

國立臺灣海洋大學食品科學系碩士班

專題討論書面報告

油爆蔥風味形成

任課老師：黃崇雄 老師

方銘志 老師

指導老師：方銘志 老師

學 號：41042013

學 生：吳瑞芬

報告日期：2022 年 4 月 9 日

內容	時間掌控	表達能力	投影片	書面資料
40%	10%	30%	10%	10%

指導教授簽名：

爆蔥油風味研究

吳瑞芬

2022/04/29

- 一、 前言
- 二、 實驗方法
- 三、 數據結果
- 四、 結論

摘要

爆蔥在傳統中式料理做法廣泛運用，近來在食品製造業也相當盛行。因此，研究爆蔥在油炸過程中的物理、化學變化進而了解風味形成機制。當油溫升高到 140 °C 以上，會發生明顯的變化。宏觀看來，焦味、炸味、油味、熟蔬菜味和鹹味的感官特性都得到加強，同時透過電子鼻檢測發現，油樣品的參考點是區分開來的。從微觀上看 SAFE-GC-MS 分析，呋喃和呋喃酮、含硫化合物、醛類和醇類的含量急劇增加，不飽和脂肪酸的含量顯著下降，而飽和脂肪酸的含量增加。由這些變化可推測，是油炸促使碳水化合物、蛋白質和脂肪之間的相互作用以及糖、氨基酸和脂肪的熱降解引起的。結果顯示，在 140°C 至 165°C 的溫度下油炸是油脂風味形成最重要的時期。

1 前言

爆蔥在傳統中式料理做法廣泛運用，近來在食品製造業也相當盛行。在許多中式菜餚的準備過程中，大蔥、蒜、青蔥等，會在高溫下進行爆香，從而獲得特殊風味。此風味可以掩蓋菜餚裡的腥羶異味、增強風味。在蔥屬香料中，大蔥 (*Allium fistulosum* L.) 是中國傳統家庭烹飪以及爆香過程中最重要的調味料之一。隨著食品工業的發展，爆蔥風味的香料也被廣泛應用於多種食品中，如：方便麵、洋芋片等…。然而，相較於生蔥或未經加工的蔥，熱處理加工蔥在研究揮發性物質的研究卻很少。總體而言，爆蔥風味對中式料理產業化有重要的影響力。

油炸風味的形成是食物以油當介質，在加熱過程中復雜的物理、化學相互作用的結果。油炸過程中發生的物理反應為油炸食品的質地提供了物質基礎。此外，油炸過程中的化學反應包括脂肪本身與菜餚中其他的食材所產生的變化。油脂的熱降解反應為油炸食品的風味提供了物質基礎，而蛋白質和糖類之間的美拉德反應形成了油炸食品的風味和色澤。在油炸過程中，風味主要由脂肪氧化降解和美拉德反應所形成。氨基酸降解和褐變

35 反應，也有助於風味化合物的產生。油炸過程中產生的揮發物包括烷烴、
36 醇、醛、酮、酸、酯、內酯和雜環化合物。

37 雖然尚未有相關研究提出爆蔥風味的主要成分和形成機制，但先前有
38 研究過生蔥、烤蔥和油炸蔥的揮發性化合物主成分為：硫化物、二硫化物、
39 三硫化物和噻吩。採用同時蒸餾萃取法 (SDE) 對炒小蔥的揮發性物進行分
40 析，結果表明：二甲基三硫、2,4-二甲基噻吩、糠醛、2,5-二甲基吡嗪和 2-
41 乙基-3,6-二甲基吡嗪是影響風味特徵的主要素。此外，採用兩種不同的加
42 熱處理方法來檢測炸紅蔥的品質，主要揮發性物質為酸 (2-丁烯酸和乙酸)、
43 不飽和醛 (2-丙烯醛、2,4-庚二烯醛和 3-甲基-2-丁烯醛) 和噻吩 (2,4-二甲
44 基噻吩)。經加熱處理的大蒜油也有相關研究，使用改良的 SDE 設備來識
45 別油煎、油炸、微波油炸、烘烤和微波烘烤大蒜的風味，結果表明，在不
46 同的加熱處理下，風味化合物會發生變化：二烯丙基二硫化物和二烯丙基
47 三硫化物是烘烤和微波烘烤大蒜樣品中的主要化合物；二烯丙基二硫化物、
48 甲基烯丙基二硫化物和乙烯基二硫苷是油煎、油炸和微波油炸大蒜樣品中
49 的主要成分。大蒜油處理有利於乙烯基二硫的形成，油處理大蒜樣品中二
50 烯丙基三硫化物的含量非常低。此外，在烘烤和油處理的大蒜樣品中發現
51 了大量的含氮揮發性化合物。透過頂空氣體分析，部分化合物，包括二甲
52 基硫醚、烯丙醇、二烯丙基硫醚、甲基烯丙基二硫醚和二烯丙基二硫醚，
53 被認為是主要的揮發物質；然而，通過 SDE 分離時，主要化合物是二烯丙
54 基二硫化物、二烯丙基三硫化物和二硫因。

55 此外，溶劑輔助風味蒸發裝置 (SAFE) 發明於 1999 年。近年來，此法
56 因其提取效率高而被廣泛應用於食品香精領域。此外，除了經典的儀器技
57 術 (主要是色譜法)，另一種應用於食品控制的有效方法是電子鼻分析。就
58 不同傳感器的響應值而言，電子鼻可以區分樣品的芳香特徵，分析時間短、
59 靈敏度足夠，成本相對較低。到目前為止，利用上述這些新方法對油爆蔥
60 的風味進行研究的文獻還很少。

61 本研究以大蔥、大豆油做為爆蔥油的原料。通過感官分析、電子鼻和
62 SAFE-GC-MS 分析等系統研究，確認爆蔥油風味成分的理化性質及風味成
63 分的形成機制。此外，製備過程中產生的風味特徵和脂肪酸成分的變化也
64 加以測定，以探索風味成分的形成機制。研究油爆蔥油的風味具有重要意
65 義，可提供理論依，為中式傳統菜餚的標準化和產業化奠定基礎。

66

67 2 實驗方法

68 化學法：溶劑採 HPLC 等級國際標準之二氯甲烷、1,2-二氯苯。使用
69 烷烴測量滯留指數(RI)。

70 2.1 樣品製備步驟

71 新鮮大蔥購自北京市場，以及中國製大豆油。取蔥白部分做
72 實驗，將其分切成 1 公分左右。使用直徑 12 至 18 公分的盆子置
73 於電磁爐上加熱。使用油品溫度計測量溫度。在實驗開始前，預

74 先準備油爆好的蔥以取得其風味。步驟為：300 公克的大豆油倒
75 入盆中，等油溫升到 140°C 時，放入蔥段直至達最終溫度 165°C。
76 剛放入蔥段時油溫會因為樣品中的水分而降低，此時的油溫會稍
77 微低於 100°C。待油溫達最終溫度時停止加熱，並迅速將蔥段和
78 油分離、盡速降溫至室溫。油炸時須不停攪拌以免燒焦。以上樣
79 品製備的方法是為了優化基礎加工情況的結果，以利取得風味較
80 好的蔥油。

81 為了研究蔥油形成機制以及風味在上述步驟的形成點。油溫
82 最終溫達 100°C、110°C、120°C、130°C、140°C、165°C 做分別測
83 試。取樣進行二重複後將其混合，再進行結果分析。

84 2.2 感官分析

85 感官分析可描述蔥油主要組成的風味。此實驗於感官測試廳，
86 室溫、相對濕度下進行。感官分析小組共 10 人，6 名女性、4 名
87 男性，年齡介於 23 至 30 歲。檢測人員均受過感官測試訓練並有
88 豐富經驗。10 公克蔥油樣品於 30 毫升無色 PET 透明瓶中隨機放
89 置。檢測人員討論爆蔥油不同的香氣標準後將描述進行整合，最
90 終取得 7 種形容辭彙作為定量描述的依據，分別為：鹹味、油炸、
91 油味、焦味、煮熟的菜味、青草味、辛辣味。接下來檢測人員採
92 用分數進行評分，0 表示無，9 表示非常強烈。對結果取得平均值，
93 並進行主成分分析法(PCA)。

94 2.3 電子鼻分析

95 PEN 3 電子鼻設備有 10 個不同的金屬氧化物傳感器，可用來
96 偵測 W1C (芳香化合物)、W5S (廣譜化合物)、W3C (氮和芳香
97 族化合物)、W6S (氫)、W5C (芳族脂肪族)、W1S (甲烷，範圍廣
98 泛的化合物)、W1W (硫化合物)、W2S (廣義醇化合物)、W2W
99 (硫-氮)、和 W3S (甲烷-脂肪族)。

