

## Fragrance Formation in the of Cocoa Roasted Process (*Theobroma cacao*) with Roaster Temperature Variation using a Vacuum Drying Oven

Monang Sihombing<sup>a\*</sup>, Dhanang Puspita<sup>a,b</sup>, Mayer Tinting Sirenden<sup>a</sup>

a Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

b Carotenoid and Antioxidant Research Centre, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

\* Corresponding author: [monang.sihombing@staff.uksw.edu](mailto:monang.sihombing@staff.uksw.edu)

<https://doi.org/10.14710/jksa.21.3.155-160>

### Article Info

#### Article history:

Received: 9 July 2018

Revised: 25 July 2018

Accepted: 30 July 2018

Online: 31 July 2018

#### Keywords:

Cacao, Roasting, Aroma, Vacuum Drying Oven, GC-MS

### Abstract

Chocolate is cacao nib processed product which is favorite commodity in the world, nevertheless, many of consumer have not known about the process. Notable stage in cacao processing is roaster process. Cacao roasting process currently uses conventional methods, which have weaknesses like energy wastage and bioactive compounds damage. Vacuum drying oven is new roasting method which uses low pressure and temperature. Through this research, the difference of aroma development between roasting process on conventional and vacuum drying oven method was investigated. Roasted cacao was extracted by water distillation, then distillate was separated by diethyl ether partition. The extract was characterized with GC-MS. The Characterization result shown that temperature 70°C contained 11 volatile compounds and temperature 80°C, 90°C and 140°C contained 7 volatile compounds. The higher roasting temperature, the more diverse of volatile compound. The best result in cacao roasting was on vacuum drying oven at 90°C, which has similar aroma with 140°C as control sample.

### Abstrak

#### Kata Kunci:

Kakao, Sangrai, Aroma, Vacuum Drying Oven, GC-MS

Coklat merupakan produk olahan biji kakao yang diminati seluruh dunia, namun sebagian besar konsumen tidak mengetahui proses pengolahannya. Tahapan penting pengolahan coklat yaitu proses sangrai kakao. Proses sangrai kakao saat ini menggunakan metode konvensional yang memiliki kelemahan yaitu pemborosan energi dan merusak komponen senyawa bioaktif. Metode sangrai *vacuum drying oven* merupakan metode sangrai baru yang menggunakan suhu dan tekanan yang rendah. Melalui penelitian ini, akan diketahui perbedaan pembentukan aroma kakao antara proses sangrai yang menggunakan metode *vacuum drying oven* dan konvensional. Sampel kakao yang telah disangrai, diekstraksi menggunakan metode destilasi air, selanjutnya destilat dipartisi dengan pelarut dietileter. Sampel hasil ekstraksi selanjutnya dikarakterisasi menggunakan GC-MS. Hasil karakterisasi menunjukkan pada suhu 70°C mengandung 11 komponen volatil dan pada suhu 80°C, 90°C dan 140°C mengandung 7 komponen volatil. Semakin tinggi suhu maka golongan senyawa volatil semakin beragam. Hasil sangrai kakao terbaik diperoleh dengan menggunakan metode *vacuum drying oven* yaitu, pada suhu 90°C yang memiliki karakteristik aroma mirip dengan sampel kontrol suhu 140°C.

## 1. Introduction

Coklat merupakan komoditas yang diminati seluruh dunia termasuk Indonesia, selain rasa yang nikmat, manfaat kesehatan coklat juga sangat baik bagi tubuh. Coklat menghasilkan rasa dan aroma yang baik melalui proses fermentasi dan sangrai kakao [1]. Selama proses sangrai, komponen pembentuk rasa dan aroma akan muncul akibat proses reaksi maillard [2]. Reaksi maillard yang terjadi selama proses sangrai melibatkan gula pereduksi dan asam amino bebas ataupun peptida rantai pendek. Produk reaksi maillard selama sangrai meliputi golongan senyawa alkohol, asam organik, ester, fenol, dan karbonil [3].

