株对切达干酪中 3-甲基丁醛含量的影响,采用 GC-MS 分析不同切达干酪样品中的 3-甲基丁醛,确定 3-甲基丁醛在不同切达干酪样品中的含量,结果见表 2。其中 KB 0 d 和 YN 0 d 2 个样干酪品未经发酵和成熟,干酪中的 3-甲基丁醛尚未由氨基酸转化而成或含量极低,从而导致 3-甲基丁醛未达到仪器的检出限。根据检测结果,成熟 60 d 时添加 YN2-1 的样品(YN 60 d)中 3-甲基丁醛含量是未添加该菌株样品(KB 60 d)的 3 倍以上,这表明添加 YN2-1 菌株可有效提高切达干酪中 3-甲基丁醛含量。3-甲基丁醛通常在成熟干酪中贡献坚果香气或巧克力香气^[27],该结果可以解释图 1 中样品 YN 60 d 的坚果风味香气强度得分较高的原因。由于醛类化合物在干酪中随成熟时间的延长而转化为醇类以及相应的酸类^[3],因此在 KB 120 d 中未检出 3-甲基丁醛,这也是 YN 120 d 中 3-甲基丁醛含量低于 YN 60 d 的原因,此研究结果与切达奶酪相关研究报道^[3,27]一致。

越多。在相同成熟时间条件下,添加附属发酵剂——乳酸乳球菌 YN2-1 的切达干酪中部分挥发性化合物的含量高于未添加 YN2-1 的干酪。随着成熟时间的延长,干酪中挥发性化合物的种类及含量也有所变化,其中成熟 120 d 的添加 YN2-1 菌株的切达干酪挥发性化合物的种类最多且含量最高。

2.3.2 不同切达干酪样品挥发性化合物分析

采用 IMS 数据库和 GC×IMS Library Search 内置的 NIST 数据库,根据保留时间、离子迁移时间和保留指数对不同切达干酪样品中挥发性化合物进行分析。在 6 个干酪样品中共检出挥发性化合物 62 种(含二聚体),其中酮类物质 15 种、醛类物质 11

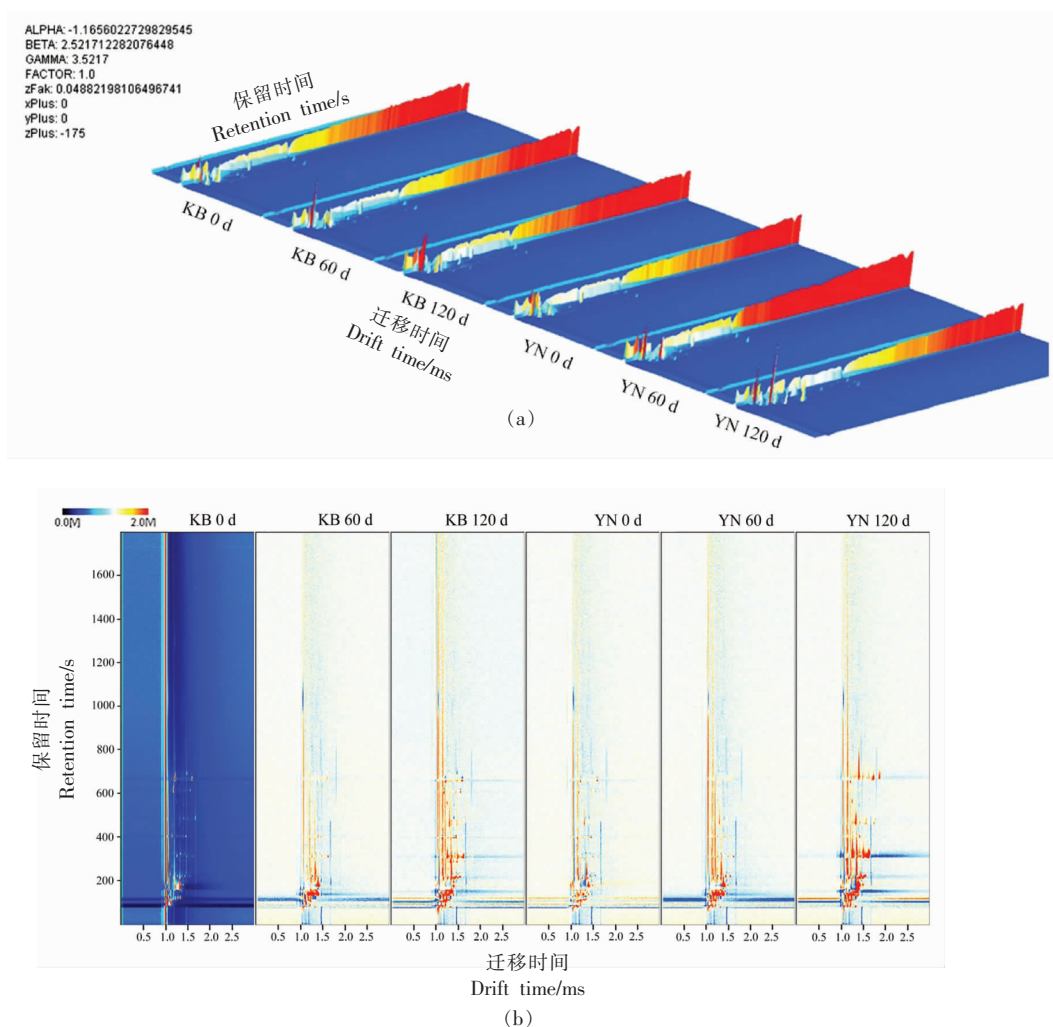


图2 不同切达干酪样品中挥发性有机物的GC-IMS三维谱图(a)及二维(b)对比图

Fig.2 GC-IMS 3D (a) spectra and 2D (b) comparison of volatile organic compounds in different cheddar cheese samples

种、醇类物质 12 种、酸类物质 5 种、酯类物质 9 种、吡嗪类物质 3 种、含硫化合物 2 种、未知物质 5 种。通过不同切达干酪样品中挥发性化合物的指纹图谱分析(图 3)可直观呈现各挥发性化合物在不同样品中的差异(颜色越深、越红,该物质的含量越高)。结合表 3 和图 3 分析,发现在添加 YN2-1 的干酪样品中检测到的挥发性化合物种类多,且随成熟时间的延长各样品中挥发性化合物的种类也增加,同时其含量也有所变化。此外,不同成熟时间的 YN2-1 干酪与空白对照组的挥发性化合物均存在显著差异,成熟 60 d 和 120 d 时差异尤为明显。