100 對不同終止溫度的樣品以電子鼻分析。將 7 g 蔥油置於 15 mL
101 頂空進樣瓶中，然後將每個樣品在 100°C 下加熱 30 分鐘以平衡
102 樣品上方的頂空生成。分析採樣時間為 60 秒，進樣流量 300 mL/
103 min，測量完成後，電路待機 10 分鐘，並用乾淨的空氣潔淨樣品
104 放置處，直到傳感器信號返回基線，每個樣品至少進行三重複。
105 以電子鼻自帶軟體進行主成分分析法 (PCA)。

106 2.4 溶劑輔助蒸餾法 (SAFE)

107 2.4.1 新鮮大蔥直接溶劑萃取 (DSE)

108 採用直接溶劑萃取 (DSE) 在環境溫度 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) 下提
109 取新鮮大蔥的揮發性化合物。取 20 公克新鮮切碎的青蔥樣品
110 放入錐形瓶中，加入 100 mL 蒸餾水，混合物用分析級氯化鈉
111 飽和。使用數字加熱版電子攪拌器以 1500 rpm 的速度將混合
112 物均質 5 分鐘，加入內標儲備溶液(1000 μL 二氯甲烷溶劑、

113 26.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 鄰二氯苯) 到混合物中進行萃取。將混合物在環
114 境溫度 ($20 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$) 以 1500 rpm 攪拌 30 分鐘。萃取結束後，
115 將萃取液以 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 、轉速 3000 rpm 的條件下離心 10 分鐘來取
116 得澄清溶劑。此步驟進行二重複，取得溶劑萃取液約 100 mL，
117 用於 SAFE 操作。

118 2.4.2 溶劑輔助蒸餾法 (SAFE)

119 取爆蔥油樣品 50 公克於燒杯中，加入二氯甲烷，(m : V
120 = 1 : 4) 和內標儲備溶液 (26.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 鄰二氯苯) 均勻混和用
121 於 SAFE 程序以去除非揮發性物質。該過程通過將壓塊連接
122 到蒸餾頭來快速萃取溶劑中揮發物質。對設備施加高真空以
123 將揮發物從有機相中分離出來。除去非揮發性化合物後，
124 SAFE 餾出物用無水硫酸鈉乾燥，然後使用旋轉蒸發儀緩慢蒸
125 發至 6~8 mL。使用溫和的氮氣流將提取物濃縮至 500 μL 。樣
126 品一式三份製備並儲存在 $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 的 2 mL 玻璃瓶中，用於
127 GC-MS 分析。

128 2.5 通過 GC-MS 測定揮發性化合物及相對定量

129 使用 ISQ LT-TRACE 1310 進行 GC-MS 分析，TG-Wax 毛細管
130 柱 ($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm}$, $0.25\mu\text{m}$) 氮氣流速 $1.0\text{ mL}/\text{min}$ ，GC 柱箱溫
131 度編程如下：初始溫度 $40\text{ }^\circ\text{C}$ ，保持 1 分鐘，以 $4\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升溫至
132 $220\text{ }^\circ\text{C}$ ，並保持 8 分鐘。

133 MS 條件：EI 電離源；電子能量 70 eV；離子源溫度 $250\text{ }^\circ\text{C}$ ；
134 傳輸線溫度 $250\text{ }^\circ\text{C}$ ；質量掃描範圍 m/z 35–550 amu；進樣量 $1\text{ }\mu\text{L}$ ；
135 注射器溫度 $250\text{ }^\circ\text{C}$ ；分流比 5:1。

136 通過將其質譜與 NIST 2014 數據庫中的光譜進行比較，通過
137 GC-MS 初步鑑定了揮發性化合物。在相同的色譜條件下分析同源
138 系列的正構烷烴 ($\text{C}_6 \sim \text{C}_{30}$)，計算被檢測化合物的保留指數
139 (RI)，並與 2014 年的 NIST 資料中的保留指數進行比較，真實化
140 合物用於確認揮發性化合物的鑑定。以下等式：

141 (1) 用於計算每種化合物的 RI 值：

142
$$\text{RI} = 100 \times \left\{ n + \frac{[\lg t'(i) - \lg t'(n)]}{[\lg t'(n+1) - \lg t'(n)]} \right\}$$
 式中：n 和 (n+1) 分別表示化
143 合物流出前後烷烴中的碳原子數 $t'(n)$ 和 $t'(n+1)$ 是烷烴的相應保
144 留時間， $t'(i)$ 是待鑑定化合物的保留時間 ($t'(n) < t'(i) <$
145 $t'(n+1)$)。

146 (2) 通過將揮發物的峰面積與內標法計算(1,2-二氯苯) 的峰面積
147 相關聯，計算出芳香化合物的相對濃度，每種化合物的含量可以
148 用方程式表示：

149
$$W(i) = f'(i) \times \left[\frac{A(i)}{A(s)} \right] \times w(s)$$

150 式中： $w(i)$ 代表待測組的揮發性化合物； $w(s)$ 為內標含量；
151 $A(i)$ 和 $A(s)$ 分別是 GC 色譜圖上揮發性化合物和內標的峰面積；
152 每個要測量的成分的相對校正因子 $f'(i)$ 為 1.0。

153 2.6 脂肪酸含量的測定

154 脂肪酸含量根據 GB/T 17376-2008 和 GB/T 17377-2008 測定。

155 2.7 統計分析

156 對於不同終止溫度的每個樣品，結果表示為至少三個獨立的
157 預處理實驗（提取程序）的平均值±標準偏差(SD)。還針對不同油
158 樣的揮發性化合物的差異進行了主成分分析 (PCA)。所有統計分
159 析均使用 SPSS 軟體和 XL-stat-Pro。

160

161 3 數據結果

162 3.1 感官品評

163 使用感官分析評估來自不同終止溫度的油。如 Fig. 1 所示，
164 兩個主成分 (PC1 和 PC2) 佔變異數 94.94 % (分別為 82.61% 和
165 12.33%)。根據 PCA 結果，這些油樣在 PCA 圖上是分開的。燒焦、
166 油炸、油膩、熟菜和鹹味等感官屬性隨著油溫的升高而增加，而
167 青草味和辛辣味減少。當溫度從 140°C 升高到 165°C 時，焦、油、
168 炸的味道明顯增加，165°C 的樣品最接近焦味、油味。由此現象推
169 判，香氣屬性的物質在此階段迅速增加，引起爆蔥油的整體風味
170 特徵發生了變化。

171 3.2 電子鼻測試

172 使用電子鼻來研究油製備過程中的風味變化。電子鼻分析的
173 PCA 結果如 Fig. 2 和表 S1 (附錄 A) 所示。兩個主成分 (PC1 和
174 PC2) 佔變異數 95.54% (分別為 76.46% 和 19.08%)。根據 PCA 結
175 果，可以在 PCA 圖上分離油樣。樣品根據油溫可分為三個階段，
176 即 100°C~120°C 為第一階段，130°C~140°C 為第二階段，165°C
177 為最後階段。第一階段油樣分佈在 PC1 座標的正值，100°C 的樣
178 本與 110°C~120°C 的樣本在 PC2 座標上有所區別。這表明第一階
179 段的樣品在整體風味上發生了一些變化。第二階段的油樣分散在
180 PC1 座標的負側，顯然上述兩階段的樣品完全區分開來。隨著油
181 溫升高到第三階段，樣品的指紋立即與其他指紋區分開來，並且
182 之間的距離明顯增加。總的來說，蔥油風味在第三階段發生了顯
183 著變化，推判是在整個製備過程中產生獨特爆蔥油風味的關鍵時
184 期。同時，電子鼻呈現的多樣化與感官分析結果一致。

185 此外，在電子鼻傳感器方面，W5S、W6S、W1W 和 W2W 傳
186 感器與 165°C 蔥油的相關性最強 (Fig. 2)。就傳感器本身的特性而言，
187 可以得出以下結論：含硫化合物對爆蔥油的風味特徵具有重要貢
188 獻。

189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227

3.3 DSE-SAFE-GC-MS 分析

3.3.1 爆蔥油製備過程中香氣成分的變化

由 SAFE-GC-MS 測定製備過程中使用的不同終止溫度的總離子色譜圖如圖 S1 (附錄 A) 所示，相應的分析結果如 Table 1 所示。依據 GC-MS 數據進行 PCA 分析，指紋結果如 Fig. 3 所示。如 Fig. 3 所示，根據最終油溫的不同，油炸過程在二維圖中一般可以分為三個階段，第一階段 100°C~110°C 位於第二象限，第二階段 120°C~140°C 主要位於第三象限，最後階段 165°C 位於第一象限。此結果與用電子鼻獲得的結果一致。當最終溫度在 100°C~140°C 之間時，樣品大多分散在 PC1 的負極側。然而，當終端溫度為 165°C 時，樣品位於 PC1 的正極側，在 PCA 圖上 165°C 的樣品與其他樣品分離得很遠。這一現象指出，當油加熱到 165°C 時，整體風味特徵發生了顯著變化，這使得油炸的這一階段是風味形成的關鍵時期。

