

Volatile chemical emissions from essential oils **Emissioni chimiche volatili provenienti dagli oli essenziali**

Neda Nematollahi^{1,2} Spas D. Kolev² e Anne Steinemann^{1,3,4}

Ricevuto: 11 Giugno 2018 /Accettato: 19 Luglio 2018
Springer Nature B.V. 2018
Pubblicato online: 08 Agosto 2018

Abstract

Gli oli essenziali, ampiamente usati nella società, emettono numerosi composti organici volatili (VOC). Alcuni di questi VOC sono considerati potenzialmente pericolosi ai sensi delle normative federali. Tuttavia, gli oli essenziali sono esenti dalla divulgazione degli ingredienti sulla loro etichetta. Pertanto, il pubblico potrebbe non avere informazioni sulle emissioni e sui potenziali rischi derivanti dagli oli essenziali. Questo studio ha esaminato i VOC emessi da una serie di oli essenziali commerciali, tra cui oli dell'albero del tè, oli di lavanda, oli di eucalipto e altri singoli oli e miscele di oli. Utilizzando la gascromatografia a spazio di testa (n.t.d. È una analisi chimica denominata: "A spazio di testa". Una tecnica sviluppata per i composti odorosi presenti nell'aria che circonda gli oggetti) /spettrometria di massa (GC/MS), lo studio ha analizzato 24 oli essenziali commerciali, di cui 12 con pretese di essere "naturali" o con termini a esso correlati, come biologico, puro al 100% o vegetale. I risultati hanno identificato 595 VOC emessi dai 24 oli essenziali, che rappresentano 188 diversi VOC. I VOC più comuni emessi erano alfa-pinene, limonene, acetone, linalolo, alfa-fellandrene, beta-mircene e canfene. Tra i 589 VOC identificati, 124 VOC, che rappresentano 33 diversi VOC, sono classificati come potenzialmente pericolosi. Tutti gli oli essenziali naturali e ordinari hanno emesso uno o più VOC potenzialmente pericolosi, come acetaldeide, acetone ed etanolo. Il toluene è stato trovato anche nel 50% degli oli essenziali. Inoltre, per i VOC prevalenti classificati come potenzialmente pericolosi, non è stata trovata alcuna differenza significativa tra oli essenziali ordinari e naturali. Questo studio fornisce approfondimenti e informazioni sulle emissioni di oli essenziali commerciali che possono essere utili per la consapevolezza del pubblico e la riduzione del rischio.

Parole chiave: Oli essenziali - Fragranze - Composti organici volatili - Emissioni - Ingredienti

Introduzione

Gli oli essenziali, come l'olio di lavanda, di arancia, di eucalipto e dell'albero del tè, sono ampiamente usati nei cosmetici, nei prodotti per le pulizie, nei prodotti profumati, nei sistemi tecnici per l'edilizia e nell'aromaterapia. Gli oli essenziali sono miscele complesse di vari composti come i terpeni (Huang et al., 2012). L'esposizione a composti emessi dagli oli essenziali è stata associata con effetti nocivi sulla salute come irritazione della pelle (Chiang et al. 2010; Sarkic e Stappen 2018), aggravamento dell'asma, riduzione della funzione polmonare, oppressione toracica e respiro affannoso (Su et al., 2007). Inoltre, l'esposizione ad alcuni di questi composti durante la gravidanza può potenzialmente danneggiare lo sviluppo del feto (Bagasra et al., 2013).

Numerosi studi hanno esaminato gli oli essenziali e la maggior parte ha utilizzato i propri oli estratti dalle foglie di piante, dalle radici o dai frutti (Isidorov e Jdanova 2002; Winters et al., 2009; Helmig et al. 2013; González-Rivera et al. 2016), al posto di quelli disponibili in commercio. Inoltre, gli studi sugli oli essenziali in genere si concentrano nel fornire

informazioni sui benefici anti-batterici e antiossidanti (Lee et al., 2005, 2013) piuttosto che sulle emissioni o sui possibili rischi.