在成熟 60 d 时,在添加 YN2-1 菌株的切达干酪中 3-甲基丁醛含量显著高于对照样品,表明

YN2-1 菌株在切达干酪中产 3-甲基丁醛能力强,同时验证了 2.2 节中 GC-MS 的检测结果。此外,YN 60 d 中的 2,3-丁二酮、丁醛 M、2-甲基丁醛、正戊醛、正丙醇、正庚醇、3-甲基丁酸、乙酸丁酯等物质的含量较成熟 0 d 时增加明显,且显著高于成熟 60 d 的未添加附属发酵剂干酪。在这些显著增加的物质中,2,3-丁二酮主要由柠檬酸进一步代谢形成,具有奶香味^[28-29];2-甲基丁醛的香气贡献同 3-甲基丁醛类似,主要由氨基酸代谢形成,赋予切达干酪以可可和坚果类香气^[6];乙酸丁酯主要来源于成熟过程中发生的酯化反应,可使切达干酪具有类似梨子味的水果香气^[29]。3-甲基丁酸来源于异戊醇或异戊醛的氧化,有一定的异味,然而干酪中含有的正丙醇可以抑制酸类物质所带来

表 3 不同切达干酪样品中的挥发性化合物
Table 3 Volatile compounds in different cheddar cheese samples