如 Table 1 所示，在不同終止溫度的所有爆蔥油樣中共檢測到 103 種揮發性成分。化合物按其官能團分類，包括烷烴 2 種、醇酚類 18 種、醛類 16 種、酮類 16 種、酸類 3 種、呋喃類和呋喃類 17 種、含氮化合物 11 種、含硫化合物 19 種。各化學基團的含量變化曲線如 Fig. 4 所示。可以看出，隨著油溫的升高，某些化學類別的總含量比其他化學類別的含量增加更多。化學類別增加最多的是呋喃和呋喃酮，其次是含硫化合物、醛和醇。這些物質在三個階段含量逐漸增加，油溫達到 165°C 時生成速率加速。此外，含氮化合物和酮的含量在第一階段變化非常小，但在第三階段明顯增加。這表明這些成分主要是在第三階段產生的。然而，酸含量增加的量很小，烷烴含量沒有明顯變化。此外，GCMS 識別的揮發物負載圖如 Fig. S2 (附錄 A) 所示。某些特定化合物對 165°C 爆蔥油的整體風味有顯著影響，其中主要是呋喃、呋喃酮和含硫化合物。因此，我們可以得出結論，呋喃和呋喃酮類、含硫化合物、醛類和醇類是增加爆蔥油風味最重要的物質類別。換言之，它們與燒焦、油炸、油膩、熟菜和鹹味等感官屬性有密切相關。其中，呋喃和呋喃酮發揮了最重要的作用。

此外，與以往對炸蔥和炸大蒜的研究相比，它們之間的相似之處在於所鑑定化合物的化學基團。在這些化學類別中，含硫化合物、吡嗪和不飽和醛都被認為是最重要的風味貢獻者。但是，當涉及到某種化合物時，在種類和內容上存在差異。例如，炒大蒜中的主要含硫化合物是烯丙基硫化物，而大蔥中的甲基硫化物則更為顯著。

3.3.2 新鮮大蔥中與爆蔥油之揮發性成分比較分析

進行 DSE-SAFE-GC-MS 以分析存在於新鮮大蔥中的揮發性化合物。色譜圖見 Fig. S3 (附錄 A)，相關分析結果見 Table 1。結果表明，共鑑定出 59 種揮發性化合物，即烷烴 2 種、醇類 7 種、醛類 6 種、酮類 3 種、酸類 1 種、酯類 3 種、呋喃和呋喃酮類 3 種，含硫化合物 34 種。一般來說，含硫化合物在各種芳香活性物質中具有最低的閾值。它們通常以低濃度存在，但對香氣的貢獻很大；因此，它們在整體食品風味特徵中發揮了重要作用。含硫化合物通常具有令人不快的香氣；然而，當稀釋到 ppb 或 ppm 濃度時，它們的香氣會發生巨大變化，從而產生新鮮洋蔥、大蒜、肉類和熱帶水果等食物的香氣，根據分析結果，含硫化合物在新鮮大蔥中占主要位置，這些化合物佔氣味貢獻化合物總含量的 70%。新鮮大蔥中檢出含硫化合物 34 種，在含硫化合物中，硫化物（多達 21 種）是主要成分，佔總含量的 69.5%。顯然，硫化物是新鮮蔥特徵曲線的最大貢獻者。

如 Table 1 所示，在新鮮大蔥及其炸油中共鑑定出 25 種相同的化合物。最常見的物質是 11 種含硫化合物，此外，與生蔥中的成分相比，熱處理導致揮發性化合物的成分發生變化。對於上述化合物，其成分隨油溫升高而增加的變化趨勢圖如 Fig. S4 (附錄 A) 所示，而相反趨勢的圖表如 Fig. S5 (附錄 A) 所示。除了共同特徵外，新鮮大蔥與其炸蔥油之間還存在許多差異。如 Table 1 所示，生蔥樣品中鑑定出 34 種揮發性化合物，而在油爆蔥樣品中鑑定出 78 種化合物。此外，含氮化合物僅在油爆樣品中發現，而在青蔥樣品中未發現，這表明油炸過程明顯改變了蔥的主要風味，造成顯著的感官差異。

除了碳水化合物和精油，大蔥還含有豐富的蛋白質和氨基酸，包括 S-甲基-L-半胱氨酸亞砷 (MCSO)、S-丙基-L-半胱氨酸亞砷 (PeCSO)、S-丙基-L-半胱氨酸亞砷 (PCSO)，此外，一些游離氨基酸和多醣也被認為是主要成分。大豆油在油脂製備過程中作為導熱介質。綜合上述原因，在油中鑑定的 78 種化合物，根據其可能的形成途徑，可分為兩類：

第一類：基礎化合物之間的相互作用。即為碳水化合物、蛋白質和脂肪。這些物質在加熱過程中相互作用，糖和氨基酸形成美拉德反應（褐變反應）是最重要的過程。一般來說，初始階段由於加熱時間短、溫度低，美拉德反應主要產物是醛類。這些產物可以進一步相互作用形成特徵芳香化合物，如內酯和呋喃。隨著加熱時間的增加和溫度的升高，產生了

267 一些具有烘烤香味的物質，如吡嗪、吡咯和吡啶。油中的主
268 要物質是呋喃、呋喃酮和含氮化合物。根據所有鑑定出的成
269 分的數量和含量，呋喃和呋喃酮是主要成分，最豐富的化合
270 物是呋喃醇。DMHF 是一種不可或缺的風味化合物，帶有焦
271 糖、鳳梨和草莓的味道。DMH 的香氣強度是麥芽酚的 12.5
272 倍，是乙基麥芽酚的 2.5 倍。DMHF 在油的風味特徵中發揮
273 了重要作用。此外，含氮化合物僅在油中發現，在原料中未
274 發現，它們是在製備過程中通過美拉德反應生成的。在這些
275 化合物中，2-甲基-吡嗪、2-乙基-吡嗪和 2-乙基-5-甲基-吡嗪
276 等化合物，通常具有烘烤和堅果的味道，它們也對油的風味
277 特徵做出了重大貢獻。

278 第二類：基礎化合物熱降解。這些化合物可分為三種；
279 糖的熱降解、氨基酸的熱降解和脂肪的熱氧化降解。在這項
280 研究中，醣類熱降解的主要產物 2-乙酰呋喃。其中較為重要
281 的化合物是氨基酸熱降解產生的化合物，其產物主要包含二
282 甲基三硫醚、丙基硫醚、甲硫醚。它們大多具有較低的閾值
283 和較濃的香氣，是中式料理中肉香的主要成分。二甲基三硫
284 化物具有洋蔥和大蒜的特徵氣味通常是油品中最重要揮發
285 物，其閾值(0.005-0.01 ppb)甚至低於 DMHF。在油炸過程中，
286 其含量隨油溫升高而增加，可能是大蔥中的 S-甲基-L-半胱氨
287 酸亞砷等含硫物質降解而產生的。蛋氨酸是通過酶催化過程
288 從蛋氨酸中提取出來的，具有鹹味和煮熟的蔬菜味。

289 脂肪的熱氧化降解可分為兩類，一類是由不飽和脂肪酸
290 生成的烯烴醛類，一類是由飽和脂肪酸生成的甲基酮、內酯
291 和酸。這類物質被認為是油炸食品的特徵香氣化合物，有油
292 炸和脂肪的味道。

293 對於第一類，(E)-2-庚烯醛和 2,4-癸烯醛濃度最高。2,4
294 癸二烯醛 (0.07 ppb) 是油炸食品的特徵香氣化合物，在脂
295 肪熱分解產生的所有羰基化合物中貢獻最多。第二類主要產
296 物為 2-庚酮、 γ 丁內酯和丙酸等低碳酸。雖然它們不是整體
297 風味的主要香氣化合物，但它們可以修飾甚至平衡整體風
298 味。

299 3.4 脂肪酸含量的測定

300 針對不同最終溫度蔥爆由進行檢測，根據 Table 2 所示，在油
301 脂中檢測到主要脂肪酸是亞油酸、油酸、棕櫚酸、亞麻酸和硬脂
302 酸。這 5 種脂肪酸在所有樣品中測得含量均高於 1.0 g/100 g。在
303 這些化合物中，亞油酸和油酸的濃度最高。在飽和度方面，共鑑
304 定出 10 種飽和脂肪酸 (SFA)、7 種不飽和脂肪酸 (UFA)。SFA
305 和 UFA 在製備過程變化曲線如 Fig. S6 (附錄 A) 所示，油溫升至

