

中华绒螯蟹挥发性物质的研究

张 娜¹, 袁信华¹, 过世东¹, 王利平²

1(江南大学食品学院, 食品科学与安全教育部重点实验室, 江苏无锡, 214122)

2(江南大学分析测试中心, 江苏无锡, 214122)

摘 要 利用 HS-SPME 法、GC-MS 联用分离鉴定阳澄湖蟹和池塘养殖蟹中挥发性物质组成。共鉴定出 45 种化合物。其中碳氢化合物(10 种)、醇类(16 种)、醛类(4 种)、酮类(3 种)、酯类(3 种)、酚类(1 种)、N、S 化合物(7 种)、呋喃类化合物(1 种)。

关键词 中华绒螯蟹, 挥发性化合物, 气相色谱质谱联用法

中华绒螯蟹, 俗称河蟹, 毛蟹, 大闸蟹等。它是在淡水中生长发育, 在海水中产卵繁殖的洄游性甲壳动物, 是人们比较喜爱的特种水产品之一。目前国内外对水产品的风味研究主要集中在虾、海水蟹、蚌类^[1~4], 但对淡水蟹的研究主要停留在脂肪酸、氨基酸组成等基本营养成分的分析以及加工工艺等方面的研究, 对其挥发性物质的研究还比较少。

固相微萃取技术(solid phase microextraction, SPME) 是 1990 年代以来出现的一种比较新颖的风味分析技术, 率先由 Arthur 和他的合作者推出^[5], 几乎克服了以前一些传统样品处理中的所有缺点, 无需有机溶剂, 简单、方便、测试快、费用低, 集采样萃取浓缩进样于一体, 能够与气相或液相色谱仪联用, 使得样品处理技术及分析操作简单省时。目前此法已经广泛用于食品挥发性风味成分的分析检测, 如猪肉^[6]、牛肉^[7]、鱼肉^[8]、海扇贝^[9]等食品风味的检测结果都有报道。

本实验采用 HS-SPME、GC-MS 联用技术分离鉴定中华绒螯蟹中挥发性气味成分, 并对阳澄湖蟹和池塘养殖蟹气味成分进行比较分析, 通过研究其成分组成差异性, 为中华绒螯蟹产地来源的鉴别提供一定依据, 并为其风味的研究提供一定理论依据。

1 仪器和方法

1.1 实验材料

中华绒螯蟹(雄性), 体重约 150 g, 购于江苏省苏州河蟹养殖场, 阳澄湖养殖, 池塘养殖。

1.2 仪 器

气相色谱质谱联用仪(trace MS), 美国 Finigon

公司生产; 手动 SPME 进样器, 75 μ m CAR/PDMS 萃取头, 美国 Supelco 公司; DS-1 高速组织捣碎机, 上海标本模型厂制造。

1.3 样品前处理

活体中华绒螯蟹, 解剖分割, 剥成小块, 放入组织捣碎机中捣碎。取 10 mL 样品放入 15 mL 样品瓶中, 盖上盖子, 用 75 μ m CAR/PDMS 萃取头插入到萃取瓶中, 推出萃取头, 于 60℃ 水浴吸附 35 min, 然后将萃取头插入气相色谱仪于 250℃ 解吸 5 min, 推出纤维头后拔出萃取头, 同时启动仪器采集数据。

1.4 检测条件

色谱条件: DB-1 WAX 石英毛细管柱, 萃取头热解析温度为 250℃, 时间为 3 min, 不分流模式。进样口温度 250℃; 起始温度 40℃, 保持 4 min, 然后以 3℃/min 的速度升温到 50℃, 再以 6℃/min 的升温速度升温到 120℃, 最后以 8℃/min 的速度升温到 220℃, 保持 7 min。载气为 He, 流量 0.8 mL/min。

质谱条件: 全扫描模式, 扫描质量范围为 33~450 m/z。电离方式为 EI⁺, 电子能量 70 eV, 灯丝发射电流为 350 μ A, 检测器电压 350 V, 离子源温度为 220℃, 接口温度为 250℃。

1.5 化合物定性定量方法

实验数据处理由 Xcalibur 软件系统完成, 未知化合物经计算机检索同时与 NIST 谱库(107k Compounds) 和 Wiley 谱库(320k Compounds, version 6.0) 相匹配, 仅当正反匹配度均 > 800 的鉴定结果才予以报道。化合物相对百分含量按峰面积归一化计算。

