

FICHE 2 FOCUS - ANALYSES: COMPRENDRE PLUS

Le risque de goût de fumée est associé à l'accumulation de certains **composés phénoliques**, qui se présentent sous forme libre ou liée à d'autres molécules. Tour d'horizon de ces composés avec quelques valeurs de référence pour vous aider dans l'interprétation de vos analyses.

+70 molécules



Plus de **70 composés** susceptibles de contribuer au goût de fumée ont été identifiés dans les raisins et les vins exposés aux fumées d'incendie ⁽³⁾.

10^{aine} molécules

Parmi eux, une **10^{aine} de molécules** sont utilisées comme **biomarqueurs** analytiques pour évaluer le risque de contamination des raisins et des vins ^(11, 19, 23).

Ces composés phénoliques sont répartis en **deux grandes familles**

On distingue les **composés phénoliques dits « libres » ou « volatils »** qui sont odorants et leurs formes liées à des sucres dits **composés « liés » ou « précurseurs glycosylés »** qui sont inodores.

Ces composés évoluent d'une forme à l'autre: glycosylation dans le raisin, puis hydrolyse possible des formes liées au cours de l'élaboration et de la consommation du vin.

Composés phénoliques libres / volatils

Gaïacol
4-Méthylgaïacol
Crésol(O-crésol, M-crésol, P-crésol)
Syringol
4-Méthylsyringol
Phénol

Principaux « biomarqueurs » associés au risque de goût de fumée ^(3,4,5,6,7,8,11)



Odorant

GLYCOSYLATION



Réaction intervenant **une fois la molécule sur le raisin** et pouvant être très rapide (moins d'une heure) ^(1,2)

HYDROLYSE



Réaction enzymatique ou chimique en milieu acide qui peut intervenir à la **fermentation**, l'**élevage**, le **vieillissement** et **en bouche**. Elle n'est généralement pas complète, laissant une fraction sous forme liée pouvant être hydrolysée plus tard ^(9,10)

Composés phénoliques liés ou précurseurs glycosylés

Gaïacol-rutinoside
4-Méthylgaïacol-rutinoside
Crésol-rutinoside
Syringol-gentiobioside
4-Méthylsyringol-gentiobioside
Phenol-rutinoside

Principaux « biomarqueurs » associés au risque de goût de fumée ^(3,4,5,6,7,8,11)



Inodore

Risque immédiat

Goût de fumée perceptible à un instant t. Attention, cette mesure n'indique pas l'ampleur du défaut.

2 formes chimiques = 2 risques à distinguer

Risque futur

Réservoir latent de « goût de fumée » qui peut se libérer après fermentation. C'est la « bombe à retardement ».

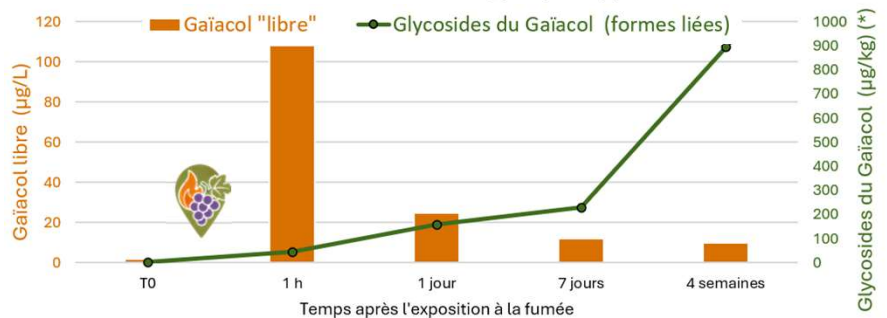
Que montre ce graphique ?

Des raisins de Cabernet Sauvignon ont été exposés à une forte densité de fumée un mois avant la récolte ^{8,11}.

Le suivi réalisé jusqu'à 4 semaines après cette exposition montre la **diminution rapide** du gaïacol sous forme libre, parallèlement à l'**accumulation progressive de ses formes glycosylées quantifiées**.