Tra la letteratura, un sottoinsieme relativamente ristretto di studi ha esaminato le emissioni di VOC dagli oli essenziali disponibili in commercio. Ad esempio, Chiang et al. (2010) hanno analizzato composti emessi da cinque oli essenziali (cioè, lavanda, limone, rosa, rosmarino e albero del tè) e hanno scoperto che i principali composti carbonilici erano acetaldeide, formaldeide, acetone e propionaldeide. Chiu et al. (2009) hanno analizzato le emissioni di VOC da cinque oli essenziali (cioè rosa, limone, rosmarino, tea tree, e lavanda) e hanno scoperto che i VOC predominanti erano toluene, 1,2,3-trimetilbenzene, 1,2,4-trimetilbenzene, n-undecano, p-dietilbenzene e m-dietilbenzene.

Materiale supplementare elettronico. La versione online di questo articolo contiene materiale supplementare, che è disponibile per gli utenti autorizzati. (<https://doi.org/10.1007/s11869-018-0606-0>)

* Neda Nematollahi
nnematollahi@student.unimelb.edu.au

1 Department of Infrastructure Engineering, Melbourne School of Engineering, The University of Melbourne, Parkville, Victoria 3010, Australia

2 School of Chemistry, The University of Melbourne, Parkville, Victoria 3010, Australia

3 College of Science and Engineering, James Cook University, Townsville, QLD 4811, Australia

4 Climate, Atmospheric Sciences, and Physical Oceanography, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093, USA

Cheng e Lai (2014) hanno analizzato i sottoprodotti degli oli essenziali dell'albero del tè e sono stati trovati composti di alcano come propano e isobutano, nonché composti aromatici come etilbenzene, m/p-xilene, 1,2,3-trimetilbenzene, 1,2,4 trimetilbenzene, 1,4-dietilbenzene e acetone. Su et al. (2007) hanno analizzato tre oli essenziali (ad es. lavanda, eucalipto e albero del tè) ed è emerso che i principali VOC erano linalolo, linalil artranilato, eucaliptolo, d-limonene, p-cimene, γ -terpinene e terpinene-4-olo, tutti della famiglia dei terpeni. Francis e Stusdal (2014) hanno analizzato tre tipi di oli essenziali di menta (cioè, olio di menta piperita, menta piperita giapponese e di menta verde) e hanno riscontrato che i principali composti della menta piperita e dell'olio di menta piperita giapponese erano mentone, mentolo, limonene, 1,8-cineolo, menthofuran e neomentolo e dall'olio di menta verde erano carvone, limonene e 1,8-cineolo. Nel loro insieme, questi studi forniscono la prova che gli oli essenziali emettono numerosi VOC, alcuni considerati potenzialmente pericolosi. Tuttavia, la maggior parte degli studi ha analizzato fino a cinque (ma anche di meno) oli essenziali piuttosto che una gamma di tipi e marchi, che è un contributo di questo attuale studio.

Questo studio indaga i VOC emessi da una varietà di 24 oli essenziali commerciali di diversi tipi e marche, compresi gli oli essenziali sia ordinari che naturali. Inoltre, questa ricerca confronta i VOC emessi sia dagli oli essenziali ordinari sia da quelli naturali ed esamina le loro classificazioni come potenzialmente pericolose secondo i regolamenti federali. "L'olio essenziale "sarà considerato, per questo articolo, come un olio derivato da o con l'aroma dell'essenza di una sostanza vegetale. Il termine "oli essenziali commerciali" in questo studio si riferisce agli oli essenziali che sono disponibili al pubblico per l'acquisto. La classificazione "naturale" per gli oli essenziali si riferisce a oli o diffusori che hanno la denominazione di essere "naturali" o con termini simili come "biologico certificato", "100% puro", "organico", "non petrolchimico", "non tossico" o "vegetale" per l'olio essenziale nella sua interezza o per i singoli ingredienti che lo compongono. Tuttavia, questo studio non ha cercato di autenticare le

affermazioni sul prodotto "naturale". La classificazione come "ordinario" per gli oli essenziali si riferisce a quelli che non appartengono alla categoria naturale.