306 140 °C 前，兩者變化趨勢相同，隨著油溫升高到 165 °C，SFA 的
307 含量迅速增加，而 UFA 含量變為零。為了進一步探究 UFA 含量
308 降低之因，研究了單不飽和脂肪酸 (MUFA) 和多不飽和脂肪酸
309 (PUFA) 含量的變化。如 Fig. S7 (附錄 A) 所示，UFA 含量下降主
310 要是因為 PUFA 含量的變化。

311 Fig. 2 所示，十二烷酸 (月桂酸) 僅在大豆油和加熱至 100 °C
312 的油中檢測到。油炸油中的脂肪酸成分會影響油炸產品的風味。
313 由於不飽和脂肪酸，如油酸、亞油酸和花生四烯酸，容易氧化並
314 產生過氧化物。這些過氧化物進一步分解產生揮發性羰基化合物，
315 如酮、醛和酸，這些化合物可以賦予食品獨特的風味。此外，內
316 酯可以通過脂肪酸與羰基的脫水環化生成，並且內酯通常具有令
317 人愉悅的香氣。此外，通過熱降解產物與蛋白質和氨基酸之間的
318 非酶褐變反應，可以產生具有特殊香氣的雜環化合物。本研究中，
319 在所有對油脂風味起重要作用的脂肪酸中，亞油酸和油酸這兩種
320 不飽和酸的含量最高。當油溫從 140 °C 升高到 165 °C 時，不飽和脂
321 肪酸的含量迅速下降，表明它們迅速轉化為其他物質。總體而言，
322 這一現象進一步表明，爆蔥油風味形成的關鍵時期是油炸溫度在
323 140~165 °C 的階段。

324 根據上述脂肪酸含量的結果，大豆油在油炸過程中起到了導
325 熱介質的作用，促進了大蔥中的風味前體轉化為相應的香氣化合
326 物。此外，大豆油中的脂肪酸組合物本身也在此過程中產生了新
327 的揮發物，這對整體風味特徵中的油炸味和油味起著非常重要的
328 作用。

329 4 結論

330 針對不同油溫，實驗了蔥 (*Allium fistulosum L.*) 油爆風味形成機制。
331 分析方法包括感官分析、電子鼻、採用 SAFE-GC-MS 和脂肪酸測定法
332 比較了油炸過程中不同階段製備的油爆蔥多樣性。隨著油溫升高，當
333 油溫升至 140 °C 時，感官品評和電子鼻分析均呈現明顯變化。當油溫在
334 140~165 °C 範圍時，某些化學類別的物質形成速度加快，主要是呋喃
335 和呋喃酮，其次是含硫化合物、醛和醇。因此，這些物質與感官品評
336 和電子鼻分析的變化密切相關。換句話說，這些化學物質，特別是呋
337 喃和呋喃酮，對油爆蔥獨特風味形成貢獻最大。此外，不飽和脂肪酸
338 含量明顯下降，而飽和脂肪酸則呈相反趨勢，進一步印證了上述觀點。
339 一般認為，油炸溫度在 140 °C~165 °C 是油爆蔥風味形成的關鍵溫度。
340 後續研究的重點是每種香氣活性物質對蔥油炸油整體風味的貢獻。

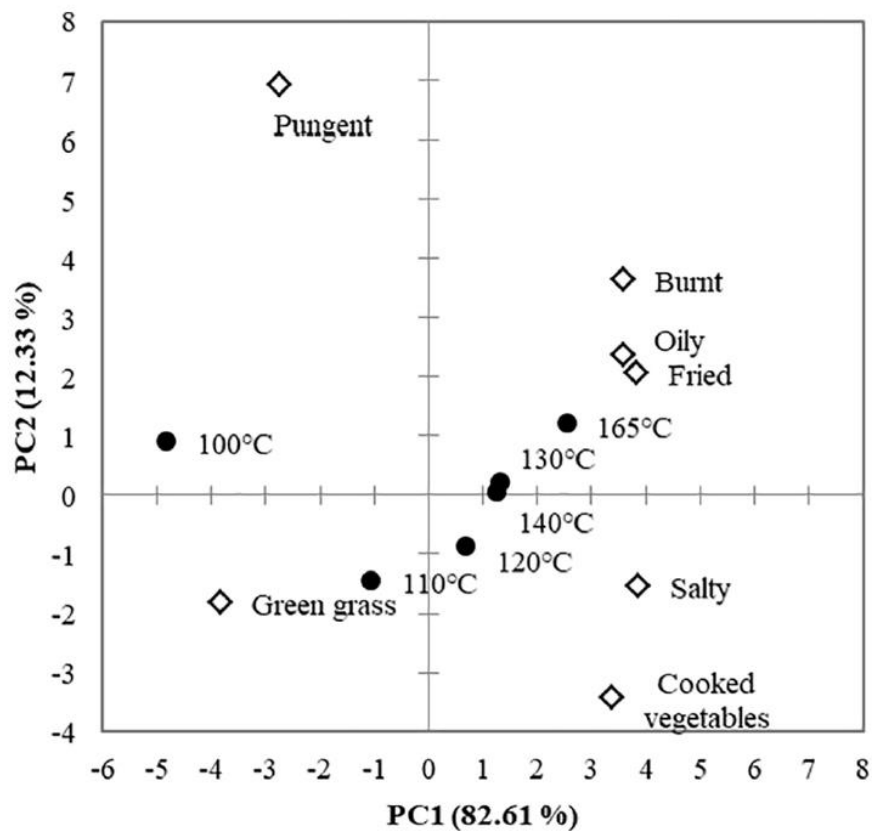


Fig. 1. PCA plot of the oils from different termination temperatures during the preparation process by sensory analysis.

341

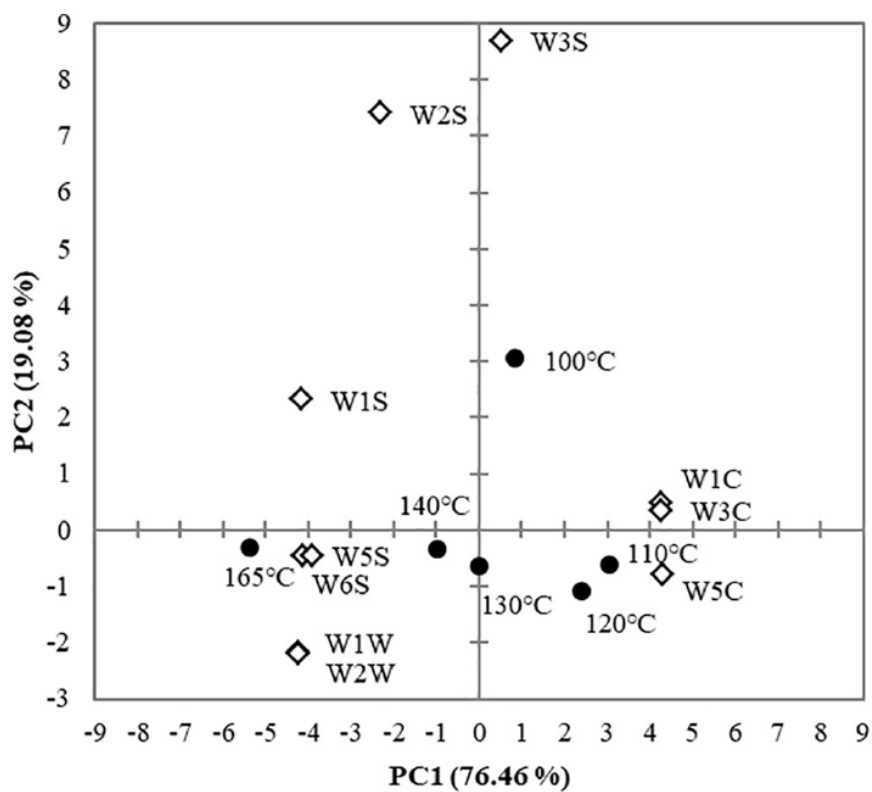


Fig. 2. PCA plot of the oils from different termination temperatures during the preparation process by electronic nose analysis.