序号	化合物名称	香气特征	保留指数	保留时间/s	信号响应强度						
					迁移时间/ms	KB 0 d	KB 60 d	KB 120 d	YN 0 d	YN 60 d	YN 120 d
醇类 15 种											
1	苯乙醇	花香、杏仁	1 068.7	620.541	1.1846	726.67 ± 46.69 ^e	678.33 ± 23.18 ^{ab}	672.67 ± 10.5 ^b	697.33 ± 13.5 ^b	649.67 ± 15.5 ^a	684.67 ± 3.79 ^{abc}
2	丙酮	苹果、梨	504.5	91.120	1.1369	1 244.00 ± 118.50 ^a	1 341.33 ± 44.05 ^{ab}	1 236.00 ± 111.49 ^a	1 439.33 ± 90.96 ^b	1 736.67 ± 166.90 ^c	1 736.33 ± 18.01 ^c
3	羟基丙酮	焦糖	676.6	146.809	1.2253	127.67 ± 11.93 ^a	234.00 ± 64.21 ^b	249.33 ± 11.5 ^b	155.33 ± 32.13 ^a	265.33 ± 31.18 ^b	257.33 ± 3.21 ^b
4	2-丁酮 D	果香	589.7	116.833	1.2433	438.00 ± 130.30 ^a	608.33 ± 192.66 ^a	1 456.33 ± 143.57 ^c	519.00 ± 142.4 ^a	613.00 ± 114.95 ^a	910.00 ± 72.13 ^b
5	2-丁酮 M	果香	595.5	118.588	1.0643	647.00 ± 81.28 ^a	514.00 ± 47.79 ^a	600.67 ± 23.25 ^{bc}	617.67 ± 12.58 ^{bc}	508.67 ± 31.94 ^a	537.67 ± 28.01 ^{ab}
6	2,3-丁二酮	黄油	579.7	113.818	1.1752	401.00 ± 69.22 ^a	726.33 ± 54.05 ^b	893.00 ± 67.73 ^c	469.33 ± 87.18 ^a	985.33 ± 69.64 ^c	760.33 ± 17.67 ^b
7	乙偶姻 M	黄油、奶油	748.4	187.803	1.0753	1 058.67 ± 17.62 ^f	967.67 ± 33.13 ^d	878.00 ± 4.00 ^a	908.00 ± 31.22 ^c	805.00 ± 20.66 ^b	655.00 ± 41.33 ^a
8	乙偶姻 D	黄油、奶油	733.8	177.865	1.3283	2 853.67 ± 11.85 ^a	2 901.67 ± 8.50 ^a	2 686.33 ± 28.04 ^a	2 597.67 ± 42.55 ^c	2 866.00 ± 24.02 ^a	1 320.33 ± 458.3 ^b
9	2-戊酮 M	香蕉	680.9	148.702	1.1242	422.33 ± 29.02 ^a	507.00 ± 25.63 ^{bc}	739.67 ± 9.02 ^c	481.67 ± 88.37 ^{ab}	568.33 ± 27.79 ^{cd}	615.67 ± 13.61 ^d
10	2-戊酮 D	香蕉	682.7	149.520	1.3677	141.33 ± 7.02 ^a	409.67 ± 83.93 ^b	2 074.67 ± 136.39 ^f	171.33 ± 7.51 ^a	442.67 ± 79.35 ^b	3 659.67 ± 42.55 ^d
11	2-庚酮 M	椰子	886.5	311.475	1.2609	299.67 ± 10.97 ^a	396.67 ± 33.5 ^b	754.00 ± 3.61 ^c	303.33 ± 8.62 ^a	376.67 ± 18.01 ^b	871.00 ± 15.39 ^d
12	2-庚酮 D	椰子	886.0	310.968	1.6248	140.33 ± 9.45 ^a	284.33 ± 15.53 ^b	1 049.33 ± 17.21 ^e	147.00 ± 7.94 ^a	277.00 ± 13.00 ^b	2 672.33 ± 40.50 ^d
13	2-辛酮	泥土、草本	995.6	467.531	1.3304	74.67 ± 3.06 ^a	105.33 ± 17.04 ^b	94.33 ± 2.31 ^b	70.67 ± 1.15 ^a	90.00 ± 10.00 ^b	261.00 ± 1.00 ^c
14	3-辛酮	草本、薰衣草	991.9	460.998	1.3045	98.33 ± 8.08 ^a	112.00 ± 4.36 ^b	188.33 ± 7.37 ^f	149.33 ± 2.31 ^d	148.33 ± 5.86 ^d	131.67 ± 8.33 ^c
15	2-壬酮	泥土	1 091.1	671.685	1.8698	87.67 ± 2.08 ^a	86.33 ± 0.58 ^a	85.33 ± 0.58 ^a	87.33 ± 1.53 ^a	86.33 ± 0.58 ^a	318.33 ± 10.69 ^b
醛类 11 种											
16	苯甲醛	杏仁	956.1	401.744	1.1466	891.00 ± 74.59 ^a	825.33 ± 27.57 ^{ab}	801.33 ± 11.72 ^a	871.00 ± 5.57 ^{bc}	790.67 ± 18.61 ^a	844.67 ± 8.33 ^{abc}
17	苯乙醛	青草	1 040.1	557.083	1.2573	85.67 ± 3.79 ^a	120.67 ± 12.58 ^b	171.00 ± 6.08 ^c	82.33 ± 2.08 ^a	116.00 ± 5.57 ^b	165.33 ± 7.23 ^c
18	2-甲基丙烯醛	绿叶	584.0	115.110	1.2193	429.00 ± 33.00 ^a	516.00 ± 14.00 ^{bc}	739.67 ± 9.02 ^e	483.33 ± 90.74 ^{ab}	571.33 ± 22.74 ^{cd}	604.67 ± 26.50 ^d
19	丁醛 M	可可、巧克力	623.6	127.288	1.1141	211.33 ± 20.11 ^a	276.33 ± 44.77 ^b	226.00 ± 16.70 ^{ab}	211.00 ± 26.29 ^a	387.00 ± 52.92 ^c	235.33 ± 19.66 ^{ab}
20	丁醛 D	可可、巧克力	601.1	120.278	1.2881	832.00 ± 168.59 ^b	564.00 ± 85.44 ^a	768.33 ± 3.21 ^b	860.33 ± 125.48 ^b	698.33 ± 56.52 ^{ab}	725.00 ± 49.87 ^{ab}
21	2-甲基丁醛	坚果、麦芽	658.0	139.228	1.4010	62.00 ± 1.00 ^a	916.67 ± 121.08 ^b	121.67 ± 4.51 ^a	107.33 ± 3.51 ^a	1 212.67 ± 326.12 ^c	148.33 ± 10.79 ^a
22	3-甲基丁醛	坚果、巧克力	665.5	142.174	1.1852	241.67 ± 16.86 ^a	681.33 ± 16.62 ^c	441.00 ± 23.58 ^d	377.00 ± 20.00 ^d	846.33 ± 38.18 ^b	618.33 ± 28.94 ^f
23	正戊醛	面包、坚果	732.3	176.934	1.4052	195.00 ± 7.94 ^a	805.00 ± 36.43 ^d	397.33 ± 4.51 ^b	555.00 ± 59.81 ^c	1 032.67 ± 33.5 ^f	880.67 ± 47.08 ^c
24	正庚醛	草本	896.4	322.757	1.3406	276.00 ± 18.25 ^d	201.67 ± 14.84 ^{ab}	209.33 ± 13.32 ^{bc}	234.00 ± 17.35 ^c	180.00 ± 6.56 ^a	221.33 ± 3.06 ^{bc}
25	正辛醛	脂肪、草本	1 001.2	478.002	1.4114	156.33 ± 8.33 ^f	128.67 ± 4.62 ^{bc}	124.67 ± 5.13 ^{ab}	135.67 ± 5.13 ^{cd}	116.67 ± 4.62 ^a	144.67 ± 3.21 ^d
26	壬醛	玫瑰	1 099.7	691.631	1.4788	209.00 ± 7.00 ^a	193.33 ± 7.77 ^{bc}	170.00 ± 15.52 ^a	203.00 ± 19.16 ^c	180.67 ± 7.77 ^{ab}	192.67 ± 3.06 ^{bc}
醇类 12 种											
27	正丙醇	发酵、霉味	548.5	104.402	1.1189	401.00 ± 69.22 ^a	726.33 ± 54.05 ^b	893.00 ± 67.73 ^c	469.33 ± 87.18 ^a	985.33 ± 69.64 ^c	760.33 ± 17.67 ^b
28	异丁醇 M	葡萄酒	635.1	131.045	1.1721	194.00 ± 7.00 ^a	382.00 ± 29.82 ^c	534.67 ± 12.86 ^e	277.00 ± 14.42 ^b	454.33 ± 27.57 ^d	819.67 ± 12.70 ^f
29	异丁醇 D	葡萄酒	629.9	129.322	1.3678	62.00 ± 1.73 ^a	141.33 ± 20.60 ^c	92.67 ± 2.52 ^b	82.67 ± 3.21 ^b	148.67 ± 4.04 ^c	210.67 ± 10.97 ^d
30	2,3-丁二醇	水果、黄油	791.3	220.715	1.3643	173.33 ± 4.04 ^b	117.33 ± 14.43 ^a	212.67 ± 1.15 ^c	171.33 ± 2.31 ^b	140.33 ± 42.77 ^{ab}	158.33 ± 10.97 ^b
31	2-甲基-1-丁醇	葡萄酒、麦芽	794.1	223.003	1.4646	93.33 ± 4.16 ^a	120.67 ± 27.57 ^b	212.67 ± 5.51 ^d	113.00 ± 2.00 ^{ab}	162.67 ± 14.47 ^c	358.67 ± 11.68 ^c
32	3-甲基-1-丁醇	威士忌	740.4	182.281	1.4997	52.33 ± 0.58 ^a	55.67 ± 4.73 ^a	55.33 ± 1.15 ^a	60.67 ± 1.53 ^a	74.00 ± 6.56 ^a	183.00 ± 81.96 ^b

醇 M

(续表 3)