Metode sangrai biji kakao pada umumnya menggunakan oven konvensional [2] dan *rotary drum roaster* [1]. Metode konvensional memiliki kelemahan yaitu penggunaan suhu yang tinggi sehingga menurunkan kandungan senyawa bioaktif dalam kakao akibat denaturasi pada suhu tinggi, serta penggunaan energi yang besar untuk mencapai dan mempertahankan suhu target [1, 4]. Suhu sangrai kakao menggunakan metode konvensional pada umumnya 120°C - 160°C [1, 2, 5]. Penggunaan suhu tinggi pada metode konvensional akan mempercepat reaksi maillard [6]. Semakin cepat reaksi maillard, maka produk akhir reaksi maillard, yaitu senyawa melanoidin semakin cepat terbentuk [6, 7]. Melanoidin merupakan komponen berwarna coklat yang menandakan reaksi maillard telah selesai [7, 8]. Reaksi maillard tidak hanya terjadi pada suhu tinggi tetapi dapat terjadi pada suhu rendah [9]. Reaksi maillard mulai terjadi pada suhu 68°C dengan indikator pembentukan senyawa melanoidin [9]. Oleh karena itu, proses sangrai dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah dari pada 100°C.

*Vacuum drying Oven* merupakan alat yang menggabungkan metode pemanasan dengan tekanan pada proses. Prinsip kerja *vacuum drying oven* yaitu menurunkan tekanan udara sehingga titik didih air menurun [10]. Penggunaan tekanan yang rendah atau vakum memungkinkan untuk melakukan proses sangrai pada suhu rendah. Oleh karena itu, metode ini tidak hanya dapat digunakan sebagai pengering, namun juga sebagai alat sangrai. Metode sangrai ini memungkinkan untuk menghasilkan aroma yang baik pada kakao tanpa merusak senyawa bioaktif dalam jumlah besar [4]. Tujuan penelitian ini adalah memperoleh informasi terkait perbedaan pembentukan aroma terhadap hasil sangrai menggunakan metode konvensional dan metode *vacuum drying oven* dengan variasi suhu.

## 2. Metode Penelitian

### Material

Buah kakao diperoleh dari petani kakao di Desa Nglanggeran, Kabupaten Gunung Kidul, Yogyakarta. Buah kakao yang diperoleh kemudian difermentasi dan

dikeringkan menggunakan sinar matahari. Bahan kimia yang digunakan dalam proses isolasi dan karakterisasi yaitu, *ultrapure water* (*Thermo Fisher Scientific*), dietileter (*Merck*), gas nitrogen dan gas helium (*Samator*).

### Instrumentasi

Instrument yang digunakan yaitu, peralatan gelas laboratorium, *Vacuum drying oven*, Oven Listrik (*Memmert UN55*) *rotary evaporator* (*Stuart RE300*), Timbangan Analitik (*Sartorius BSA 224S CW*), GC-MS (*Shimadzu QP2010*).

### Fermentasi dan Pengeringan

Buah kakao matang sempurna dipecahkan dan dikumpulkan dalam keranjang bambu anyaman yang telah dilapisi daun pisang. Biji kakao difermentasi selama 5 hari, dengan pembalikan setiap 48 jam. Biji kakao dijemur dengan sinar matahari langsung hingga memiliki kadar air 7-8% [1]. Biji kakao kering disimpan dalam plastik tertutup.

### Sangrai Kakao

Proses sangrai kakao terdiri sangrai konvensional menggunakan oven listrik pada suhu 140°C selama 35 menit [2, 5] sebagai kontrol. Sementara itu, biji kakao yang disangrai menggunakan metode *vacuum drying oven* dilakukan pada suhu dan waktu yang berbeda. Suhu 70°C selama 90 menit, suhu 80°C selama 75 menit, dan suhu 90°C selama 55 menit. Penentuan waktu sangrai ditentukan melalui pengujian kadar air yang disesuaikan dengan kadar air sampel kontrol.

### Preparasi Sampel dan Analisis GC-MS

Sampel kakao sebanyak 100 gram dihaluskan dan ditambahkan *ultrapure water* sebanyak 200 mL. Destilasi campuran sampel dan *ultrapure water* selama 60 menit [2, 11], komponen volatil yang terlarut dalam uap air kemudian akan terkondensasi dalam labu penampung. Destilat ditambahkan dietileter 150 mL dan dikocok kuat selama 10 menit hingga komponen volatil terlarut dalam dietileter. Partisi dietileter diambil dan diuapkan dengan gas nitrogen hingga 3mL. Sampel dipindahkan ke dalam vial dan ditutup secara rapat [12].