2 结果与讨论

采用 HS-SPME 法、GC-MS 联用分析鉴定阳澄湖蟹和池塘养殖蟹中挥发性物质组成及其相对百分

第一作者: 硕士研究生。

收稿日期: 2007-11-09, 改回日期: 2008-03-03

含量(见下表 1)。

表 1 阳澄湖蟹和池塘养殖蟹挥发性成分含量和组成

序号	保留时间 /min	分子式	英文名	中文名	蟹蟹中含量/%	
					阳澄湖	池塘
碳氢化合物						
1	5.45	C ₇ H ₈	Benzene, methyl-	甲 苯	—	1.38
2	7.20	C ₈ H ₁₀	Benzene, ethyl-	乙基苯	—	0.75
3	7.35	C ₈ H ₁₀	Benzene, 1,3-dimethyl-	1,3-二甲苯	—	0.65
4	7.48	C ₈ H ₁₀	Benzene, 1,2-dimethyl-	1,2-二甲苯	0.57	—
5	10.19	C ₈ H ₈	Benzene, ethyl-	苯乙烯	—	0.46
6	14.61	C ₁₃ H ₂₈	Decane, 2,3,5-trimethyl-	2,3,5-三甲癸烷	—	0.28
7	15.25	C ₁₅ H ₃₂	Dodecane, 2,6,10-trimethyl-	2,6,10-三甲基十二烷	2.10	—
8	15.99	C ₁₅ H ₃₂	Pentadecane	正十五烷	—	1.05
9	17.09	C ₂₀ H ₄₂	Eicosane	二十烷	—	0.24
10	19.19	C ₉ H ₄₀	Pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	2,6,10,14-四甲基正十五烷	19.18	4.79
醇 类						
11	7.77	C ₁₄ H ₃₀ O	1-Tetradecanol	1-十四醇	3.17	—
12	8.27	C ₁₆ H ₃₄ O	2-Hexadecanol	2-十六醇	0.76	—
13	10.72	C ₅ H ₁₂ O	1-Pentanol	1-戊醇	—	2.52
14	12.92	C ₆ H ₁₄ O	1-Hexanol	1-己醇	—	0.32
15	14.94	C ₈ H ₁₆ O	1-Octen-3-ol	1-辛烯-3-醇	—	0.45
16	15.09	C ₇ H ₁₆ O	1-Heptanol	1-庚醇	0.41	0.34
17	15.79	C ₈ H ₁₈ O	1-Hexanol, 2-ethyl-	2-乙基己醇	1.04	0.68
18	17.19	C ₈ H ₁₈ O	1-Octanol	1-辛醇	4.13	0.50
19	18.38	C ₁₁ H ₂₂ O	Trans-2-Undecen-1-ol	反-2-十一碳烯-1-醇	0.99	—
20	19.02	C ₉ H ₂₀ O	Nonyl alcohol	壬 醇	0.93	0.57
21	21.00	C ₁₀ H ₂₀ O	Cis-3-Decen-ol	顺-3-烯癸醇	—	0.41
22	21.20	C ₁₀ H ₂₀ O	(Z)-4-Decen-1-ol	(Z)-4-烯癸醇	1.40	—
23	21.99	C ₁₈ H ₃₂ O	9,12,15-Octadecatrien-1-ol, (Z,Z,Z)-	(Z,Z,Z)-9,12,15-十八烷三烯醇	2.51	—
24	23.54	C ₉ H ₁₈ O	3,6-Nonadien-1-ol	3,6-二烯壬醇	—	0.74
25	29.18	C ₁₁ H ₂₀ O	2,4-Undecadien-1-ol	2,4-二烯十一醇	—	0.85
26	29.41	C ₁₅ H ₂₈ O	6,9-Pentadecadien-1-ol	6,9-二烯十五醇	—	2.76
醛 类						
27	6.41	C ₆ H ₁₂ O	Hexanal	己 醛	—	0.43
28	11.03	C ₈ H ₁₆ O	Octanal	辛 醛	0.43	0.59
29	16.65	C ₁₀ H ₁₈ O	Cis-4-Decenal	顺-4-烯癸醛	0.54	1.17
30	28.12	C ₁₁ H ₂₂ O	10-Undecenal	10-十一碳烯醛	1.51	—
酮 类						
31	13.46	C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	2-壬酮	1.92	1.44
32	14.84	C ₉ H ₁₆ O	7-Octen-2-one, 6-methyl-	6-甲基-7-辛烯-2-酮	0.89	—
33	18.30	C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	2-十一烷酮	0.53	—
酯 类						
34	3.50	C ₄ H ₈ O ₂	Ethyl Acetate	乙酸乙酯	1.95	0.27
35	21.27	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	Dodecanoic acid, methyl ester	正十二烷酸甲酯	3.89	—
36	21.78	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Dodecanoic acid, ethyl ester	正十二烷酸乙酯	0.90	—
酚 类						
37	23.58	C ₆ H ₆ O	Phenol	苯 酚	0.94	—
含氮含硫化合物						
38	5.28	C ₁₆ H ₁₁ NO ₂ S	2-Methoxy(1)benzothieno(2,3-c)quinolin-6(5H)-one	2-甲氧基(1)苯并噻吩(2,3-c)噻啉-6(5H)-酮	1.71	0.38
39	19.52	C ₈ H ₉ NO ₂	Oxime-methoxy-phenyl-	甲氧基-苯肟	3.56	—
40	20.92	C ₁₂ H ₉ N	Pyridine, 4-methyl-2,6-bis(1-methyl ethyl)	4-甲基-2,6-双(1-甲基乙基)-吡啶	—	0.34
41	21.34	C ₅ H ₅ NOS	2-Acetylthiazole	2-乙酰基噻唑	1.21	0.68
42	23.42	C ₇ H ₅ NS	Benzothiazole	苯并噻唑	0.66	0.50
43	27.98	C ₈ H ₇ N	1H-Indole	1H-吲哚	0.52	—
44	30.12	C ₆ H ₆ N ₄	1H-Purine, 6-methyl-	6-甲基-1H-嘌呤	1.04	—
呋喃类						
45	9.43	C ₉ H ₁₄ O	Furan, 2-pentyl-	2-戊基呋喃	—	0.35