342

Table 1 (continued)

No.	RT (min)	Compound name	Formula	CAS No.	Concn (ng/g)							RI
					Deep-fried oils of different roasting temperature							
					100°C	110°C	120°C	130°C	140°C	155°C	Exp./Lit.	
A51	16.39	Methionol	C ₆ H ₁₂ O ₂ S	3268-49-3	-	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	1456/1474
A52	16.52	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	64-19-7	-	0.29 ± 0.02	0.27 ± 0.04	0.34 ± 0.01	0.45 ± 0.04	0.74 ± 0.05	0.09 ± 0.01	1460/1484
A53	16.75	Formal	C ₂ H ₄ O	98-01-1	-	0.001 ± 0	0.001 ± 0	0.001 ± 0	0.001 ± 0	0.001 ± 0	1.49 ± 0.16	1468/1469
A54	17.35	2-Ethyl-6-methylpyridine	C ₉ H ₁₀ N ₂	13,925-09-2	-	0.54 ± 0.04	0.44 ± 0.14	0.36 ± 0.01	0.33 ± 0.02	0.34 ± 0.01	0.001 ± 0	1488/1490
A55	17.55	(E)-2,4-Hexadienal	C ₈ H ₁₄ O	4313-03-5	-	-	0.01 ± 0	0.02 ± 0	0.02 ± 0	0.03 ± 0	0.01 ± 0	1494/1490
A56	17.68	1-(E)-2,4-Hexadienal	C ₈ H ₁₄ O	27,482-14-0	-	-	0.03 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0	0.02 ± 0	1498/-
A57	17.78	Formyl formate	C ₂ H ₂ O ₃	13,493-97-5	-	0.003 ± 0	0.004 ± 0.01	0.01 ± 0	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.19 ± 0.01	1502/1504
A58	17.91	2-Acetylthian	C ₆ H ₁₀ O ₂	1192-62-7	-	0.004 ± 0	0.001 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.19 ± 0.01	1506/1512
A59	18.05	3-Nonen-2-one	C ₉ H ₁₈ O	14,309-57-0	-	0.003 ± 0	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.03 ± 0	1511/1508
A60	18.25	3-Methoxy-1-butanol	C ₅ H ₁₂ O ₂	2517-42-3	-	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.004 ± 0	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.03 ± 0	1518/-
A61	18.31	3-Oxocadin-2-one	C ₆ H ₁₀ O	38,284-27-4	-	0.002 ± 0	0.02 ± 0	0.03 ± 0	0.06 ± 0	0.05 ± 0	0.08 ± 0	1520/1521
A62	18.42	Methyl propyl triamide	C ₈ H ₁₆ N ₂ O	17,619-56-2	-	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.06 ± 0.04	0.02 ± 0	1523/1531
A63	18.76	(E)-2-Nonenal	C ₉ H ₁₆ O	18,929-56-6	-	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.06 ± 0	1536/1535
A64	18.85	2-Ethyl-2-methyl-3-butanone	C ₇ H ₁₄ O	49,441-11-1	-	0.03 ± 0	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.04 ± 0.01	0.06 ± 0	1542/-
A65	18.97	2,4-Dimethyl-2-pentanone	C ₇ H ₁₄ O	69,442-91-2	-	0.03 ± 0	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.04 ± 0.01	0.06 ± 0	1542/-
A66	19.15	2-Pentylacetone	C ₇ H ₁₄ O	1121-60-4	-	0.03 ± 0	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.04 ± 0.01	0.06 ± 0	1542/-
A67	19.16	(E)-3-Pentyl-2-penten-2-one	C ₉ H ₁₆ O	67,269-06-1	-	0.15 ± 0.07	0.01 ± 0	0.02 ± 0	0.01 ± 0	0.02 ± 0	-	1548/1570
A68	19.36	6-Methyl-3-(2H)-pyridazinone	C ₇ H ₈ N ₂ O	13,327-27-0	-	-	-	-	0.003 ± 0	0.004 ± 0	0.06 ± 0.02	1555/-
A69	19.47	Propanoic acid	C ₃ H ₆ O ₂	79,09-4	-	-	-	-	-	0.01 ± 0	0.01 ± 0	1559/1564
A70	19.48	Lauryl acetate	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	115,95-7	-	-	-	-	-	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01	1561/1566
A71	19.55	1H-1,2,4-Triazole	C ₂ H ₃ N ₃	288-88-0	-	-	-	-	-	0.03 ± 0	0.03 ± 0	1562/-
A72	19.70	Dimethyl sulfoxide	C ₂ H ₆ S	67-68-5	-	0.03 ± 0	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.03 ± 0	0.06 ± 0	1567/1620
A73	19.95	5-Methyl-furfural	C ₆ H ₈ O ₂	620-02-0	-	0.001 ± 0	0.01 ± 0	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0	0.13 ± 0.01	0.52 ± 0.01	1575/1610
A74	20.29	4-Cyclopenten-1,3-dione	C ₅ H ₆ O ₂	930-60-9	-	-	-	0.01 ± 0	0.02 ± 0	0.04 ± 0	0.17 ± 0	1587/1605
A75	20.66	(E)-methyl propenyl triamide	C ₈ H ₁₂ N ₂	23,838-25-7	-	0.01 ± 0	0.004 ± 0	0.04 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.18 ± 0.07	0.72 ± 0.24	1599/1588.7
A76	21.06	2-Octen-1-ol	C ₈ H ₁₆ O	22,104-78-5	-	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.004 ± 0	0.02 ± 0	0.03 ± 0	1614/1647
A77	21.17	(E)-2-Octen-1-ol	C ₈ H ₁₆ O	18,469-17-1	-	0.002 ± 0	0.003 ± 0	0.004 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	1617/1649
A78	21.43	γ-Butyrolactone	C ₄ H ₆ O ₂	96-48-0	-	-	-	-	-	-	0.06 ± 0	1626/1626
A79	21.90	Benzeneacetaldehyde	C ₈ H ₈ O	122-78-1	-	0.03 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.42 ± 0.03	0.45 ± 0.04	0.47 ± 0.01	0.5 ± 0.02	1643/1638
A80	22.47	Dipropyl triamide	C ₉ H ₁₈ N ₂	6028-61-1	-	0.01 ± 0	0.04 ± 0	0.005 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	-	1663/1703.2
A81	22.52	2-Paracetamol	C ₈ H ₁₀ O ₂	98-00-0	-	0.01 ± 0	0.004 ± 0	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0	0.05 ± 0	-	1665/1649
A82	22.55	Dihydro-5-methyl-5-vinyl-2(3H)-thiazole	C ₇ H ₁₀ N ₂	1073-11-6	-	-	-	-	-	-	0.73 ± 0.05	1666/1683
A83	23.77	3,4-Dihydro-2H-pyran-2-carboxaldehyde	C ₆ H ₈ O ₂	10073-2	-	-	-	-	-	-	0.01 ± 0	1709/-
A84	24.21	5-Methyl-2-thiamethanol	C ₆ H ₁₀ S	3857-25-8	-	0.001 ± 0	0.003 ± 0	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0	0.03 ± 0	0.01 ± 0	1725/1722
A85	24.51	(E)-1-Propenyl propyl triamide	C ₉ H ₁₆ N ₂	23,838-26-8	-	0.02 ± 0.15	0.01 ± 0	0.02 ± 0	0.02 ± 0	0.02 ± 0	0.02 ± 0	1749/1755
A86	24.88	2-Undecenal	C ₁₁ H ₂₀ O	2463-77-6	-	-	-	-	-	-	0.09 ± 0.01	1753/1745
A87	24.97	2-(3H)-thiazole	C ₃ H ₄ N ₂ S	497-23-4	-	0.36 ± 0.13	0.14 ± 0.05	0.26 ± 0.01	0.3 ± 0.06	0.22 ± 0.02	0.32 ± 0.04	1764/1751
A88	25.29	3,5-Diethyl-1,2,4-oxadiazole	C ₈ H ₁₂ N ₂ O	54,644-28-9	-	0.09 ± 0.01	0.14 ± 0.05	0.26 ± 0.01	0.3 ± 0.06	0.22 ± 0.02	0.32 ± 0.04	1766/1767
A89	25.32	2,4-Dioxadiazole	C ₃ H ₄ N ₂ O ₂	2360-88-4	-	-	-	-	-	-	1.767/-	1767/-
A90	25.37	1,2,5-Trihaptane	C ₈ H ₁₆ O	6576-93-8	-	-	-	-	-	-	0.05 ± 0.01	1771/1769
A91	25.46	2-Hydroxy-2-cyclopentan-1-one	C ₅ H ₈ O ₂	10,493-95-8	-	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.02 ± 0	0.03 ± 0	0.05 ± 0.01	0.11 ± 0.01	1771/1769
A92	25.84	(E)-1-Propenyl propyl triamide	C ₉ H ₁₆ N ₂	23,838-27-9	-	0.002 ± 0	0.002 ± 0	0.004 ± 0	0.005 ± 0	0.002 ± 0	0.001 ± 0	1785/1765
A93	26.01	(E)-2-Butylacryloyl-ethanol	C ₈ H ₁₄ O ₂	24,464-78-5	-	0.78 ± 0.35	0.02 ± 0	0.01 ± 0	0.02 ± 0	0.04 ± 0.01	0.02 ± 0	1791/1800
A94	26.01	(E)-2-Butylacryloyl-ethanol	C ₈ H ₁₄ O ₂	24,464-78-5	-	0.73 ± 0.24	0.02 ± 0	0.01 ± 0	0.02 ± 0	0.04 ± 0.01	0.02 ± 0	1791/1800
A95	26.57	Dipropyl triamide	C ₉ H ₁₈ N ₂	23,838-26-8	-	0.19 ± 0.05	0.3 ± 0.12	0.53 ± 0.03	0.61 ± 0.12	0.47 ± 0.08	0.72 ± 0.09	1812/1807
A96	27.00	3-Methyl-2-cyclopentanone	C ₆ H ₁₀ O	4533-91-2	-	-	-	-	-	-	0.03 ± 0	1828/1800.1
A97	27.16	2-Hydroxyethyl ethyl sulfide	C ₄ H ₁₀ S	765-70-0	-	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.03 ± 0	0.05 ± 0	1834/-
A98	27.19	2-Hydroxyethyl ethyl sulfide	C ₄ H ₁₀ S	11013-21	-	-	-	-	-	-	-	1834/-
A99	27.41	1-Ethylacetone-2H-pyran	C ₆ H ₈ O	2471-83-2	-	0.04 ± 0.11	0.01 ± 0	0.01 ± 0	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0	0.04 ± 0	1844/1867
A100	27.62	5,6-Dihydro-2H-pyran-2-one	C ₅ H ₆ O	3393-45-1	-	0.004 ± 0	0.003 ± 0	0.002 ± 0	0.003 ± 0	0.002 ± 0	0.004 ± 0	1852/1838
A101	27.92	Hexanoic acid	C ₆ H ₁₂ O ₂	142-62-1	-	0.03 ± 0	0.04 ± 0.01	0.02 ± 0	0.04 ± 0	0.04 ± 0	0.07 ± 0.01	1863/1854