GC-MS diatur dengan menggunakan kolom *Phenomenex ZB-5* (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm). kondisi GC-MS diatur menggunakan sistem injektor split dengan suhu injektor 280°C dan waktu pengambilan sampel 1 menit. Suhu kolom diatur pada suhu 35 - 280°C dengan suhu awal 35°C ditahan selama 3 menit, kemudian suhu dinaikkan 10°C/menit dari 35°C ke 180°C, suhu kemudian dinaikkan kembali 30°C/menit dari 180°C ke 250°C. Setelah mencapai suhu 250°C, temperatur oven ditahan selama 1 menit. Suhu oven kembali dinaikkan 30°C/menit dari 250°C ke 280°C, kemudian pada suhu 280°C ditahan selama 7 menit. Total waktu program 29 menit. Suhu detektor 280°C dengan suhu interval 250°C. Gas pembawa Helium dengan laju alir konstan 2 mL/menit. *Electron*

impact ionization diatur pada 70 eV [13]. Sampel disuntikkan sebanyak 1 µL ke dalam injektor kemudian dilakukan analisis GC-MS. Hasil kromatogram dan analisis komponen dari MS kemudian dianalisis melalui studi pustaka.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pada hasil ekstraksi dan karakterisasi komponen aroma pada coklat, ditemukan 17 senyawa komponen yang tersebar pada semua suhu, dengan lima jenis penggolongan senyawa sebagai berikut,

- ✓ Alkohol: 2-pentanol; isopentanol; 2-methyl-1-butanol; 2-furanmethanol; 2-(4-hydroxy-butyl)-cyclohexanol; phenethyl alcohol
- ✓ Asam karboksilat: asam isobutirat; asam isovalerat; asam valerat; asam 2-methyl-2-propenoat
- ✓ Phenol: Eugenol; Methyl Eugenol; 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol
- ✓ Karbonil: 1,1-Diethoxyethane; Phenylacetaldehyde
- ✓ Ester: 2-heptyl asetat; 2-phenylethylacetate

Temperatur sangrai pada suhu 70°C terdapat 11 komponen senyawa volatil yang terdeteksi, terdiri dari empat golongan senyawa yang didominasi oleh golongan senyawa alkohol. Golongan senyawa ini muncul akibat metabolit pada proses fermentasi [14]. Selain itu, senyawa alkohol yang beragam pada suhu 70°C diakibatkan sisa alkohol pada biji kakao pascasangrai. Semakin tinggi suhu sangrai semakin banyak senyawa alkohol yang akan menguap [2], sehingga dapat dipastikan bahwa pada suhu 70°C lebih banyak mengandung senyawa alkohol.

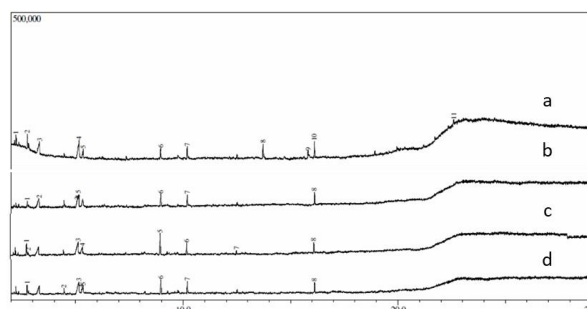
Temperatur sangrai pada suhu 80°C dan 90°C terdapat masing-masing delapan komponen senyawa volatil yang dikelompokkan dalam lima golongan senyawa. Pada suhu 140°C sebagai sampel kontrol terdiri dari delapan komponen senyawa yang dikelompokkan dalam empat golongan senyawa. Pada suhu 80°C, didominasi oleh golongan senyawa asam karboksilat. Golongan senyawa ini juga merupakan hasil proses fermentasi, bila dipanaskan memiliki sifat volatil. Selain itu, asam karboksilat berperan dalam memberikan karakteristik *off-odor* seperti *rancid*, *hammy* dan *butter* [14].

Sedangkan pada perlakuan sangrai suhu 90°C dan 140°C didominasi oleh golongan senyawa alkohol dengan karakteristik yang berbeda. Dengan demikian, perlakuan penambahan temperatur sangrai menghasilkan komponen senyawa volatil yang terdeteksi menjadi semakin beragam.