序号	化合物名称	香气特征	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms	信号响应强度					
						KB 0 d	KB 60 d	KB 120 d	YN 0 d	YN 60 d	YN 120 d
33	3-甲基-1-丁醇	威士忌	717.8	167.885	1.2314	167.00 ± 7.00 ^a	191.33 ± 19.55 ^{ab}	212.67 ± 6.51 ^b	210.33 ± 16.07 ^b	278.67 ± 20.26 ^d	242.33 ± 12.42 ^e
醇 D											
34	正己醇	果香、甜香	866.2	289.612	1.3245	140.67 ± 8.96 ^{ab}	165.67 ± 18.45 ^b	292.67 ± 4.16 ^d	126.00 ± 2.00 ^b	212.00 ± 30.51 ^b	121.33 ± 2.08 ^a
35	正庚醇	草本、木质	956.9	403.003	1.3963	151.00 ± 4.00 ^b	199.00 ± 27.22 ^d	159.33 ± 5.77 ^c	119.67 ± 7.64 ^{ab}	246.00 ± 33.51 ^f	105.67 ± 17.79 ^a
36	2-庚醇	果香、花香	904.7	332.555	1.3666	230.67 ± 23.46 ^c	173.00 ± 23.81 ^{ab}	205.67 ± 12.66 ^{bc}	181.33 ± 19.5 ^{ab}	158.67 ± 14.19 ^a	249.67 ± 5.51 ^d
37	糠醇 M	焦糖、面包	806.5	233.493	1.1090	181.00 ± 2.00 ^f	145.67 ± 6.11 ^c	138.67 ± 1.53 ^b	153.67 ± 2.89 ^d	143.00 ± 1.73 ^{bc}	132.67 ± 1.53 ^a
38	糠醇 D	焦糖、面包	807.9	234.638	1.3574	154.67 ± 3.79 ^a	291.33 ± 89.00 ^b	265.67 ± 7.51 ^b	192.33 ± 3.51 ^a	268.67 ± 38.00 ^b	371.67 ± 24.50 ^e
酸类 5 种											
39	正丁酸	腐臭、汗水	776.8	209.002	1.1704	227.33 ± 50.85 ^a	259.33 ± 22.74 ^{ab}	571.00 ± 62.23 ^c	534.33 ± 45.24 ^c	385.33 ± 4.16 ^b	554.67 ± 158.56 ^e
40	2-甲基丁酸	羊乳	864.4	287.794	1.4744	140.33 ± 10.12 ^{ab}	134.33 ± 7.09 ^a	223.33 ± 10.07 ^c	147.00 ± 6.93 ^{ab}	144.00 ± 2.00 ^{ab}	149.00 ± 3.61 ^b
41	3-甲基丁酸	酸味、汗臭	887.4	312.429	1.4796	156.00 ± 8.72 ^b	202.67 ± 19.86 ^c	211.33 ± 3.79 ^c	144.33 ± 3.79 ^{ab}	235.67 ± 18.23 ^d	123.00 ± 9.85 ^a
42	异丁酸	腐臭、黄油	754.0	191.744	1.1610	151.00 ± 1.00 ^b	150.00 ± 1.73 ^a	194.33 ± 18.77 ^b	160.33 ± 5.77 ^a	157.67 ± 0.58 ^a	208.00 ± 22.11 ^b
43	正戊酸	腐臭、酸败	884.2	308.869	1.5035	73.00 ± 1.73 ^a	102.33 ± 17.50 ^{bc}	145.67 ± 1.53 ^d	95.33 ± 4.04 ^b	112.67 ± 5.03 ^c	152.00 ± 6.24 ^d
酯类 9 种											
44	苯甲酸甲酯 M	草本、甜香	1 089.4	667.846	1.2183	1 216.00 ± 33.81 ^d	1 171.67 ± 23.01 ^b	1 142.00 ± 0.01 ^b	1 195.00 ± 7.55 ^{cd}	1 146.00 ± 11.00 ^b	1 093.33 ± 4.16 ^c
45	苯甲酸甲酯 D	草本、甜香	1 088.6	666.06	1.6015	992.00 ± 126.65 ^a	997.00 ± 14.93 ^b	972.67 ± 19.04 ^b	954.33 ± 13.05 ^b	936.33 ± 14.01 ^b	752.67 ± 21.03 ^b
46	乙酸乙酯 M	苹果、梨	616.5	125.015	1.0948	897.00 ± 55.34 ^d	454.00 ± 6.24 ^a	448.67 ± 25.97 ^a	793.33 ± 9.02 ^c	531.00 ± 8.89 ^b	437.33 ± 5.86 ^a
47	乙酸乙酯 D	苹果、梨	613.7	124.154	1.3310	856.67 ± 186.18 ^c	233.67 ± 10.97 ^a	302.67 ± 4.73 ^{ab}	746.00 ± 83.65 ^c	404.00 ± 17.09 ^b	409.00 ± 29.82 ^b
48	乙酸丁酯	梨	807.0	233.877	1.2359	140.67 ± 2.89 ^c	129.33 ± 4.16 ^b	156.33 ± 0.58 ^d	123.67 ± 1.53 ^b	146.00 ± 5.00 ^c	114.00 ± 3.61 ^a
49	丙烯酸乙酯	果香	706.3	161.309	1.4053	73.33 ± 6.51 ^a	57.67 ± 4.16 ^a	71.67 ± 2.52 ^a	76.00 ± 6.24 ^a	86.00 ± 9.54 ^a	338.33 ± 45.46 ^b
50	丁酸丁酯	热带水果	1 003.9	483.077	1.3378	104.33 ± 4.51 ^b	105.67 ± 5.69 ^b	130.00 ± 2.65 ^c	96.67 ± 1.53 ^a	128.00 ± 2.65 ^c	257.00 ± 1.00 ^d
51	异丁酸乙酯	甜香	753.1	191.117	1.2056	400.67 ± 17.01 ^{ab}	381.33 ± 39.02 ^a	467.00 ± 18.03 ^{bc}	444.33 ± 21.08 ^{abc}	511.33 ± 26.54 ^c	375.67 ± 78.68 ^a
52	庚酸乙酯	菠萝、朗姆酒	1 095.1	681.115	1.4066	90.00 ± 2.65 ^a	91.67 ± 0.58 ^a	103.00 ± 0.01 ^b	86.33 ± 1.15 ^a	88.33 ± 1.15 ^a	524.33 ± 10.26 ^c
吡嗪类 3 种											
53	2,5-二甲基吡嗪	可可、坚果	902.6	329.962	1.5014	76.00 ± 1.73 ^a	82.33 ± 6.66 ^{ab}	120.33 ± 5.69 ^c	75.67 ± 2.08 ^a	88.33 ± 6.81 ^b	177.67 ± 7.51 ^d
54	2-乙基-5-甲	咖啡、坚果	1 003.8	482.993	1.6734	193.00 ± 6.08 ^{bc}	187.67 ± 5.77 ^{ab}	207.33 ± 6.11 ^c	199.33 ± 8.62 ^{bc}	190.67 ± 8.08 ^{ab}	182.00 ± 13.00 ^a
基吡嗪											
55	2-乙烷基-3,	咖啡、坚果	1 090.5	670.338	1.7388	86.67 ± 3.06 ^a	94.00 ± 2.65 ^{00b}	110.00 ± 2.65 ^c	89.00 ± 2.65 ^{ab}	90.33 ± 1.53 ^{ab}	467.67 ± 5.51 ^d
5-二甲基吡嗪											
含硫化物 2 种											
56	二甲基二硫	洋葱	762.9	198.313	1.1268	119.33 ± 4.04 ^a	120.67 ± 7.64 ^a	138.67 ± 3.51 ^b	140.00 ± 5.57 ^b	151.33 ± 11.5 ^b	191.67 ± 11.37 ^c
57	二乙基三硫醚	硫磺、洋葱	1 130.5	762.718	1.2140	138.00 ± 5.29 ^a	139.33 ± 2.52 ^a	146.67 ± 5.51 ^b	134.67 ± 1.53 ^a	138.33 ± 3.21 ^a	140.67 ± 0.58 ^{ab}
未知化合物											
58	1	-	-	-	-	179.33 ± 14.74 ^b	252.67 ± 15.95 ^c	274.33 ± 18.88 ^c	136.67 ± 3.51 ^a	338.67 ± 11.06 ^d	413.67 ± 40.67 ^e
59	2	-	-	-	-	92.00 ± 5.00 ^a	132.67 ± 1.53 ^b	233.67 ± 16.17 ^c	86.33 ± 0.58 ^a	151.67 ± 19.35 ^b	247.33 ± 46.46 ^c
60	3	-	-	-	-	133.67 ± 7.09 ^a	213.00 ± 33.15 ^b	272.33 ± 15.63 ^b	130.67 ± 3.06 ^a	251.67 ± 86.96 ^b	417.33 ± 41.74 ^c
61	4	-	-	-	-	73.67 ± 2.08 ^a	68.33 ± 4.51 ^a	143.33 ± 5.51 ^c	69.33 ± 0.58 ^a	98.00 ± 5.29 ^b	452.67 ± 23.80 ^d
62	5	-	-	-	-	94.67 ± 3.51 ^a	119.00 ± 2.65 ^c	167.33 ± 8.00 ^f	110.00 ± 3.61 ^b	140.33 ± 5.03 ^d	152.33 ± 3.21 ^e