注：“—”表示未检测出。

阳澄湖蟹挥发性物质中检测到 28 种化合物,碳氢化合物(占 21.85%)、醇类(占 15.34%)、醛类(占 2.48%)、酮类(占 3.34%)、酯类(占 6.74%)、酚类(0.94%)、N、S 化合物(8.7%)。

池塘养殖蟹挥发性物质中检测到 29 种化合物,碳氢化合物(占 9.6%)、醇类(占 10.14%)、醛类(占 2.19%)、酮类(占 1.44%)、酯类(占 0.27%)、N、S 化合物(占 1.9%)、呋喃类(占 0.35%)。

各种烷烃($C_8 \sim C_{19}$)已经被鉴定存在于甲壳类鱼肉的挥发物中。由于它们的高芳香阈值,烷烃对于食风整体风味贡献很小,但有值得注意的例外,特别是当涉及到支链的烷烃时。化合物 2,4,10,14-四甲基-十五烷被报告赋予加工的小龙虾废物一种清香甜香^[10]。碳氢化合物可能是通过烷基自由基的脂质自氧化过程或类胡萝卜素的分解生成。在阳澄湖蟹和池塘养殖蟹中碳氢化合物分别占 21.85% 和 9.6%。其中阳澄湖蟹中的 2,4,10,14-四甲基-正十五烷含量为 19.18%,而池塘养殖蟹中含量仅为 4.79%。2,4,10,14-四甲基-正十五烷能赋予一种清香甜香,这也许是造成阳澄湖蟹风味较好的原因之一。Hsieh 等人^[11]报告,烷基苯类化合物可能是存在于环境中的污染物。在池塘养殖蟹挥发性物质中所检出的烷基苯类含量为 3.24%,而阳澄湖蟹中仅检测出 1,2-二甲基苯(0.57%)。阳澄湖面积为 120 平方公里,远远大于池塘面积。池塘水流动性比较差,污染物积累量可能比阳澄湖要多,造成池塘养殖蟹中烷基苯类含量较高。烷基苯类化合物含量高低可能是区别蟹来源于哪种养殖产地的标准。