Setiap komponen senyawa yang terdeteksi memiliki karakter aroma sendiri, bila bergabung menciptakan aroma yang khas. Karakter aroma setiap komponen senyawa volatil dapat dilihat pada **Tabel 1**. Kromatogram hasil GC-MS dapat dilihat pada **Gambar 1**.

**Tabel 1.** Karakteristik komponen aroma pada kakao

No	Waktu Retensi	Komponen Volatil	Karakteristik Aroma	Ref.
1	2,222	2-Pentanol	Green, mild green	[15]
2	2,751	3-methyl-1-butanol	Cocoa, Malty	[15]
3	2,831	2-phenylethylacetate / phenetyl acetate	Honey, Floral	[16]
4	3,319	2-methylpropanoic acid	Floral	[17]
5	4,451	1,1-Diethoxyethane (diethyl acetal)	Green, woody pleasant odor, nutty	[18]
6	5,075	Sec-Butyl Methacrylate	-	-
7	5,095	Heptyl acetate	Floral, Fresh	[18]
8	5,158	3-metylbutanoic acid	Sweaty, Cheese	[17]
9	5,270	2-furanmethanol (Furfuryl alcohol)	Caramel, Faint Burning	[18]
10	5,351	2-methylbutanoic acid	Sweaty	[17]
11	8,952	Phenylacetaldehyde	Sweet, Honey-like	[3] [19]
12	10,193	2-phenylethanol	Honey, Floral	[16]
13	12,515	2-methyl-1-butanol	Fruity, Grape	[20]
14	13,716	Eugenol	Smoky	[3]
15	15,811	Methyl eugenol	Smoky	[3]
16	16,111	4-methyl-2,6-di-tert-butylphenol	Toasted Cereal	[3]
17	22,591	2-(4-hydroxy-butyl)-cyclohexanol	-	-



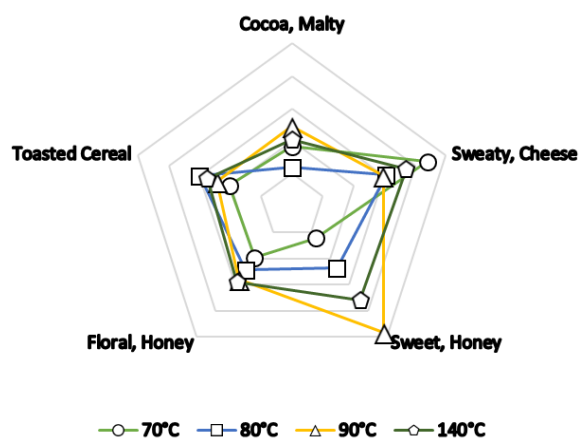
**Gambar 1.** Hasil Karakterisasi GC-MS Kakao Berbagai Suhu (a) 70° (b) 80° (c) 90° (d) 140°C

Berdasarkan pada karakteristik aroma komponen volatil kakao, terdapat lima komponen senyawa utama yang selalu muncul pada setiap perlakuan temperatur yaitu, 3-metil-1-butanol dengan karakteristik aroma *cocoa, malt*; asam 3-metilbutanoat dengan karakteristik aroma *sweaty-cheese*; phenylacetaldehyde dengan karakteristik aroma *sweet, honey-like*; phenetyl alcohol dengan karakteristik aroma *honey, floral* dan 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol dengan karakteristik aroma *toasted cereal*. Perbandingan jumlah konsentrasi senyawa volatil utama untuk masing – masing perlakuan suhu sangrai dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2** Konsentrasi komponen senyawa volatil utama

Senyawa Volatil	Konsentrasi (%)			
	70°C	80°C	90°C	140°C
3-methyl-1-butanol	9,14	5,89	12,24	10,26
3-methylbutanoic acid	21,98	15,33	14,84	18,55
Phenylacetadehyde	6,18	11,82	24,17	17,87
Phenetyl alcohol	9,82	12,22	13,99	14,44
4-methyl-2,6-di-tert-butylphenol	10,19	14,97	12,15	13,80