(continued on next page)

Table 1 (continued)

No.	RT (min)	Com. posm'd name	CAS No.	Formula	Deep-fried oils at different sanitation temperature						RI
					Concn't (µg/g)						
					100°C	110°C	120°C	130°C	140°C	165°C	Exp/Lit
A102	30.09	Methyl 1-(propylthio)propyl disulfide	126,876-21-9	C ₈ H ₁₆ S ₂	0.28 ± 0.07	-	-	-	-	-	1948/-
A103	30.63	1-(1H-Pyrrol-2-yl) ethanone	1072-83-9	C ₆ H ₉ NO	-	-	0.03 ± 0	0.08 ± 0.02	0.1 ± 0	0.31 ± 0.03	1970/1969
A104	30.77	S-Methyl methane-thioisophosone	2949-92-0	C ₃ H ₅ O ₂ S ₂	-	-	0.01 ± 0	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0	0.02 ± 0	1975/-
A105	30.94	2,5-Furandi carbonyldehyde	823-82-5	C ₆ H ₄ O ₃	-	-	-	0.002 ± 0	0.004 ± 0	0.021 ± 0	1982/1996
A106	31.42	2-Furyl hydroxymethyl ketone	17,678-19-2	C ₆ H ₄ O ₃	-	-	-	0.02 ± 0	0.06 ± 0.02	0.24 ± 0.04	2001/1989
A107	31.93	1H-Pyrazole-2-carbonyldehyde	1003-29-8	C ₆ H ₅ NO	-	-	0.02 ± 0	0.03 ± 0	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.01	2023/2032
A108	32.03	Methyl 1-(1-propenylthio) propyl disulfide	126,876-23-1	C ₈ H ₁₆ S ₂	0.55 ± 0.13	-	-	-	-	0.04 ± 0.01	2027/-
A109	32.18	Paracetamol	3658-77-3	C ₈ H ₉ NO ₂	0.05 ± 0.02	-	-	-	-	0.04 ± 0.01	2033/2031
A110	32.75	2,3-Bis(methylthio)bicyclo [2.2.1]hept-2-ene	Nist1 86616	C ₈ H ₁₆ S ₂	0.14 ± 0.05	-	-	-	-	-	2057/-
A111	33.05	1-(1-Methylthio)propyl-2-propylthioisulfane	126,876-22-0	C ₈ H ₁₆ S ₂	-	-	-	-	-	-	2069/-
A112	33.35	Dihydroxyacetone	96-26-4	C ₃ H ₆ O ₃	-	-	-	-	-	0.04 ± 0.01	2082/2075
A113	33.61	1-(1-Propenylthio)propyl propyl disulfide	143,193-11-7	C ₈ H ₁₆ S ₂	0.27 ± 0.06	-	-	-	-	-	2093/-
A114	33.88	S-Methyl-1H-pyrazole-2-carbonyldehyde	1192-79-6	C ₆ H ₅ NO	-	-	-	-	-	0.04 ± 0.01	2104/2088.1
A115	34.01	S-Propyl propane-1-sulfonothioate	Nist 414096	C ₃ H ₇ O ₂ S ₂	0.07 ± 0.04	-	-	-	-	-	2110/-
A116	34.89	1-Methyl-2-(1-(propyl disulfanyl) propyl) disulfane	126,876-30-0	C ₈ H ₁₆ S ₄	0.09 ± 0.02	-	-	-	-	-	2148/-
A117	35.73	Nonanoic acid	112-05-0	C ₉ H ₁₈ O ₂	-	-	-	-	0.12 ± 0.03	0.04 ± 0.01	2184/2164
A118	36.32	Dihydro-6-methyl-2H-pyran-3(4H)-one	43,152-89-2	C ₈ H ₁₄ O ₂	-	-	-	-	-	0.02 ± 0	2221/-
A119	36.56	3,4-Dimethyl-2-(propyl disulfanyl) thiophene	126,876-33-3	C ₈ H ₁₆ S ₂	0.06 ± 0.03	-	-	-	-	-	2257/-
A120	37.23	Dibenzofuran	132-64-9	C ₁₂ H ₈ O	0.01 ± 0.01	-	-	-	-	-	2251/2270
A121	37.36	6-Ethyl-4,5,7,8-tetrahydrobenzo[e]pyranose	126,876-35-5	C ₈ H ₁₆ S ₄	0.33 ± 0.07	-	-	-	-	-	2257/-
A122	37.52	Pyranose	1073-96-7	C ₆ H ₁₀ O ₄	-	-	0.003 ± 0	0.14 ± 0.05	0.41 ± 0.04	0.51 ± 0.15	2264/2267
A123	38.40	3,5-Dihydroxy-2-methyl-4H-pyran-4-one	28,564-83-2	C ₆ H ₈ O ₄	-	-	0.03 ± 0.01	0.37 ± 0.09	0.62 ± 0.06	0.86 ± 0.19	2304/2309
A124	38.58	(Z)-1-(1-Propenylthio) propyl propyl disulfide	126,876-37-7	C ₈ H ₁₆ S ₂	0.04 ± 0.02	-	-	-	-	-	2313/-
A125	38.66	2,4-Di-tert-butylphenol	96-76-4	C ₁₄ H ₂₂ O	0.39 ± 0.13	0.02 ± 0	-	0.59 ± 0.12	0.02 ± 0.01	-	2316/2330
A126	38.74	1-Allyl-3-(2-allylthio)propyl) disulfane	126,876-36-6	C ₈ H ₁₆ S ₂	0.08 ± 0.003	-	-	-	-	-	2330/-
A127	40.16	1-Allyl-3-(2-allylthio)propyl) trisulfane	193,625-59-1	C ₈ H ₁₆ S ₃	0.05 ± 0.02	-	-	-	-	-	2387/-
A128	40.36	2,3-Dihydro-benzofuran	496-16-2	C ₈ H ₈ O	0.12 ± 0.03	-	-	-	-	-	2396/2389
A129	42.54	5-Hydroxy-methyl-furfural	67-47-0	C ₆ H ₆ O ₃	-	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.61 ± 0.12	0.8 ± 0.08	1.74 ± 0.07	2502/2512
A130	43.74	Vanillin	121-33-5	C ₈ H ₈ O ₃	0.32 ± 0.13	-	-	-	-	-	2563/2568
A131	44.40	Dihydro-4-hydroxy-2(3H)-furanone	5469-16-9	C ₄ H ₆ O ₃	-	-	-	0.003 ± 0	0.01 ± 0.01	0.04 ± 0.01	2596/2457
A132	44.5	Methyl vanillate	3943-74-6	C ₈ H ₁₀ O ₄	1.08 ± 0.38	-	-	-	-	-	2601/2600
A133	44.86	Benzyl benzoate	120-51-4	C ₁₄ H ₁₂ O ₂	0.41 ± 0.09	0.03 ± 0	0.02 ± 0	0.02 ± 0	0.02 ± 0.01	0.04 ± 0	2620/2636
A134	45.15	Apocynin	498-02-2	C ₈ H ₁₀ O ₃	1.36 ± 0.42	-	-	-	-	-	2635/2623
A135	48.64	Vanillyl alcohol	498-00-0	C ₈ H ₁₀ O ₃	0.15 ± 0.04	-	-	-	-	-	2800/2787
A136	52.01	n-Hexadecanoic acid	57-10-3	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.3 ± 0.21	0.03 ± 0.02	0.02 ± 0	0.04 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0	> 2900/2910
A137	53.1	4-Hydroxy-benzaldehyde	123-06-0	C ₇ H ₆ O ₂	0.24 ± 0.08	-	-	-	-	-	> 2900/2958