Materiali e metodi

L'analisi chimica a spazio di testa GC/MS è stata utilizzata per analizzare i VOC emessi da 24 oli essenziali. Gli oli essenziali erano suddivisi in due categorie: 12 ordinari e 12 naturali. La categoria ordinari includeva 2 oli di lavanda, 2 oli di gelsomino, 1 olio di arancia, 1 olio di rosa inglese, 1 olio di rosa e pompelmo, 1 olio di citronella e 4 miscele di oli aromatici. La categoria naturale includeva 2 oli dell'albero del tè, 2 oli di eucalipto, 1 olio di lavanda, 1 olio di arancia, 1 olio di menta piperita, 1 olio di lime e di cocco, e 4 miscele di oli aromatici. Gli oli essenziali commerciali in questo studio sono stati acquistati nei supermercati, negozi di aromi, punti vendita biologici e farmacie in Australia e provenivano da entrambi i fornitori nazionali e internazionali. L'analisi a spazio di testa GC/MS degli oli essenziali era eseguita utilizzando un Gas Chromatograph-Mass Spectrometry Shimadzu equipaggiato con una colonna capillare BPX-VOL. I componenti volatili dei campioni sono stati identificati in base alla mass spectral library dell'Istituto nazionale degli standard e della tecnologia/National Institute of Standards and Technology NIST versione 2.0 (Stein 2008). Maggiori dettagli sui metodi GC/MS sono descritti in Nematollahi et al. (2018). Sebbene i cromatogrammi della maggior parte degli oli essenziali hanno esibito più di 100 picchi (vedere la Figura Supplementare, disponibile online), solo i primi 25 picchi per ciascuno dei campioni sono stati elaborati.

I VOC emessi dagli oli essenziali sono stati esaminati per la classificazione come (i) potenzialmente pericoloso ai sensi delle normative australiane o (ii) potenzialmente cancerogeno secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità. Per (i), il Safe Work Australia (SWA) fornisce un Sistema di informazioni delle sostanze chimiche pericolose/Hazardous Chemical Information System (HCIS) con un database di composti potenzialmente pericolosi (SWA 2018). Sebbene il SWA utilizzi il Sistema Globalmente Armonizzato di Classificazione ed etichettatura dei prodotti chimici/ Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS 2018) con soglie di concentrazione per determinare una classe di pericolo specifica e categoria, il rischio complessivo dipende da fattori aggiuntivi come le esposizioni. Per (ii), l'Organizzazione Mondiale della Sanità, Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro/International Agency for Research on Cancer (IARC) (World Health Organization (WHO) 2018), valuta i composti per il loro potenziale rischio cancerogeno per l'uomo.

Tuttavia, queste due analisi non suggeriscono che i VOC discussi nello studio corrente siano gli unici composti potenzialmente pericolosi emesso dagli oli essenziali. Inoltre, questo studio si è concentrato sui singoli composti e non ha esaminato i potenziali rischi di uno o più composti presenti contemporaneamente in un olio essenziale.

Risultati e discussione

I VOC emessi

Ogni olio essenziale ha emesso tra 20 e 140 VOC (vedi Tabelle supplementari 1 e 2, disponibili online). La tabella 1 mostra il sommario dei VOC emessi dagli oli essenziali "naturale" e "ordinario". In questo documento, il termine "episodi VOC" rappresenta il numero di singoli VOC emessi da ciascun olio essenziale corrispondenti ai 25 picchi cromatografici maggiori.

Il termine "identità VOC" rappresenta il numero di VOC univoci, che possono essere emessi da uno o più oli essenziali. Per tutti i 24 oli essenziali, il numero di episodi VOC e di identità erano rispettivamente 589 e 188. Le tabelle supplementari 3, 4 e 5 (disponibili online) forniscono dettagli sui VOC emessi da tutti i 24 oli essenziali e sottoinsiemi di oli essenziali "naturali" e oli essenziali "ordinari".