醇类可能由脂肪酸的二级氢过氧化物的分解、脂质氧化酶对脂肪酸的作用、脂肪的氧化分解生成,或由羰基化合物还原生成醇。醇类一般对于食品的风味贡献很小,因为它们是高阈值的,除非它们以高浓度存在或者是不饱和的。直链饱和醇的香味对于肉制品的风味贡献很小,但随着碳链的增长,香味增加,可以产生出清香、木香、脂肪香的特征;不饱和醇阈值较低,具有蘑菇味和类似金属味^[12]。从表 1 中可以看出挥发性醇类物质在 2 种蟹中的含量均在 10% 以上,所占浓度比较高。其中阳澄湖蟹挥发性物质中不饱和醇含量占 4.9%,而池塘养殖蟹则占 5.21%,值得注意的是化合物 1-辛烯-3-醇,一种亚油酸的氢过氧化物的降解产物,具有似蘑菇的泥土般的气味^[13]。1-辛烯-3-醇仅在池塘养殖蟹中检出,这可能是两种蟹相互区别的特征物质之一。

醛类的气味阈值一般低于醇类的气味阈值。因而,醛类有一种很强的与许多其他物质重叠的风味效应,甚至当它是痕量存在的条件下,也有这种效应。长链的醛类,表面上没有可检测的芳香,可以作为其他重要的芳香化合物的前体,如杂环化合物。烷基醛、烯醛和二烯醛是亚油酸酯和亚麻酸酯的氢过氧化物的降解产物。多不饱和脂肪酸的氧化产生各种醛,如辛醛和壬二烯醛。饱和的直链醛通常有令人不快的、辛辣的、尖刺的和刺激性的气味并带有油的和蜡的特征气味。池塘养殖蟹中辛醛含量(0.59%)比阳澄湖蟹中含量高(0.43%),这可能是阳澄湖蟹风味比较好的原因之一。已经确认的出现在水体中的鱼腥味物质有己醛,庚醛和 2,4-二烯癸醛^[14],其来源主要是藻类代谢和供水系统。仅在池塘养殖蟹中检测到己醛(0.43%),这可能是区别两种蟹来源产地的特征物质之一。

酮类可能由多不饱和脂肪酸的热氧化或降解、氨基酸降解或微生物氧化产生。酮类贡献于甲壳类鱼肉的甜的花香和果香风味^[15]。甲基酮($C_3 \sim C_{17}$)类被发现于甲壳类鱼肉中,可能是由它们的碳链的 β -氧化和随后的脱羧基作用生成。这些化合物有独特的清香和果香,并且随碳链的增长给出更强的花香特征。烯酮类是在加热期间生成的脂质氧化的产物,并且有很浓的似玫瑰叶香^[16]。在阳澄湖蟹中检测到的酮类物质含量(3.34%)高于池塘养殖蟹中的含量(1.44%)。其中仅在阳澄湖蟹中检测到 6-甲基-7-辛烯-2-酮和 2-十一烷酮。这可能是阳澄湖蟹风味区别于池塘养殖蟹的原因之一。

酯类被认为是发酵或脂质代谢生成的羧酸和醇的酯化作用的产物。一般,酯给予食品一种甜的果香,其中乙酸乙酯具有菠萝的果香气。本实验中检测出 3 种酯类物质。其中阳澄湖蟹中乙酸乙酯含量高于池塘养殖蟹含量。仅在阳澄湖蟹中检测出正十二烷酸甲酯和正十二烷酸乙酯,这也许是两种蟹相互区别的风味特征物质。

简单酚的生成是经过 2 种途径,即酚羧酸脱羧作用和木质素热降解。与酚相关的芳香是木香、烟熏香和焦香^[17]。本实验仅在阳澄湖蟹中检测出苯酚(0.94%),这可能是造成这 2 种蟹风味差异的原因之一。

含氮含硫化合物在肉中大多数以很低的浓度存在,但因其阈值较低,是肉品最重要的风味呈味物,多数具有肉香、烤肉香、焦香和坚果香等。噻唑可能是

通过半胱氨酸或胱氨酸的热降解,或含硫氨基酸与碳基化合物相互作用生成。2-乙酰基噻唑有坚果香、谷物香、似饼干香或似爆玉米花香^[18]。在阳澄湖蟹中检测出的2-乙酰基噻唑含量高于池塘养殖蟹中的含量,这也可能是阳澄湖蟹风味不同于池塘养殖蟹的原因。