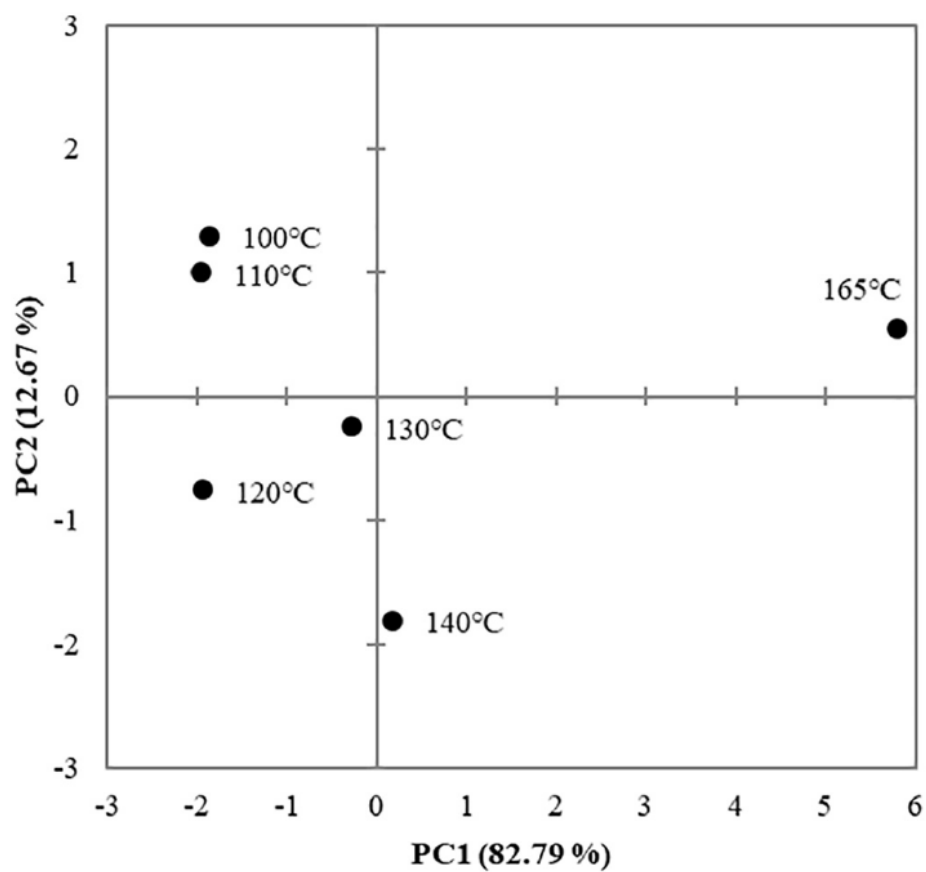


Fig. 3. PCA plot of the volatile compounds from oils of different termination temperatures during the preparation process as determined by SAFE-GC-MS.

346

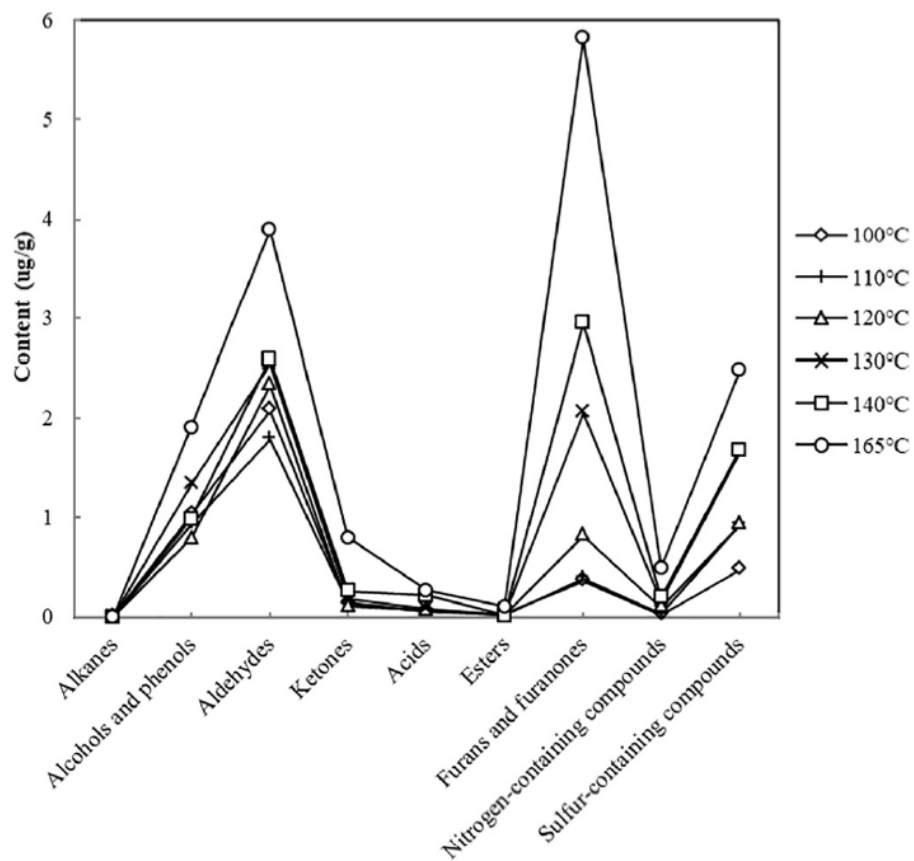


Fig. 4. Trends in the contents of compounds detected in the oils from different termination temperatures during the preparation process classified by chemical families.

347

Table 2
Variations in the contents of fatty acids and moisture in oils from different stages during the preparation process.

No	Compound name	Content(g/100 g)									
		Unfried oil	100 °C	110 °C	120 °C	130 °C	140 °C	165 °C			
1	C12:0 dodecanoic acid (lauric acid)	0.01	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—
2	C14:0 tetradecanoic acid/myristic acid	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
3	C15:0 pentadecanoic acid	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
4	C16:0 hexadecanoic acid/palmitic acid	10.13	9.88	10.04	9.88	9.91	9.96	9.96	10.32	10.32	10.32
5	C17:0 heptadecanoic acid/margaric acid	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
6	C18:0 octadecanoic acid /stearic acid	3.92	3.79	3.87	3.8	3.83	3.85	3.85	3.99	3.99	3.99
7	C20:0 eicosanoic acid /arachidic acid	0.36	0.31	0.32	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
8	C21:0 heneicosanoic acid	0.03	0.03	0.03	0.02	—	0.03	—	—	—	—
9	C23:0 tricosanoic acid	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.04
10	C24:0 tetracosanoic acid /lignoceric acid	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13
11	C16:1-9c cis-9-hexadecenoic acid/palmitoleic acid	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07
12	C18:1 cis-9-octadecenoic acid/oleic acid	21.51	20.86	21.23	20.91	21.03	21.43	21.01	21.01	21.01	21.01
13	C18:2 cis-9,12-octadecadienoic acid/linoleic acid	52.47	50.83	51.83	51.03	51.39	51.66	48.58	48.58	48.58	48.58
14	C18:3 cis-9,12,15-octadecatrienoic acid/linolenic acid	7.34	7.09	7.23	7.13	7.16	7.2	6.56	6.56	6.56	6.56
15	C20:1-11c cis-11-eicosenoic acid	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
16	C20:2-11c,14c cis-11,14-eicosadienoic acid	0.04	0.04	0.04	0.04	—	0.04	0.21	0.21	0.21	0.21
17	C20:5-5c,8c,11c,14c,17c cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoic acid (EPA)	0.41	0.38	0.39	0.38	0.38	0.39	0.4	0.4	0.4	0.4
18	saturated fatty acid (SFA)	14.79	14.35	14.59	14.34	14.38	14.48	15.01	15.01	15.01	15.01
19	monounsaturated fatty acid (MUFA)	21.77	21.11	21.49	21.16	21.28	21.68	21.25	21.25	21.25	21.25
20	polyunsaturated fatty acid (PUFA)	60.26	58.34	59.49	58.58	58.93	59.29	55.75	55.75	55.75	55.75
21	unsaturated fatty acid(UFA)	82.03	79.45	80.98	79.74	80.21	80.97	77	77	77	77

Note: “—” meant not detected ; the detection limit of fatty acid was 0.01 g/100 g.