Berdasarkan pada Tabel 2, semua komponen senyawa volatil utama mengalami fluktuasi pada setiap perubahan temperatur sangrai. Pada senyawa volatil *phenylacetaldehyde* mengalami kenaikan konsentrasi setiap perubahan suhu dalam metode sangrai *vacuum drying oven*. Pada suhu sangrai 140°C sebagai kontrol mengalami penurunan konsentrasi *phenylacetaldehyde* yang signifikan, terlihat dari penurunan persentase 6,3%. Senyawa volatil *3-methyl-1-butanol* dan *4-methyl-2,6-di-tert-butylphenol* mengalami fluktuasi yang tidak merata pada setiap suhu. Sebagai perbandingan dengan suhu 140°C, senyawa *3-methyl-1-butanol* memiliki puncak pada suhu 90°C dan senyawa *4-methyl-2,6-di-tert-butylphenol* memiliki puncak pada suhu 80°C. Senyawa volatil *Phenetyl alcohol* memiliki peningkatan konsentrasi yang linear seiring dengan perubahan temperatur sangrai. Senyawa volatil *3-methylbutanoic acid*, memiliki tren penurunan konsentrasi setiap peningkatan temperatur sangrai. Pada suhu 90°C memiliki senyawa volatil *3-methylbutanoic acid* yang lebih rendah dibandingkan pada suhu 140°C. Kandungan asam karboksilat yang bervariasi sangat dimungkinkan akibat adanya intervensi tekanan udara vakum dan suhu yang rendah pada saat sangrai [2, 4]. Perbedaan konsentrasi masing-masing senyawa pada setiap suhu sangrai akan membentuk profil aroma yang berbeda-beda dan dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik pemetaan karakteristik aroma kakao

Berdasarkan pada pemetaan karakteristik aroma kakao, sangrai pada suhu 70°C memiliki karakter aroma yang lebih mengarah kepada *sweaty, cheese*. Temperatur sangrai pada suhu 80°C menghasilkan karakter aroma

yang lebih mengarah kepada *toasted cereal*. Temperatur sangrai pada suhu 90°C menghasilkan karakter aroma *cocoa-malty* dan *sweet-honey*. Temperatur sangrai pada suhu 140°C sebagai sampel kontrol memiliki karakter aroma *floral-honey*.

Suhu sangrai 90°C memiliki karakter aroma coklat yang lebih baik ketimbang kakao yang disangrai pada suhu 140°C. Pada suhu 70°C memiliki karakteristik aroma yang kurang kuat dan masih didominasi oleh komponen senyawa yang tergolong sebagai *off-odor*. Setiap perubahan temperatur sangrai akan berdampak pada perubahan pemetaan aroma kakao. Semakin tinggi suhu sangrai maka akan berdampak pada perubahan komponen aroma serta ditandai dengan pembentukan komponen senyawa volatil *off-odor*.

Setiap perlakuan temperatur sangrai pada kakao memiliki komponen senyawa tersendiri yang muncul. Pada suhu 70°C, senyawa alkohol merupakan senyawa yang mendominasi, walau demikian, senyawa seperti karbonil, asam karboksilat dan fenol juga muncul. Keseluruhan senyawa alkohol, karbonil, asam karboksilat, dan fenol dapat mendominasi karena suhu sangrai yang rendah (< 100°C) [2], sehingga komponen senyawa yang tidak memerlukan suhu tinggi akan muncul. Senyawa aldehyd dan fenol yang muncul pada suhu 70°C merupakan bukti bahwa reaksi maillard tetap berlangsung walaupun menggunakan suhu rendah. Senyawa aldehyd merupakan hasil degradasi *strecker* asam amino selama proses sangrai konvensional [14]. Senyawa fenol dapat terbentuk tidak hanya melalui proses sangrai tetapi juga melalui proses pengeringan alami biji kakao [2].

Temperatur sangrai pada suhu 80°C, senyawa yang mendominasi adalah senyawa asam karboksilat tetapi terdapat senyawa lain seperti, alkohol, aldehyd, fenol, dan ester. Pada suhu 80°C memiliki karakteristik senyawa yang hampir sama dengan suhu sangrai pada 70°C, terdapat reaksi maillard terutama pada pembentukan aldehyd, fenol dan juga senyawa ester. Golongan senyawa ester dapat terbentuk akibat proses fermentasi [5], namun juga dapat terjadi pada proses sangrai dengan suhu yang tinggi dalam jangka waktu yang singkat [2]. Ester tidak hanya terbentuk pada suhu yang tinggi saja, namun dapat terjadi pada suhu rendah walaupun memerlukan waktu yang cukup panjang [2].