注: M 表示物质的单聚体, D 表示物质的二聚体; 不同字母表示样品的信号响应强度间存在显著性差异 (P<0.05)。

的汗味属性,从而使干酪的香气更加柔和^[30]。

当切达干酪样品成熟 120 d 时,添加 YN2-1 组和空白对照组中的挥发性化合物均发生较大的变化。在成熟 120 d 的添加 YN2-1 菌株的干酪样品中 3-甲基丁醛含量虽较成熟 60 d 的有所下降,但仍显著高于对照组。由于醛类的化学性质较为活泼,随干酪成熟时间的增加易被还原成醇和相应的酸^[31],因此 YN 120 d 样品中 2-甲基丁醛、3-甲基丁醛的含量较 YN 60 d 中的含量有所降低。在 YN 120 d 样品中,检测到含量较高的丙烯酸乙酯、丁酸丁酯、庚酸乙酯、2,5-二甲基吡嗪、2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪、3-甲基-1-丁醇、2-壬酮、2-辛酮,而在其它样品中上述挥发性化合物含量极

低。其中的酯类物质主要是由酯化反应或酯交换反应产生,因具有较低的气味阈值而在干酪中类似果香和花香的风味贡献较大^[32]。吡嗪类来源于美拉德反应和微生物代谢,是干酪中的重要风味物质,具有典型的坚果类、烘烤类香气^[33],加之 YN 120 d 中同时含有坚果香气的 3-甲基丁醛等支链醛,因此在前期感官评价中样品的坚果风味属性得分较高。除上述特征物质外,相较于作为对照组的 KB 120 d 样品,YN 120 d 中的糠醇 D、异丁醇、2-甲基-1-丁醇、异丁酸、二甲基二硫、正戊醛的含量更高,其中的丁酸、异丁酸被认为是天然切达干酪中重要的风味贡献者^[34-35]。

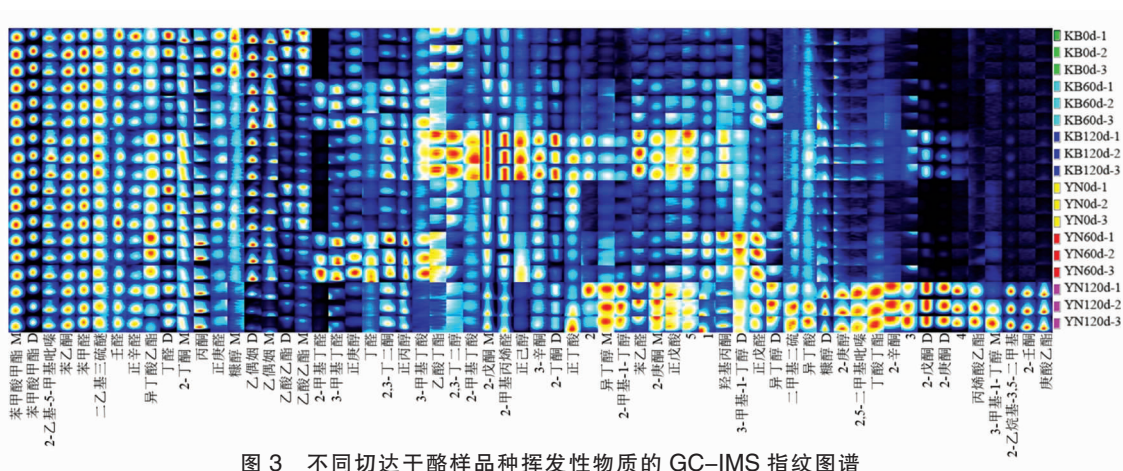


图 3 不同切达干酪样品挥发物质的 GC-IMS 指纹图谱

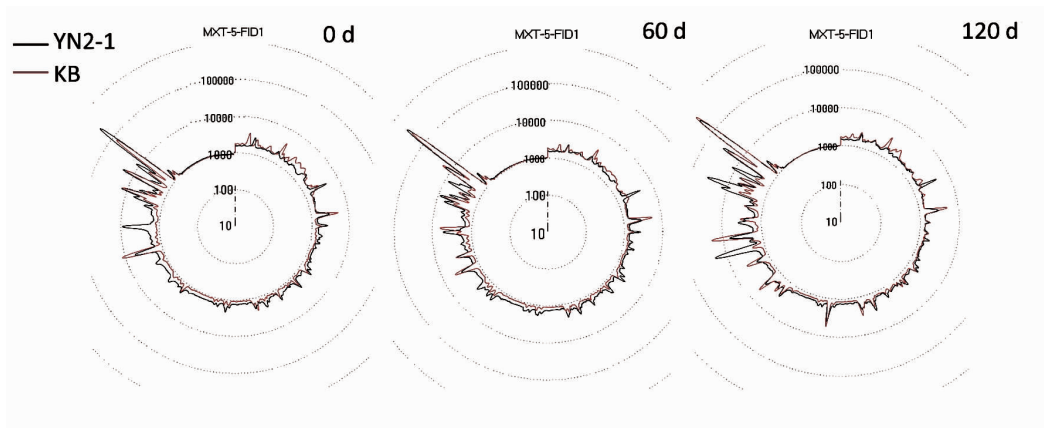
Fig.3 GC-IMS fingerprints of volatile compounds in different cheddar cheese samples