349 References
350 Bansal, G., Zhou, W. B., Barlow, P. J., Joshi, P. S., Lo, H. L., & Chung, Y.
351 K. (2010). Review
352 of rapid tests available for measuring the quality changes in frying oils and
353 comparison
354 with standard methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*,
355 50(6),
356 503–514.
357 Block, E. (1992). The organosulfur chemistry of the genus
358 *Allium*-implications for the
359 organic chemistry of sulfur. *Angewandte Chemie International Edition*,
360 31(9),
361 1135–1178.
362 Bordiga, M., Rinaldi, M., Locatelli, M., Piana, G., Travaglia, F., Coisson, J.
363 D., & Arlorio,
364 M. (2013). Characterization of Muscat wines aroma evolution using
365 comprehensive
366 gas chromatography followed by a post-analytic approach to 2D contour
367 plots
368 comparison. *Food Chemistry*, 140(1–2), 57–67.
369 Buttara, M., Intarapichet, K. O., & Cadwallader, K. R. (2014).
370 Characterization of potent
371 odorants in Thai chempedak fruit (*Artocarpus integer* Merr.), an exotic
372 fruit of
373 Southeast Asia. *Food Research International*, 2014(66), 388–395.
374 Chu, Y. H., & Hsu, H. F. (2001). Comparative studies of different heat
375 treatments on
376 quality of fried shallots and their frying oils. *Food Chemistry*, 75(1), 37–
377 42.
378 Chyau, C. C., Lin, Y. C., & Mau, J. L. (1997). Storage stability of
379 deep-fried shallot flavoring.
380 *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(8), 3211–3215.
381 Chyau, C. C., & Mau, J. L. (2001). Effects of various oils on volatile
382 compounds of deepfried
383 shallot flavoring. *Food Chemistry*, 74(1), 41–46.
384 Engel, W., Bahr, W., & Schieberle, P. (1999). Solvent assisted flavor
385 evaporation. A new
386 and versatile technique for the careful and direct isolation of aroma
387 compounds from
388 complex food matrixes. *European Food Research and Technology*, 209(3–
389 4), 237–241.
390 Fenwick, G. R., Hanley, A. B., & Whitaker, J. R. (1985). The genus *allium*.
391 Part 2. *Critical*
392 *Reviews in Food Science and Nutrition*, 22(4), 273–377.

393 Golovchenko, V. V., Khramova, D. S., Ovodova, R. G., Shashkov, A. S., &
394 Ovodov, Y. S.
395 (2012). Structure of pectic polysaccharides isolated from onion *Allium*
396 *cepa* L. using a
397 simulated gastric medium and their effect on intestinal absorption. *Food*
398 *Chemistry*,
399 134(4), 1813–1822.

400 Hammouda, I.b., Freitas, F., Ammar, S., Gomes Da Silva, M. D. R., &
401 Bouaziz, M. (2017).
402 Comparison and characterization of volatile compounds as markers of oils
403 stability
404 during frying by HS-SPME-GC-MS and Chemometric analysis. *Journal of*
405 *Chromatography B*, 1068-1069, 322–334.

406 Huang, X. S. (2004). Study on content and chemical constituents of
407 volatile oil in welsh
408 onions (*Allium fistulosum* L. var. *giganteum* Makino.). *Food and*
409 *Fermentation Industries*,
410 30(10), 114–117.

411 Kim, S. M., Wu, C. M., Kobayashi, A., Kubota, K., & Okumura, J. (1995).
412 Volatile compounds
413 in stir-fried garlic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(11),
414 2951–2955.

415 Koutidou, M., Grauwet, T., Loey, A. V., & Acharya, P. (2017). Impact of
416 processing on
417 odour-active compounds of a mixed tomato-onion puree. *Food Chemistry*,
418 228, 14–25.

419 Kreissl, J., & Schieberle, P. (2017). Characterization of aroma-active
420 compounds in Italian
421 tomatoes with emphasis on new odorants. *Journal of Agricultural and Food*
422 *Chemistry*,
423 65(25), 5198–5208.

424 Kyung, K. H. (2012). Antimicrobial properties of allium species. *Current*
425 *Opinion in*
426 *Biotechnology*, 23(2), 142–147.

427 Lanzotti, V. (2006). The analysis of onion and garlic. *Journal of*
428 *Chromatography A*,
429 1112(1–2), 3–22.

430 Liu, J. B., Liu, M. Y., He, C. C., Song, H. L., Guo, J., Wang, Y., ... Su, X.
431 (2015). X. (2015). A
432 comparative study of aroma-active compounds between dark and milk
433 chocolate:
434 Relationship to sensory perception. *Journal of the Science of Food and*
435 *Agriculture*,
436 95(6), 1362–1372.

437 Liu, Y. P., & Sun, B. G. (2003). The synthesis and application of
438 sulfur-containing flavor.
439 China Food Additives, 6(69), 82–84.
440 Loutfi, A., Coradeschi, S., Mani, G. K., Shankar, P., & Rayappan, J. B. B.
441 (2015). Electronic
442 noses for food quality: A review. Journal of Food Engineering, 144, 103–
443 111.
444 Majchrzak, T., Wojnowski, W., Dymerski, T., Gębicki, J., & Namieśnik, J.
445 (2018).
446 Electronic noses in classification and quality control of edible oils: A
447 review. Food
448 Chemistry, 246, 192–201.
449 McGorin, R. J. (2011). The significance of volatile sulfur compounds in
450 food flavors. In
451 M. C. Qian, X. T. Fan, & K. Mahattanatawee (Eds.). Volatile sulfur
452 compounds in food
453 (pp. 3–31). Washington, D.C.: ACS.
454 Nieva-Echevarría, B., Goicoechea, E., Manzanos, M. J., & Guillén, M. D.
455 (2016). The influence
456 of frying technique, cooking oil and fish species on the changes occurring
457 in
458 fish lipids and oil during shallow-frying, studied by 1H NMR. Food
459 Research
460 International, 84, 150–159.
461 Perkins, E. G. (2007). Volatile odor and flavor components formed in deep
462 frying. In M. D.
463 Erickson (Ed.). Deep frying (pp. 51–56). (2nd ed.). Urbana: AOCS Press.
464 Röck, F., Barsan, N., & Weimar, U. (2008). Electronic nose: Current status
465 and future
466 trends. Chemical Reviews, 108(2), 705–725.
467 Saguy, I. S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying:
468 Engineering,
469 nutrition, health and consumer aspects. Journal of Food Engineering, 56(2–
470 3),
471 143–152.
472 Schwab, W., & Roscher, R. (1997). 4-Hydroxy-3(2H)-furanones natural
473 and Maillard
474 products. Recent Research Development Phytochemistry, 1, 643–673.
475 Sumnu, S. G., & Sahin, S. (2008). Advance in deep-fat frying of food. New
476 York: CRC Press.
477 Wu, J. L., Chou, C. C., Chen, M. H., & Wu, C. M. (1982). Volatile flavor
478 compounds from
479 shallots. Journal of Food Science, 47(2), 606–608.

480 Yu, T. H., Wu, C. M., & Ho, C. T. (1993). Volatile compounds of deep-oil
481 fried, microwaveheated,
482 and oven-baked garlic slices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,
483 41(5),
484 800–805.

485 Zhang, Q., Saleh, A. S. M., Chen, J., & Shen, Q. (2012). Chemical
486 alterations taken place
487 during deep-fat frying based on certain reaction products: A review.
488 *Chemistry and*
489 *Physics of Lipids*, 165(6), 662–681.

490 Zhang, Q., Wan, C., Wang, C. Z., Chen, H., Liu, Y. W., Li, S. Q., ... Qin, W.
491 (2018).
492 Evaluation of the non-aldehyde volatile compounds formed during deep-fat
493 frying
494 process. *Food Chemistry*, 243, 151–161.

495 Zhang, W. N., Zhang, H. L., Lu, C. Q., Luo, J. P., & Zha, X. Q. (2016). A
496 new kinetic model
497 of ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from Chinese chive.
498 *Food*
499 *Chemistry*, 212, 274–281.

500 Zhang, Z. M., Wu, W. W., & Li, G. K. (2006). HSSPME-GC/MS study of
501 the volatiles of
502 *Allium* species and chemometric interpretation for the aroma characteristic.
503 *Journal*
504 *of Plant Sciences*, 1(4), 315–323.

505 Zhao, J., Wang, M., Xie, J. C., Zhao, M. Y., Hou, L., Liang, J. J., ... Cheng,
506 J. (2017).
507 Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig. *Food Chemistry*,
508 2017(226),
509 51–60.

510 N. Zhang, et al. *Food Research International* 121 (2019) 296–306
511 306