Des travaux récents suggèrent que cette augmentation progressive pourrait en partie refléter une moindre extractibilité des glycoconjugués dans les raisins immatures, plutôt qu'une glycosylation lente ^{11,24}.

Évolution des formes libres et glycosylées après exposition à la fumée ^{8,11}
Cas du Gaïacol libre et de ses formes glycosylées (*) dans le raisin



* Somme des formes glycosylées du gaïacol quantifiées dans l'étude ^{8,11} : gaïacol glucoside, gaïacol glucose-glucoside, gaïacol pentose-glucoside, gaïacol rutinoside.



- Certains marqueurs du goût de fumée peuvent être naturellement présents à l'état de traces dans les **raisins** et les **vins**.
- La **comparaison avec des valeurs de référence** aide à l'interprétation des résultats analytiques.
- Celles-ci restent toutefois encore **limitées** et **hétérogènes**, les concentrations variant selon les méthodes de quantification, le cépage, le millésime, les conditions de culture, le stade de maturité des raisins et les itinéraires œnologiques.



Dans la vaste étude australienne menée par Coulter et al. (2022) (12 cépages, 33 régions viticoles, 4 millésimes), la concentration maximale observée pour chacun des 13 composés marqueurs analysés n'excédait pas 15 µg/kg dans les raisins et environ 15 µg/L dans les vins non exposés à la fumée.

Mesures sur raisin
(µg/kg)
Coulter et al. 2022 ⁽¹⁹⁾

Composés phénoliques volatils (forme libre)

	Gaïacol	4-Méthylgaïacol	m-Crésol	o-Crésol	p-Crésol	Syringol	4-Méthylsyringol
Cabernet-Sauvignon	0	0	0	0	0	0	0
Grenache	0,6	0,2	0,1	1	0,1	0,3	0,3
Mataro	1,3	0,4	0,1	0,8	0,1	0,3	0,1
Merlot	0,7	0,2	0	0,3	0	0,3	0,1
Pinot Noir	0,3	0	0	1,2	0	0	0
Sangiovese	1	0,3	0,1	0,6	0,1	0,2	0,1
Syrah	3	0	0	0	0	0	0
Chardonnay	0	0	0	0	0	0	0
Pinot Gris	0,5	0,2	0,1	1,1	0,1	0,2	0,1
Riesling	0	0	0	0,1	0	0	0
Sauvignon Blanc	0,3	0,2	0,1	0,9	0,1	0,2	0,1
Sémillon	0,3	0,2	0,1	0,6	0,1	0,2	0,1
Moyenne tous cépages	0,7	0,1	0,1	0,6	0,1	0,1	0,1

Composés phénoliques glycosylés (forme liée)

	Gaïacol-rutinoside	Méthylgaïacol-rutinoside	Crésol-rutinoside	Syringol-gentiobioside	Méthylsyringol-gentiobioside	Phenol-rutinoside
Cabernet-Sauvignon	0,5	0,7	1,3	1,7	0,4	0,5
Grenache	0,7	0,6	2,2	2,4	0,4	0,6
Mataro	0,5	1,9	2,5	2,8	0,2	0,5
Merlot	0,3	0,7	1,4	2,9	0,4	0,4
Pinot Noir	0,2	0,6	0,9	1,1	0,4	0,2
Sangiovese	0,4	0,7	1,2	1	0,3	0,3
Syrah	2,4	1,3	2,2	4,6	1,2	0,3
Chardonnay	0,1	0,7	0,8	0,5	0,4	0,1
Pinot Gris	0,1	0,2	0,6	0,1	0,4	0,1
Riesling	0,2	0,4	1,2	0,6	0,3	0,2
Sauvignon Blanc	0,3	0,5	1,4	0,1	0,2	0,7
Sémillon	0,2	0,3	1,2	0,1	0,2	0,3
Moyenne tous cépages	0,5	0,7	1,4	1,5	0,4	0,4