2-烷基呋喃类物质是亚油酸氧化产物,通常具有较高的气味阈值而认为其对肉食品风味的贡献并不是很重要,然而2-戊基呋喃的阈值相对较低(大约为4ppb),Hsieh等人发现2-戊基呋喃对于小龙虾和蟹肉的风味有负面的贡献,它也被报告在一些脂肪和油中有异常风味的效应并且给贮存的大豆油以一种豆和草的气味^[19]。本实验只在池塘养殖蟹中检测到2-戊基呋喃,虽然含量仅为0.35%,但是其阈值也较低,2-戊基呋喃可能是引起池塘养殖蟹风味区别于阳澄湖蟹的原因之一。

3 展 望

对中华绒螯蟹挥发性成分的研究刚刚起步,还需要深入地做许多基础及应用研究工作。不同养殖产地的中华绒螯蟹挥发性物质的组成及含量存在很大差异性,需通过进一步深入研究包括结合感官试验法方可加以确定。本试验结果不仅为我国中华绒螯蟹养殖产地来源的鉴定提供了一些初步数据,并为中华绒螯蟹风味的研究和应用提供有关理论参考。

参 考 文 献

- 孟绍凤,顾小红,王利平等. 中国对虾、秀丽白虾及日本沼虾风味成分的研究[J]. 河南工业大学学报, 2006, 3(27):39~44
- Dewei Chen, Min Zhang. Analysis of volatile compounds in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2006, 14(3):76~82
- Kae Morita, Kikue Kubota, Tetsuo Aishima. Investigating sensory characteristics and volatile components in boiled scallop aroma using chemometric techniques [J]. Food Chemistry, 2002, (78):39~45
- Hau Yin Chunga, Ivan Ka Shing Yungb, Wing Chi Joyce Mab, et al. Analysis of volatile components in frozen and dried scallops (*Patinopecten yessoensis*) by gas chromatography/mass spectrometry[J]. Food research international, 2002, (35):43~53
- Arthur C L, Pawliszyn J Anal Chem, 1990, 62:2145~2148
- Stephen Elmore J, Donald S Mottram, Eva Hierro. Two-fibre solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry for the analysis of volatile aroma compounds in cooked pork[J]. Journal of Chromatography A, 2000(905):233~240
- Soo-Yeun Moon, Eunice C Y. Li Chan. Development of solid-phase microextraction methodology for analysis of headspace volatile compounds in simulated beef flavor [J]. Food Chemistry, 2004, 88:141~149
- Maria D Gulillen, Maria C Errecalde. Volatile components of raw and smoked black bream (*Brama raii*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) studied by means of solid phase microextraction and gas chromatography/mass spectrometry[J]. Journal of the Science of Food Agriculture, 2002, 82:945~952
- Linder M, Ackman R G. Volatile compounds recovered by solid-phase microextraction from fresh adductor muscle and total lipids of seascallop (*Placopecten magellanicus*) from Georges Bank (Nova Scotia)[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(6):2032~2036
- Tanchotikul U, Hsieh T C. Volatile flavor components in crayfish waste [J]. J Food Science, 1989, 54, 1515~1520
- Hsieh T C Y, Vejaphan W, Williams S S, et al. ACS Symposium Series 409[M]. Washington(DC): American Chemical Society, DC, 1989. 386~395
- Shahidi F. 李 洁, 朱国斌译. 肉制品与水产品的风味[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2001, 62~78
- Spurvey S, Pan B S. Shahidi F. Blackie Academic and Professional[M]. London: United Kingdom, 1998. 159~196
- Suffel III, Khiari D, Bruchel A. Water Science Technology, 1999, 40(6):1~13
- Cha Y J, Baek H H, Hsieh T C. Volatile components in flavor concentrates from crayfish processing waste[J]. J Sci Food Agric, 1992, 58, 239~248
- Karahadian C, Lindsay R C. Evaluation of compounds contributing characterizing fishy flavors in fish oils[J]. J Amer Oil Chem Soc, 66, 953~960
- Kubota K, Matsufusa K, Yamanishi T, et al. Cooked odor of Arctic krills[J]. Nippon Nogeikagaku Kaishi, 1980, 54:1~5
- Mottram D S. Flavor formation in meat and meat products [J]. Talanta, 2003, 60(4):755~764
- Krishnamurthy R G, Smouse S T, Mookherjee B D, et al. Identification of 2-pentyl furan in fats and oils and its relationship to the reversion flavor of soybean oil[J]. J Food Sci, 1967, 32, 372~377