Temperatur sangrai pada suhu 90°C dan 140°C, senyawa yang mendominasi adalah senyawa golongan alkohol. Pada suhu 90°C terdapat senyawa lain seperti asam karboksilat, fenol, ester, dan karbonil. Pada suhu 90°C, reaksi maillard menunjukkan hasil yang optimum, terlihat pada pembentukan komponen senyawa aroma utama sekaligus prekursor yaitu, karbonil. Senyawa karbonil merujuk kepada senyawa aldehyd yang merupakan kunci pengembangan aroma [14]. Senyawa *phenylacetaldehyde* yang merupakan jenis aldehyd memiliki kuantitas yang tinggi dibanding sangrai pada

suhu lain. Sangrai *vacuum* memiliki intensitas aroma yang lebih rendah ketimbang sangrai menggunakan sangrai konvensional [4]. Penurunan intensitas aroma disebabkan selain karena waktu sangrai yang lama akibat perbedaan efek termal [4], dan juga disebabkan karena tekanan sangrai yang rendah berakibat pada meningkatnya kecepatan penguapan air sehingga berdampak pada penguapan senyawa volatil. Kendati demikian, komponen senyawa volatil justru tidak hanya terbentuk sewaktu sangrai tetapi komponen senyawa volatil final terbentuk pada proses penghalusan (*conching*) [5].

Temperatur sangrai pada suhu 140°C terdapat golongan senyawa asam karboksilat, fenol, karbonil dan golongan alkohol sebagai golongan senyawa yang mendominasi. Karakteristik senyawa pada suhu 140°C yang hampir sama dengan sangrai pada suhu 90°C, senyawa alkohol yang dihasilkan hampir sama. Pada suhu 140°C terdapat senyawa volatil khas yang dihasilkan pada suhu sangrai yang tinggi, yaitu furfuryl alkohol serta 1,1-dietoksietana yang merupakan senyawa hasil proses penyusunan kembali gula setelah reaksi amadori di reaksi *maillard* [8]. Senyawa furfuryl alkohol serta 1,1-dietoksietana merupakan hasil reaksi *maillard* lanjutan sebelum menjadi pigmen melanoidin. Pada suhu 140°C sudah terdapat senyawa volatil yang merupakan *off-odor*, yaitu furfuryl alkohol dan 1,1-dietoksietana [14].