Mesures sur vin (µg/L)
Coulter et al. 2022 ⁽¹⁹⁾

Composés phénoliques volatils (forme libre)

	Gaïacol	4-Méthylgaïacol	m-Crésol	o-Crésol	p-Crésol	Syringol	4-Méthylsyringol
Cabernet-Sauvignon	0,9	0	0,3	0,6	0,4	2,5	0,1
Grenache	0,9	0,2	0,1	1,3	0,1	1,8	0,3
Mataro	1,4	0,5	0,2	1,1	0,1	1,8	0,2
Merlot	1,1	0,3	0,1	0,4	0,1	2	0,3
Pinot Noir	0,8	0,2	0,1	1,3	0,1	1,2	0,2
Sangiovese	1,5	0,3	0,1	0,8	0,1	1,7	0,4
Syrah	5,9	0	0,1	0,4	0,1	2,4	0,1
Chardonnay	0,3	0	0,2	0,5	0,2	0,5	0,1
Pinot Gris	0,6	0,2	0,1	1,3	0,1	0,9	0,2
Riesling	0,5	0	0,1	0,5	0,1	0,4	0,1
Sauvignon Blanc	0,5	0,2	0,1	0,9	0,1	0,5	0,2
Sémillon	0,4	0,3	0,1	0,7	0,1	0,6	0,2
Moyenne tous cépages	1,2	0,2	0,1	0,8	0,1	1,4	0,2

Composés phénoliques glycosylés (forme liée)

	Gaïacol-rutinoside	Méthylgaïacol-rutinoside	Crésol-rutinoside	Syringol-gentiobioside	Méthylsyringol-gentiobioside	Phenol-rutinoside
Cabernet-Sauvignon	1	0,9	2	1,2	0,1	0,7
Grenache	1,5	1	3,5	3	0,3	1,6
Mataro	1,1	3	4	3,3	0,2	1,2
Merlot	0,7	1,3	2,2	3,4	0,4	0,8
Pinot Noir	0,3	0,7	1,4	1,1	0,2	0,4
Sangiovese	0,9	1	2	1,2	0,3	0,7
Syrah	5	2	2,8	2,1	0,3	0,6
Chardonnay	0,1	0,4	0,7	0,5	0,2	0,1
Pinot Gris	0,1	0,4	1,1	0,3	0,2	0,3
Riesling	0,3	0,5	1,6	0,3	0,2	0,4
Sauvignon Blanc	0,5	1	2,6	0,4	0,1	1,2
Sémillon	0,2	0,5	2	0,3	0,1	0,6
Moyenne tous cépages	1,0	1,1	2,2	1,4	0,2	0,7



ZOOM SUR L'EFFET « FÛTS »



Prida et al. (2010) ont étudié 79 vins commerciaux élevés dans différents types de barriques ⁽²¹⁾.

Ils ont rapporté des **concentrations maximales** de plusieurs composés également utilisés comme marqueurs du goût de fumée.

L'élevage sous bois constitue donc un facteur d'interprétation important à **prendre en compte** lors de l'analyse des résultats.