2.4 电子鼻分析结果

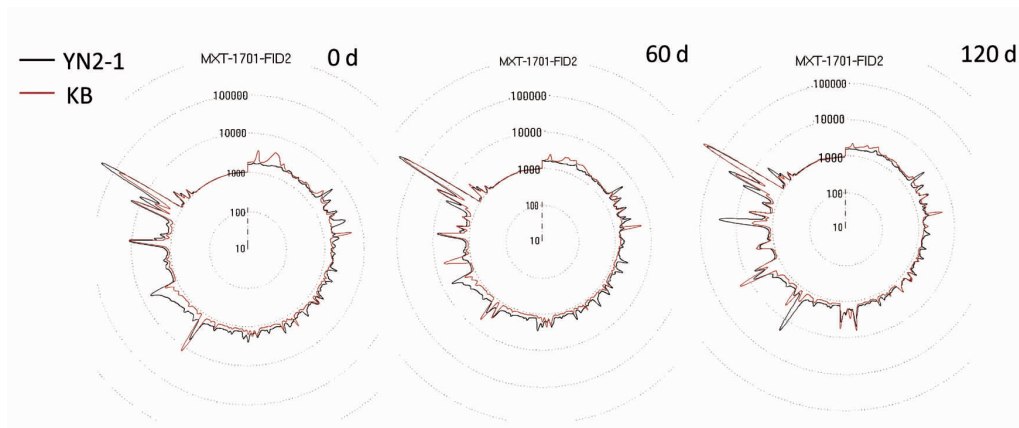
为了验证感官评价、GC-MS 及 GC-IMS 分析结果,直观体现不同样品间的气味差异,将成熟 0,60,120 d 的添加 YN2-1 菌株切达干酪及其空白对照组干酪进行电子鼻分析。Heracles II 快速气相型电子鼻是一种新型电子气味分析仪器,结合了快速气相色谱技术的优点,其原理是通过两根极性不同的色谱柱 MXT-5 和 MXT-1701 对气味进行分离,并通过 Arochembase 数据库分析,具有快捷简便、重复性好等优点^[36-38]。3 个成熟度条件下,添加 YN2-1 菌株的切达干酪样品在大多数出峰位置的峰面积大于未添加 YN2-1 菌株的干酪(图 4),表明添加 YN2-1 菌株的干酪样品的多数香气物质含量及香气强度高于未添加组,再次

证明添加乳酸乳球菌 YN2-1 对切达干酪的多种挥发性香气成分的含量具有一定的提升作用。

为进一步区分不同切达干酪样品,且在缩小组内误差的基础上更好地体现样品间的差异,对电子鼻数据进行判别因子分析(见图 5)。判别因子分析是判定个体所属类别的统计分析方法,它通过两个或多个已知类别的样本数据优化区分,在主成分分析法的基础上使组间距离最大的同时保证组内差异最小^[39-40]。如图 5 所示,6 个切达干酪样品分布区域不重叠且分布间隔较大,在第 1 判别因子轴上不同成熟时间切达干酪样品得到有效区分,同时添加 YN2-1 菌株干酪与空白对照组在第 2 判别因子轴上区分明显,与电子鼻雷达图结果一致。电子鼻分析表明:将 YN2-1 作为切达



(a)非极性柱 MXT-5



(b)中极性柱 MXT-1701

图 4 不同切达干酪样品电子鼻雷达图

Fig.4 Electronic nose radar chart of different cheddar cheese samples

干酪的辅助发酵剂，可显著影响切达干酪的香气表现，验证了感官评价、GC-MS 及 GC-IMS 的分析结果。

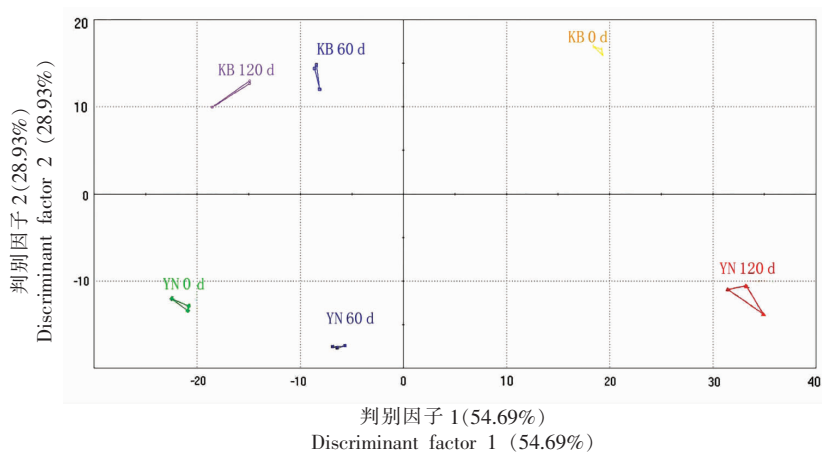


图 5 不同切达干酪样品的判别因子分析图

Fig.5 DFA chart of different cheddar cheese samples

3 结论

采用 GC-MS、GC-IMS 及电子鼻技术探究切达干酪中添加乳酸乳球菌 YN2-1 作为附属发酵剂对其风味的影响。结果表明,添加 YN2-1 的切达干酪样品与对照组的香气品质、风味物质种类及含量均有显著差异。YN2-1 菌株作为附属发酵剂,可显著提高干酪中 3-甲基丁醛含量,增强坚果风味,并使干酪的消费者喜好度提高。此外,YN2-1 对于成熟 60 d 或 120 d 的切达干酪中 2,3-丁二酮、2-戊酮 D、2-壬酮、2-甲基丁醛、正丙醇、乙酸丁酯、丁酸丁酯、2,5-二甲基吡嗪、2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪等风味物质的产生以及奶香、果香风味的增强也有作用。综上所述,乳酸乳球菌 YN2-1 具有较好的应用潜力,适于开发适合中国消费者口味的干酪产品。