Tabella 1 VOC emessi da 24 oli essenziali			
Tipi	Numero di oli essenziali	Tutti i VOC	VOC potenzialmente pericolosi
Ordinari	12	289 episodi 132 identità	74 episodi 27 identità
Naturali	12	300 episodi 95 identità	50 episodi 16 identità
Totali	24	589 episodi 188 identità	124 episodi 33 identità

I VOC più diffusi

Tra i 24 oli essenziali, i VOC più diffusi (in almeno il 50% di tutti gli oli essenziali) erano alfa-pinene, limonene, acetone, linalolo, alfa-fellandrene, beta-mircene, canfene, etanolo, beta-pinene, 3-carene, eucaliptolo, acetaldeide, beta-fellandrene, gamma-terpinene, m-cimene, beta-trans-ocimene, metanolo e terpinene. Negli oli essenziali "ordinari" i VOC più diffusi (in almeno il 50% di oli essenziali regolari) erano acetaldeide, linalolo, 1-(2-metossi-1-metiletossi) propan-2-olo, alfa-pinene, limonene, acetone, etanolo e 1-(2-metossipropossi) propan-2-olo. Negli oli essenziali "naturali", i VOC più diffusi (in almeno il 65% degli oli essenziali naturali) erano alfa-pinene, alfa-fellandrene, beta-pinene, limonene, 3-carene, beta-mircene, eucaliptolo, gamma-terpinene, canfene, acetone, beta-fellandrene e m-cimene. La tabella 2 presenta i VOC più diffusi.

Tavola 2 VOC più frequenti emessi da 24 oli essenziali				
Composti	CAS#	Prevalenza (# di oli essenziali)		
		Totali	Ordinari	Naturali
Tutti gli oli essenziali (n. 24)				
alfa-Pinene	80-56-8	20	8	12
Limonene*	138-86-3	19	8	11
Acetone*	67-64-1	17	8	9
Linalool	78-70-6	16	9	7
alfa-Fellandrene	99-83-2	16	4	12
beta-Mircene	123-35-3	15	5	10
Campene	79-92-5	15	5	10
Etanolo*	64-17-5	15	8	7
beta-Pinene	127-91-3	15	3	12
3-Carene	13466-78-9	14	3	11
Eucaliptolo	470-82-6	14	4	10
Acetaldeide*	75-07-0	13	10	3
Beta-Fellandrene	555-10-2	13	4	9
gamma-Terpinene	99-85-4	13	3	10
m-Cimene	535-77-3	11	3	8
beta-trans-Ocimene	3779-61-1	10	3	7
Metanolo*	67-56-1	10	3	7
Terpinolene	586-62-9	10	3	7
Oli essenziali ordinari (n.12)				
Acetaldeide*	75-07-0	10		
Linalool	78-70-6	9		
1-(2-Metossi-1-	20324-32-7	8		

metiletossi) propan-2-olo alfa-Pinene Limonene* Etanolo 1- (2- metossipropossi) propan-2-olo	80-56-8 138-86-3 67-64-1 13429-07-7	8 8 8 8 6
Oli essenziali naturali (n = 12) alfa-Pinene alfa-Fellandrene beta-Pinene Limonene * 3-Carene beta-Mircene Eucaliptolo gamma-Terpinene Campene Acetone * beta-Fellandrene m-Cimene Linalool beta-trans-Ocimene 4-Carene Metanolo * Etanolo * Terpinolene alfa-Thujene alfa-Terpineolo	80-56-8 99-83-2 127-91-3 138-86-3 13466-78-9 123-35-3 470-82-6 99-85-4 79-92-5 67-64-1 555-10-2 535-77-3 78-70-6 3779-61-1 29050-33-7 67-56-1 64-17-5 586-62-9 2867-05-2 98-55-5	12 12 12 11 11 10 10 10 10 9 9 8 7 7 7 7 7 7 7 6 6
* Classificato come pericoloso su Safe Work Australia, Hazardous Chemical Information System (SWA 2018)		

Classificazioni normative

Tutti gli oli essenziali hanno emesso almeno 1 VOC classificato come potenzialmente pericoloso (Tabelle complementari 1 e 2, disponibili online). Tra tutti i 589 episodi VOC, 124 VOC sono stati classificati come potenzialmente pericolosi secondo le norme australiane (Tabella 3). I composti potenzialmente pericolosi più diffusi (in almeno il 40% degli oli essenziali) erano limonene, acetone, etanolo, acetaldeide e metanolo.