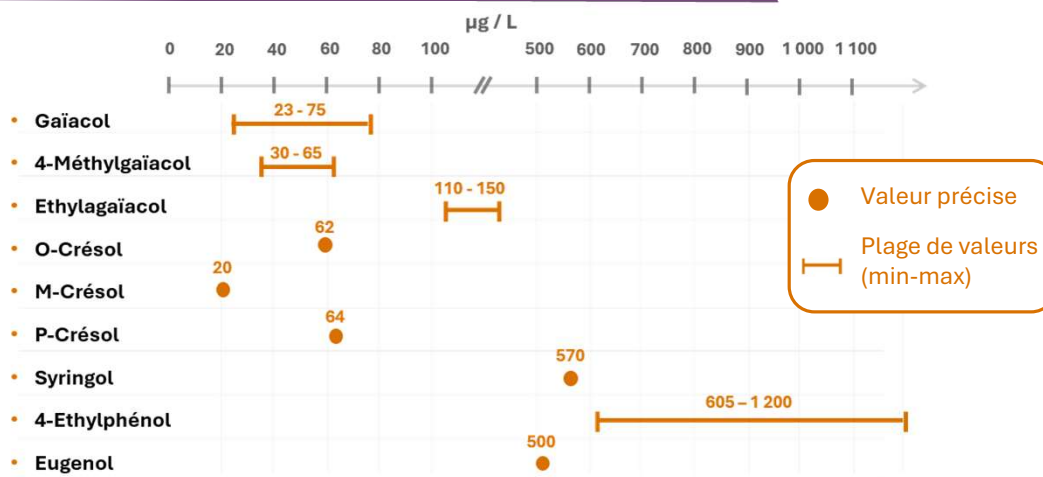
Composés	Moyenne observée tous cépages Coulter et al. 2022 (µg/L)	Prida et al. 2010 (µg/L)
Gaïacol	1,2	40
Méthylgaïacol	0,2	22
Phénol	-	122
m-Crésol	0,1	158
o-Crésol	0,8	4
Syringol	1,4	488

LES SEUILS DE PERCEPTION



Concentrations ($\mu\text{g/L}$) à partir desquelles les molécules peuvent être perçues à la dégustation dans un vin rouge.

Sources bibliographiques: 6,7,10,12,13,15



5 POINTS DE VIGILANCE MAJEURS

dans l'interprétation des seuils de perception



PAS DE SEUIL UNIVERSEL

Les seuils de perception sont des ordres de grandeur. À ce jour, il n'existe ni seuil universellement reconnu, ni concentration permettant à elle seule de conclure à la présence ou à l'absence d'un risque de goût de fumée^(9, 10, 14, 18).



SEUILS ÉTABLIS SUR LES VINS

Les seuils de perception ont été établis uniquement sur des vins, et non sur des raisins!

Leur transposition directe aux résultats d'analyse sur raisins doit donc être effectuée avec une grande prudence.



EFFET MATRICE: INFLUENCE DU VIN

Les seuils de perception varient selon les caractéristiques du vin (cépage, teneur en alcool, sucres, profil aromatique, etc.).

Une même concentration peut donc être perçue différemment d'un vin à l'autre^(10, 17).



EFFETS ADDITIFS OU SYNERGIQUES

Plusieurs composés présents simultanément peuvent produire des effets synergiques.

Ainsi, plusieurs molécules présentes individuellement sous leur seuil de perception peuvent générer un caractère de fumée perceptible^(14, 15).



VARIABILITÉ ENTRE DÉGUSTATEURS

La sensibilité au goût de fumée varie fortement selon les individus.

Les seuils de perception peuvent donc différer d'un dégustateur à l'autre⁽¹⁴⁾.

QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR SUR DES VIGNES EXPOSÉES AUX INCENDIES

- Hayasaka et al. (2013)²³ ont analysé des raisins et des vins issus de zones affectées par les incendies australiens de 2009.

À retenir : évaluer l'exposition d'une vigne à un incendie nécessite de prendre en compte les formes glycosylés des composés phénoliques. Comme l'illustre cette étude, celles-ci augmentent fortement alors que les teneurs en gaïacol libre restent faibles et largement superposables à celles des témoins.

Attention, les vins analysés ne sont pas issus des raisins analysés.