参 考 文 献

- [1] KHATTAB A R, GUIRGUIS H A, TAWFIK S M, et al. Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 30 (88): 343-360.
- [2] 干佳俪, 谭励, 王蓓, 等. 切达奶酪挥发性特征风味物质的多典型相关融合分析[J]. 中国乳品工业, 2021, 49(9): 12-18.
GAN J L, TAN L, WANG B, et al. Identification of volatile flavor characteristics of Cheddar cheese with multi-CCA fusion[J]. China Dairy Industry, 2021, 49(9): 12-18.
- [3] WANG J, YANG Z J, WANG Y D, et al. The key aroma compounds and sensory characteristics of commercial Cheddar cheeses[J]. Journal of Dairy Science, 2021, 104(7): 7555-7571.
- [4] MURTAZA M A, UR-REHMAN S, ANJUM F M, et al. Cheddar cheese ripening and flavor characterization: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2014, 54(10): 1309-1321.
- [5] CHEN C, ZHOU W Y, YU H Y, et al. Characterization of major odor-active compounds responsible for nutty flavor in Cheddar cheese according to Chinese taste[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2021, 36(2): 171-181.
- [6] CHEN C, ZHOU W Y, YU H Y, et al. Evaluation of the perceptual interactions among aldehydes in a Cheddar cheese matrix according to odor threshold and aroma intensity[J]. Molecules, 2020, 25 (18): 4308.
- [7] 殷俊玲, 王默谊, 刘小鸣, 等. 市售切达奶酪的风味特性[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(12): 172-178.
YIN J L, WANG M Y, LIU X M, et al. Flavor characterization of commercial cheddar cheese[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(12): 172-178.
- [8] FOX P F, GUINEE T P, COGAN T M, et al. Fundamentals of cheese science[M]. New York: Springer US, 2017: 589-627.
- [9] 宋君红, 张晓莹, 郭慧媛, 等. 辅助发酵剂对切达 (Cheddar) 干酪坚果风味的影响[J]. 中国奶牛, 2015, 33(2): 29-32.
SONG J H, ZHANG X Y, GUO H Y, et al. Effects of adjunct cultures on the nutty flavor of Cheddar cheese[J]. China Dairy Cattle, 2015, 33 (2): 29-32.
- [10] DU H Z, CHEN Q, LIU Q, et al. Evaluation of flavor characteristics of bacon smoked with different woodchips by HS-SPME-GC-MS combined with an electronic tongue and electronic nose[J]. Meat Science, 2021, 182: 108626.
- [11] DRAKE M A, BOYLSTON T D, SPENCE K D, et al. Improvement of sensory quality of reduced fat Cheddar cheese by a *Lactobacillus* adjunct[J]. Food Research International, 1997, 30(1): 35-40.
- [12] 宋云花, 刘美玉, 罗洁, 等. 利用辅助发酵剂生产水果风味 Cheddar 干酪[J]. 中国奶牛, 2017, 35(1): 47-51.
SONG Y H, LIU M Y, LUO J, et al. Production of fruit-flavored Cheddar cheese using a supplementary starter[J]. China Dairy Cattle, 2017, 35 (1): 47-51.
- [13] 单启梅, 赵晓策, 罗瑞明, 等. 滩羊肌肉在煮制过程中可挥发性化合物的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 165-171.
SHAN Q M, ZHAO X C, LUO R M, et al. Change of volatile flavor compounds in Tan sheep muscle during cooking[J]. Food Science, 2021, 42 (8): 165-171.
- [14] ZHANG Y F, WU G C, CHANG C, et al. Deter-

- mination of origin of commercial flavored rapeseed oil by the pattern of volatile compounds obtained via GC-MS and flash GC electronic nose[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2020, 122(3): 1900332.
- [15] WANG S Q, CHEN H T, SUN B G. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)[J]. *Food Chemistry*, 2020, 315(24): 126158.
- [16] LI W Q, CHEN Y P, BLANK I, et al. GC× GC-ToF-MS and GC-IMS based volatile profile characterization of the Chinese dry-cured hams from different regions[J]. *Food Research International*, 2021, 142: 110222.
- [17] LIU D Y, BAI L, FENG X, et al. Characterization of Jinhua ham aroma profiles in specific to aging time by gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)[J]. *Meat Science*, 2020, 168(5): 108178.
- [18] SANAEIFAR A, ZAKIDIZAJI H, JAFARI A, et al. Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review[J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2017, 97(9): 257-271.
- [19] 陈东杰, 张明岗, 聂小宝, 等. 基于气相离子迁移谱检测静电场处理的大菱鲆品质[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 313-319.
- CHEN D J, ZHANG M G, NIE X B, et al. Quality detection of Turbot (*Scophthalmus maximus*) treated with electrostatic field using gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Food Science*, 2019, 40(24): 313-319.
- [20] WANG Y Q, LI J X, WU Y Y, et al. Analysis of volatile compounds in sea bass (*Lateolabrax japonicus*) resulting from different slaughter methods using electronic-nose (e-nose) and gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Molecules*, 2021, 26(19): 5889.
- [21] 周文雅. 切达奶酪坚果特征风味的鉴定及风味协同增效作用研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2021.
- ZHOU W Y. Identification of the nutty flavor of Cheddar cheeses and the synergetic effect of flavor [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2021.
- [22] WHETSTINE M E C, DRAKE M A, BROADBENT J R, et al. Enhanced nutty flavor formation in cheddar cheese made with a malty *Lactococcus lactis* adjunct culture [J]. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(9): 3277-3284.
- [23] 周雨. 牦牛切达奶酪制作技术规程[J]. *中国乳业*, 2020, 218(2): 77-80.
- ZHOU Y. Technical specification for making Cheddar cheese of yak[J]. *China Dairy*, 2020, 218(2): 77-80.
- [24] 王默谊. 氯化钙添加对切达干酪品质的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
- WANG M Y. Effect of calcium chloride addition on characteristics of Cheddar cheese[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.
- [25] MEALS S E, SCHIANO A N, DRAKE M A. Drivers of liking for Cheddar cheese shreds[J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 103(3): 2167-2185.
- [26] National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce. NIST Chemistry Webbook, SRD69[EB/OL]. (2005-06-10)[2021-05-13]. <https://webbook.nist.gov/chemistry/name-ser/>.
- [27] 陈臣, 周文雅, 袁佳杰, 等. 3-甲基丁醛对奶酪坚果风味的贡献及其生物合成的研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(7): 228-233.
- CHEN C, ZHOU W Y, YUAN J J, et al. Recent progress in biosynthesis of 3-methylbutanal and its contribution to nutty flavor in cheese[J]. *Food Science*, 2020, 41(7): 228-233.
- [28] CURIONI P M G, BOSSET J O. Key odorants in various cheese types as determined by gas chromatography-olfactometry[J]. *International Dairy Journal*, 2002, 12(12): 959-984.
- [29] JO Y, BENOIST D M, AMEERALLY A, et al. Sensory and chemical properties of Gouda cheese[J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(3): 1967-1989.
- [30] NIU Y W, ZHANG J, XIAO Z B, et al. Evaluation of the perceptual interactions between higher alcohols and off-odor acids in Laimao Baijiu by σ - τ plot and partition coefficient[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(50): 14938-14949.
- [31] 钱冲, 廖永红, 刘明艳, 等. 不同香型白酒的聚类分析和主成分分析[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(2): 243-255.
- QIAN C, LIAO Y H, LIU M Y, et al. Cluster analysis and principal components analysis of different flavor types of liquor[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17