#### 4. Kesimpulan

Pembentukan aroma kakao selama proses sangrai vakum dan konvensional memiliki karakteristik dan kecenderungan aroma masing-masing. Proses sangrai menggunakan *vacuum drying oven* menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan, semakin beragam senyawa yang terbentuk. Terdapat penurunan kuantitas beberapa komponen senyawa aroma yang tergolong ke dalam *off-odor* setiap kenaikan suhunya. Penurunan tekanan udara (vakum) pada proses sangrai juga berpengaruh terhadap pembentukan aroma, yang terlihat pada perbandingan pembentukan aroma antara suhu 90°C (*vacuum drying oven*) dan 140°C (oven konvensional) yang memiliki karakteristik hampir sama, walaupun waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat sangrai yang sama dengan konvensional lebih lama. Penggunaan *vacuum drying oven* memiliki kelebihan, yaitu penggunaan temperatur sangrai yang lebih rendah dengan tekanan rendah. Kekurangan metode *vacuum drying oven*, yaitu waktu proses sangrai yang lebih lama daripada sangrai konvensional akibat penggunaan suhu yang lebih rendah.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Stephen T. Beckett, *The Science of Chocolate*, RSC Publishing, 2008.
- [2] S. Jinap, W. I. Wan Rosli, A. R. Russly, L. M. Nordin, Effect of roasting time and temperature on volatile component profiles during nib roasting of cocoa beans (*Theobroma cacao*), *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 4, (1999) 441-448 [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199808\)77:4<441::AID-JSFA46>3.0.CO;2-#](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199808)77:4<441::AID-JSFA46>3.0.CO;2-#)
- [3] Felix Frauendorfer, Peter Schieberle, Changes in Key Aroma Compounds of Criollo Cocoa Beans During Roasting, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 21, (2008) 10244-10251 <http://dx.doi.org/10.1021/jf802098f>
- [4] Monica Anese, Maria Cristina Nicoli, Giancarlo Verardo, Marina Munari, Giorgio Mirolo, Renzo Bortolomeazzi, Effect of vacuum roasting on acrylamide formation and reduction in coffee beans, *Food Chemistry*, 145, (2014) 168-172 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.047>
- [5] Emmanuel Ohene Afoakwa, Alistair Paterson, Mark Fowler, Angela Ryan, Flavor Formation and Character in Cocoa and Chocolate: A Critical Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 9, (2008) 840-857 <http://dx.doi.org/10.1080/10408390701719272>
- [6] Donald S. Mottram, J. Stephen Elmore, Control of the Maillard Reaction during the Cooking of Food, in: *Controlling Maillard Pathways To Generate Flavors*, American Chemical Society, 2010, pp. 143-155.
- [7] Jennifer M. Ames, Applications of the Maillard reaction in the food industry, *Food Chemistry*, 62, 4, (1998) 431-439 [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00078-8)
- [8] M. A. J. S. van Boekel, Predictive Modeling of Flavor Compound Formation in the Maillard Reaction: A SWOT Analysis, in: *Controlling Maillard Pathways To Generate Flavors*, American Chemical Society, 2010, pp. 1-11.
- [9] Laure M. Benzing-Purdie, John A. Ripmeester, Christopher I. Ratcliffe, Effects of temperature on Maillard reaction products, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33, 1, (1985) 31-33 [10.1021/jf00061a009](https://doi.org/10.1021/jf00061a009)
- [10] Arun S. Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying*, Fourth Edition, CRC Press, 2014.
- [11] Yong Chen, Chi-Tang Ho, Flavor Analysis in Food, in: *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, 2006.
- [12] S. S. Mahajan, L. Goddik, M. C. Qian, Aroma Compounds in Sweet Whey Powder, *Journal of Dairy Science*, 87, 12, (2004) 4057-4063 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73547-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73547-X)
- [13] E. Magi, L. Bono, M. Di Carro, Characterization of cocoa liquors by GC-MS and LC-MS/MS: focus on alkylpyrazines and flavanols, *Journal of Mass Spectrometry*, 47, 9, (2012) 1191-1197 <http://dx.doi.org/10.1002/jms.3034>
- [14] Ana Clara Aprotosoie, Simon Vlad Luca, Anca Miron, Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products—An Overview, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 1, (2016) 73-91 <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
- [15] J. Rodriguez-Campos, H. B. Escalona-Buendía, I. Orozco-Avila, E. Lugo-Cervantes, M. E. Jaramillo-

- Flores, Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis, *Food Research International*, 44, 1, (2011) 250-258  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.028>
- [16] J. Rodriguez-Campos, H. B. Escalona-Buendía, S. M. Contreras-Ramos, I. Orozco-Avila, E. Jaramillo-Flores, E. Lugo-Cervantes, Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa, *Food Chemistry*, 132, 1, (2012) 277-288  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078>
- [17] Ulrich Krings, Kateryna Zelena, Shimin Wu, Ralf G. Berger, Thin-layer high-vacuum distillation to isolate volatile flavour compounds of cocoa powder, *European Food Research and Technology*, 223, 5, (2006) 675  
[10.1007/s00217-006-0252-x](https://doi.org/10.1007/s00217-006-0252-x)
- [18] George A. Burdock, Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients, Sixth Edition, CRC Press, 2016.
- [19] Petra Schnermann, Peter Schieberle, Evaluation of Key Odorants in Milk Chocolate and Cocoa Mass by Aroma Extract Dilution Analyses, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3, (1997) 867-872  
<http://dx.doi.org/10.1021/jf960670h>
- [20] Cíntia Lacerda Ramos, Disney Ribeiro Dias, Maria Gabriela da Cruz Pedrozo Miguel, Rosane Freitas Schwan, Impact of different cocoa hybrids (*Theobroma cacao* L.) and *S. cerevisiae* UFLA CA11 inoculation on microbial communities and volatile compounds of cocoa fermentation, *Food Research International*, 64, (2014) 908-918  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.033>