Tabella 3 Composti classificati come potenzialmente pericolosi* tra i VOC emessi dall'essenziale oli.

Composti	CAS#	Prevalenza (#di oli essenziali)		
		Totali	Ordinari	Naturali
Tutti gli oli essenziali (n.24)				
Limonene	138-86-3	19	8	11
Acetone	67-64-1	17	8	9
Etanolo	64-17-5	15	8	7
Acetaldeide	75-07-0	13	10	3
Metanolo	67-56-1	10	3	7
Acetato di etile	141-78-6	4	4	0
Formiato etilico	109-94-4	4	3	1
Metilacetato	79-20-9	4	4	0
2 Metilpropene	115-11-7	3	3	0
Acetaldeide dietil acetale	105-57-7	3	3	0
cis-3,7-Dimetil-2,6-ottadien-1-olo	106-25-2	3	3	0
Metilformato	107-31-3	3	2	1
(S)-(-)-ossido di propilene	16088-62-3	2	2	0
(Z)- citrale	106-26-3	1	1	0
Butano	106-97-8	3	0	3
Citrале	5392-40-5	2	1	1
Isoamil acetato	123-92-2	1	0	1
(R)-(-)-2-butanolo	14898-79-4	1	1	0
1-Hexanol	111-27-3	2	0	2
1-Octanol	111-87-5	1	0	1
2,4-Dimetilesano	589-43-5	1	0	1
2-Butene	107-01-7	1	1	0
Benzaldeide	100-52-7	1	1	0
Alcool benzilico	100-51-6	1	1	0
Benzile benzoato	120-51-4	1	1	0
Butilico butirrato	109-21-7	1	0	1
Disolfuro di carbonio	75-15-0	1	1	0
Cicloesano	110-82-7	1	1	0
Etil metil etere	540-67-0	1	1	0
Etilbenzene	100-41-4	1	0	1
Alcole isopropilico	67-63-0	1	0	1
Glicole Propilenico Butile Etere	5131-66-8	1	1	0
p-Xilene	106-42-3	1	1	0

* Classificato come pericoloso su Safe Work Australia, Hazardous Chemical Information System (SWA 2018)

La tabella 4 presenta i più comuni composti potenzialmente pericolosi, come classificato dal Safe Work Australia (SWA 2018), tra tutti i composti emessi (non solo quelli corrispondenti) fino ai primi 25 picchi cromatografici). Questi risultati indicano che l'acetaldeide, l'acetone ed etanolo sono stati emessi da quasi tutti (oltre il 90%) degli oli essenziali studiati. Il toluene è stato anche emesso dal 50% degli oli essenziali.

Tabella 4 I più comuni composti classificati come potenzialmente pericolosi * tra tutti i VOC emessi dagli oli essenziali				
Composti	CAS#	Prevalenza (#di oli essenziali)		
		Totali	Ordinari	Naturali
Acetaldeide	75-07-0	24	12	12
Acetone	67-64-1	22	10	12
Etanolo	64-17-5	22	11	11
Metanolo	67-56-1	18	6	12
Metil acetato	79-20-9	14	8	6
Toluene	108-88-3	12	4	8
Acetato di etile	141-78-6	12	7	5
Formiato di etile	109-94-4	8	4	4
Alcole isopropilico	67-63-0	7	2	5
1-Hexanol	111-27-3	6	1	5
2-Butene	107-01-7	4	1	3
Esano	110-54-3	4	2	2
Metil isobutil chetone	108-10-1	4	0	4
Etilbenzene	100-41-4	1	0	1
Benzene	71-43-2	1	0	1
p-Xilene	106-42-3	1	1	0
Alcool benzilico	100-51-6	1	1	0

* Classificato come pericoloso su Safe Work Australia, Hazardous Chemical Information System (SWA 2018)

La tabella 5 indica i rischi cancerogeni dei composti tra tutti quelli emessi (non solo quelli corrispondenti alla cima dei 25 picchi cromatografici). Tra questi composti emessi, 6 VOC, che rappresentano 49 episodi VOC, sono classificati come gruppi 1, 2 o 3 sotto l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO 2018).