(下转第148页)

- beta-carotene or canthaxanthin[J]. J Chromatogra, 1991,(553):179~186
- 7 惠伯棣..类胡萝卜素化学及生物化学[M].北京:中国轻工业出版社,2005.1
- 8 Analytical Methods for Residual Compositional substance of Agricultural chemicals, Feed Additives, and Veterinary Dvugsin food, Department of food Safety Ministry of Health, Labear and welfave [2006-05-26] http://www.mhlw.go.jp/english/topics/food_safety/positivie/List060228/dl/060526-/a.pdf
- 9 陈勇,李德发,陆文清,等.测定水生红球藻中虾青素及其它色素含量的高效液相色谱法[J].分析测试学报,2003,22(4):28~31
- 10 陈晋明,王世平,陈敏,等.反相高效液相色谱法检测虾青素[J].化学分析计量,2006,15(2):27~29

Determination of Canthaxanthin and Astaxanthin in Animal Origin Food by HPLC

Yu Kongjie, Qian Jiang, Yang Fang, Huang Jie,
Li Yaoping, Li Jie, Cai Chunping

(Fujian Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Fuzhou 350001, China)

ABSTRACT A method had been developed to determine canthaxanthin and astaxanthin in animal origin food by high performance liquid chromatography. The canthaxanthin and astaxanthin in the test sample are extracted with acetonitrile containing BHT and defatted with hexane. In the levels of 0.1~1 mg/kg spike concentration in large yellow croaker muscle, eel muscle, chicken muscle, chicken egg, duck liver, pig kidney and milk, The spiike average recoveries of canthaxanthin and astaxanthin are in the range of 84.2~103.1% and 83.1~98.7%, respectively, and the relative standard deviation (RSD) falls in the range of 3.0~10.5% and 2.0~8.9%, respectively. The limits of detection of canthaxanthin and astaxanthin are all 0.1 mg/kg.

Key words animal origin food, canthaxanthin, astaxanthin, HPLC

(上接第 144 页)

Research on Volatile Compounds of Chinese Mitten Crab

Zhang Na¹, Yuan Xin Hua¹, Guo Shi Dong¹, Wang Li Ping²

1(The School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Key Laboratory of Ministry of Education in Food Science and Safety, Wuxi 214122, China); 2(Center of Analysis and Test of Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT In this paper, the volatile compounds of Chinese mitten crab were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry with solid phase microextraction technique. A total of 45 flavor compounds were identified, including 10 hydrocarbon compounds, 16 alcohols, 4 aldehydes, 3 ketones, 3 esters, 1 phenols, 7 nitrogen or sulphur compounds, 1 furan compounds.

Key words Chinese mitten crab, volatile compounds, GC-MS

信息
窗

法国公司开发生物法生产琥珀酸和 PDO

法国启动的 BioHub 计划旨在鼓励工业生物技术开发,最近公布了 2 项开发成果。欧洲最大的淀粉和淀粉衍生物生产商——Roquette 公司与帝斯曼公司合作将生物基琥珀酸(丁二酸)推向商业化,他们计划于 2009 年底在法国 Lestrem 投运示范装置。

琥珀酸现从原油或天然气生产,两家公司将采用合作开发的发酵工艺生产生物基琥珀酸,据称这是该工艺的首次应用,它可组合利用 CO₂。验证装置年生产能力将为数百吨。如验证成功,该合作伙伴将采用该技术在 2 年内建设大规模生产装置。

另一项开发成果是 Metabolic Explorer 公司已采用美国专利,利用发酵方法从粗甘油生产 1,3-丙二醇(PDO)。这也将是这项美国专利专门用于将甘油转化为高产率 PDO 的首次应用。