- (2): 243-255.
- [32] COLLINS Y F, MCSWEENEY P L H, WILKINSON M G. Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: A review of current knowledge[J]. International Dairy Journal, 2003, 13(11): 841-866.
- [33] SCALONE G L L, CUCU T, DE KIMPE N, et al. Influence of free amino acids, oligopeptides, and polypeptides on the formation of pyrazines in Maillard model systems[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(22): 5364-5372.
- [34] 徐振丽, 陈计峦, 裴龙英, 等. 奶酪风味及芳香物质研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(12): 181-184.
- XU Z L, CHEN J L, PEI L Y, et al. Research progress of cheese flavor and aromatic compounds[J]. China Condiment, 2019, 44(12): 181-184.
- [35] NOGUEIRA M C L, LUBACHEVSKY G, RANKIN S A. A study of the volatile composition of Minas cheese [J]. LWT—Food Science and Technology, 2005, 38(5): 555-563.
- [36] XU L, LI X, HIAMG J, et al. Rapid measuring flavor quality changes of frying rapeseed oils using a flash gas chromatography electronic nose[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2019, 121(5): 1800260.
- [37] 陈臣, 刘政, 黄轲, 等. 基于GC-MS、GC-O及电子鼻评价不同加工方式对乳扇风味的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 108-117.
- CHEN C, LIU Z, HUANG K, et al. Effects of different processing methods on the flavor of MILK FANS based on GC-MS、GC-O and electronic nose analysis[J]. Food Science, 2021, 42(16): 108-117.
- [38] 武文奇, 毛怡宁, 李虹, 等. Heracles II超快速气相电子鼻对金银花粉质量的鉴别研究[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(23): 5129-5133.
- WU W Q, MAO Y N, LI H, et al. Identification of honeysuckle powder quality by Heracles II ultra-fast gas phase electronic nose[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2019, 44(23): 5129-5133.
- [39] 杨芳, 杨莉, 粟立丹. 基于电子鼻和气相-离子迁移谱对美人椒酱的风味分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(23): 193-198.
- YANG F, YANG L, SU L D. Flavor analysis of *Capsicum frutescens* L. sauce based on electronic nose and gas chromatograph-ion mobility spectrometer (GC-IMS)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(23): 193-198.
- [40] ZHANG M X, WANG X C, LIU Y, et al. Species discrimination among three kinds of puffer fish using an electronic nose combined with olfactory sensory evaluation[J]. Sensors, 2012, 12(9): 12562-12571.

Effects of *Lactococcus lactis* with High Yield of 3-Methylbutyraldehyde on the Flavor of Cheddar Cheese

Chen Chen, Tian Tonghui, Zhou Wenya, Yu Haiyan, Yuan Haibin, Tian Huaixiang*
(School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418)

Abstract In order to study the effect of high-yield 3-methylbutyraldehyde *Lactococcus lactis* YN2-1 on the flavor of cheddar cheese, it was added to cheddar cheese as an auxiliary starter culture. The aroma characteristics and volatile compounds of different cheddar cheese samples were compared and analyzed by sensory quantitative description analysis, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) and electronic nose. Firstly, in the quantitative descriptive analysis and preference evaluation of the samples, it was found that the cheddar cheese added with *Lactococcus lactis* YN2-1 had significant aroma differences with the samples without the addition of the bacteria. The cheese added with YN2-1 had higher nut flavor, milk flavor and broth flavor aroma intensity, and its preference score was also higher. GC-MS analysis showed that the content of 3-methylbutyraldehyde in cheese samples added with *Lactococcus lactis* YN2-1 and matured for 60 d and 120 d was 18.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$ and 13.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectively, which was significantly higher than that of the control group, indicating that the strain has the characteristics of high yield of 3-methylbutyraldehyde in cheddar cheese. The GC-IMS fingerprint was used to visually distinguish the differences in flavor substances between the cheddar cheese added with *Lactococcus lactis* YN2-1 and the control sample.

The contents of 2,3-butanedione, 2-pentanone D, 2-nonanone, 2-methylbutanal, *n*-propanol, butyl acetate, butyl butyrate, 2,5-dimethylpyrazine, 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine and other substances increased significantly in 60 d or 120 d samples. The contour of the electronic nose radar map between different samples did not overlap, and the discrimination factor (DFA) was higher, indicating that there was a significant difference between the cheese samples added with YN2-1 strain and the control samples, which verified the analysis results of GC-MS and GC-IMS. Conclusion: The addition of this strain could not only increase the content of 3-methylbutyraldehyde, but also contribute to the increase of other flavor substances in cheese. It had a significant improvement effect on the nutty, milky and fruity aroma of cheddar cheese, and has good application potential.

Keywords cheddar cheese; adjunct culture; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS); electronic nose