Tabella 5 Composti classificati per il rischio cancerogeno * tra tutti i VOC emessi dagli oli essenziali					
Composti	CAS#	Classificazione gruppo*	Prevalenza (# di oli essenziali)		
			Totali	Ordinari	Naturali
Acetaldeide	75-07-0	2B	24	12	12
Toluene	108-88-3	3	12	4	8
Alcole isopropilico	67-63-0	3	7	2	5
Metil isobutile chetone	108-10-1	2B	4	0	4
Benzene	71-43-2	1	1	0	1
Etilbenzene	100-41-4	2B	1	0	1

* Gruppo 1: cancerogeno per l'uomo, gruppo 2A: probabilmente cancerogeno per gli umani, gruppo 2B: possibilmente cancerogeno per l'uomo, gruppo 3: non classificabile per quanto riguarda la sua cancerogenicità per l'uomo (WHO 2018)

Emissioni potenzialmente pericolose

Tutti gli oli essenziali "naturali" hanno emesso almeno 3 VOC classificati come potenzialmente pericolosi, cioè acetaldeide, acetone e metanolo (Tabella 4). Tutti gli oli essenziali "ordinari" hanno emessi almeno 1 VOC classificato come potenzialmente pericoloso, cioè l'acetaldeide

(Tabella 4). I VOC più diffusi potenzialmente pericolosi emessi da almeno il 50% di tutti gli oli essenziali "naturali" e "ordinari" erano uguali. Interessante, la prevalenza di 3 su 7 dei composti più diffusi erano più alti negli oli essenziali "naturali" rispetto agli oli essenziali "ordinari". Inoltre, per i VOC prevalenti classificati come potenzialmente pericolosi (Tabella 4), nessuna differenza significativa è stata trovata tra gli oli essenziali ordinari e naturali ($p < 0.05$, t test).

Limitazioni

Lo studio attuale si è concentrato sull'identificazione dei VOC primari delle emissioni degli oli essenziali ma potrebbero anche essere esaminati altri fenomeni rilevanti come la formazione di inquinanti secondari (ad es. formaldeide) e l'effetto delle concentrazioni di VOC e delle esposizioni sul rischio complessivo. Inoltre, mentre lo studio ha identificato quali VOC erano presenti, non ha cercato di determinare perché quei VOC erano presenti, il che potrebbe essere associato a fattori come le fonti e i metodi di estrazione. Infine, lo studio non ha cercato di autenticare se gli oli essenziali che sostenevano di essere "naturali" lo fossero veramente.

Conclusioni

Questo studio ha analizzato le emissioni di VOC da 24 oli essenziali commerciali di diversi tipi e marche. I risultati hanno indicato che sono stati emessi 589 VOC, che rappresentano 188 diversi VOC, con 124 VOC, che rappresentano 33 diversi VOC, classificati come potenzialmente pericolosi. Inoltre, le emissioni dei VOC potenzialmente più diffusi e pericolosi provenienti dagli oli essenziali "ordinari" e "naturali" non erano significativamente differenti.

Gli oli essenziali non sono tenuti a rivelare gli ingredienti sulle loro etichette. Pertanto, i risultati di questo studio possono migliorare la consapevolezza del pubblico sui VOC emessi dagli oli essenziali.

Ringraziamenti: Questo studio ha ricevuto il sostegno della borsa di studio del programma di formazione del governo australiano dell'Australia (RTP), attraverso l'Università di Melbourne; the Australian Department of Education and Training (Australian Postgraduate Award); and the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).

Questo articolo è dedicato alla memoria di Neda Yarmahmoudi.

Referenze

1. Bagasra O, Golkar Z, Garcia M, Rice LN, Pace DG (2013) Role of perfumes in pathogenesis of autism. *Med Hypotheses* 80:795–803.
<https://doi.org/10.1016/j.mehy.2013.03.014>
2. Cheng WH, Lai CH (2014) Sampling gaseous compounds from essential oils evaporation by solid phase microextraction devices. *Atmos Environ* 99:124–129.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.069>
3. Chiang HM, Chiu HH, Lai YM, Chen CY, Chiang HL (2010) Carbonyl species characteristics during the evaporation of essential oils. *Atmos Environ* 44:2240–2247.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.02.017>
4. Chiu HH, Chiang HM, Lo CC, Chen CY, Chiang HL (2009) Constituents of volatile organic compounds of evaporating essential oil. *Atmos Environ* 43:5743–5749.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.002>

5. Francis GW, Stusdal TK (2014) Differential evaporation of aromatherapy mint oils. *Air Qual Atmos Health* 7:481–487. <https://doi.org/10.1007/s11869-014-0245-z>
6. Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) (2018), SafeWork Australia, classifying chemicals: the GHS. <https://www.safeworkaustralia.gov.au/classifying-chemicals#the-ghs>
7. González-Rivera J, Duce C, Falconieri D, Ferrari C, Ghezzi L, Piras A, Tine MR (2016) Coaxial microwave assisted hydrodistillation of essential oils from five different herbs (lavender, rosemary, sage, fennel seeds and clove buds): chemical composition and thermal analysis. *Innovative Food Sci Emerg Technol* 33:308–318. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.011>
8. Helmig D, Daly RW, Milford J, Guenther A (2013) Seasonal trends of biogenic terpene emissions. *Chemosphere* 93:35–46. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.04.058>
9. Huang HL, Tsai TJ, Hsu NY, Lee CC, Wu PC, Su HJ (2012) Effects of essential oils on the formation of formaldehyde and secondary organic aerosols in an aromatherapy environment. *Build Environ* 57:120–125. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.020>
10. Isidorov V, Jdanova M (2002) Volatile organic compounds from leaves litter. *Chemosphere* 48:975–979
11. Lee SJ, Umano K, Shibamoto T, Lee KG (2005) Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chem* 91:131–137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.056>
12. Lee CJ, Chen LW, Chen LG, Chang TL, Huang CW, Huang MC, Wang CC (2013) Correlations of the components of tea tree oil with its antibacterial effects and skin irritation. *J Food Drug Anal* 21:169–176. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2013.05.007>
13. Nematollahi N, Doronila A, Mornane PJ, Duan A, Kolev SD, Steinemann A (2018) Volatile chemical emissions from fragranced baby products. *Air Qual Atmos Health*:1–6. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0593-1>
14. SafeWork Australia (SWA) (2018) Hazardous chemical information system (HCIS): search hazardous chemicals, <http://hcis.safeworkaustralia.gov.au/HazardousChemical>
15. Sarkic A, Stappen I (2018) Essential oils and their single compounds in cosmetics — a critical review 1–21. <https://doi.org/10.3390/cosmetics5010011>
16. Stein SE (2008) NIST Standard Reference Database 1A. In: The National Institute of Standards and Technology NIST. pp 1–49
17. Su HJ, Chao CJ, Chang HY, Wu PC (2007) The effects of evaporating essential oils on indoor air quality. *Atmos Environ* 41:1230–1236. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.09.044>
18. Winters AJ, Adams MA, Bleby TM, Rennenberg H, Steigner D, Steinbrecher R, Kreuzwieser J (2009) Emissions of isoprene, monoterpene and short-chained carbonyl compounds from *Eucalyptus* spp. in southern Australia. *Atmos Environ* 43:3035–3043. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.026>
19. World Health Organization (WHO) (2018) International Agency for Research on Cancer (IARC): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, list of classifications, vol 1–120, http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php