Marqueurs	RAISINS	
	Limite supérieure des témoins (95 %)	Raisins exposés à un incendie
Gaïacol libre	3,4 $\mu\text{g/kg}$	0 à 5 $\mu\text{g/kg}$
Syringol-gentiobioside	11,8 $\mu\text{g/kg}$	68 - 1 623 $\mu\text{g/kg}$
4-Méthylsyringol-gentiobioside	3,2 $\mu\text{g/kg}$	12-610 $\mu\text{g/kg}$

Marqueurs	VINS	
	Limite supérieure des témoins (95 %)	Vins issus de raisins exposés
Gaïacol libre	14,7 $\mu\text{g/L}$	4-20 $\mu\text{g/L}$
Syringol-gentiobioside	6,6 $\mu\text{g/L}$	15 - 98 $\mu\text{g/L}$
4-Méthylsyringol-gentiobioside	0,7 $\mu\text{g/L}$	2,4 - 17,6 $\mu\text{g/L}$

● Classes d'exposition à la fumée proposées par Crews et al. (2022)²⁵ et reprise par Szeto en al. (2024)²⁰

- Crews et al. ont proposé des classes de concentrations en glycoconjugués dans le vin, associées à différents niveaux d'exposition à la fumée. Szeto et al. les ont ensuite transposées aux raisins.
- Crews et al. ont confronté cette classification à des appréciations sensorielles des vins. Une augmentation de la concentration de ces 6 glycoconjugués s'accompagne globalement d'une augmentation des défauts observés.
- Ces classes constituent des niveaux indicatifs et non des seuils sensoriels universels.

Exposition à la fumée	Niveau de référence / non exposé	Faible	Modérée	Significative	Elevée	Importante	Sévère
Somme de la concentration de 6 glycosides dans du vin (*)	< 15 $\mu\text{g/L}$	15 à 30 $\mu\text{g/L}$	31 à 100 $\mu\text{g/L}$	101 à 200 $\mu\text{g/L}$	201 à 300 $\mu\text{g/L}$	301 à 400 $\mu\text{g/L}$	> 400 $\mu\text{g/L}$
Observations sensorielles rapportées	Pas de défaut	Léger défaut	Léger défaut	Non renseigné	Défaut perceptible	Défaut sérieux	Défaut très important

(*) Somme des concentrations en Cresol rutinoside (CrR), Guaiacol rutinoside (GuR), 4-Méthylguaiacol- rutinoside (MGuR), Phenol rutinoside (PhR), 4-Méthylsyringol gentiobioside (MSyGB) et Syringol gentiobioside (SyGB)

- (1) Favell, J.W.; Fordwour, O.B.; Morgan, S.C.; Zigg, I.; Zandberg, W.F. (2021). Large-Scale Reassessment of In-Vineyard Smoke-Taint Grapevine Protection Strategies and the Development of Predictive Off-Vine Models. *Molecules*, 26, 4311.
- (2) Noestheden, M.; Dennis, E.G.; Zandberg, W.F. (2018) Quantitating volatile phenols in Cabernet Franc berries and wine after on-vine exposure to smoke from a simulated forest fire. *J. Agric. Food Chem.*, 66, 695–703
- (3) Rochfort, S.; Reddy, P.; Fernanado, K.; Liu, Z.; Ezernieks, V.; Spangenberg, G. (2024). Detection of biomarkers for characterizing smoke-taint in grapes. *Food Chemistry*, vol. 23, 101665
- (4) Piao, H.; Collins, TS.; Henick-Kling, T. (2025) Investigation of smoke-taint precursor modification by glycosidase activity in diverse wine yeast and bacterial strains. *Front. Microbiol.* 16:1679638. doi: 10.3389/fmicb.2025.1679638
- (5) Kelly, D.; Zerihun, A.; Singh, D.; von Eckstaedt, C.V.; Gibberd, M.; Grice, K.; Downey, M. (2012). Exposure of grapes to smoke of vegetation with varying lignin composition and accretion of lignin derived putative smoke taint compounds in wine. *Food Chem.* 2012, 135, 787–798.
- (6) Krstic, M.P.; Johnson, D.L.; Herderich, M.J. (2015). Review of smoke taint in wine: smoke-derived volatile phenols and their glycosidic metabolites in grapes and vines as biomarkers for smoke exposure and their role in the sensory perception of smoke taint. *Aust. J. Grape Wine Res.* 21(S1): 537-553
- (7) Kennison, K.R.; Wilkinson K.L.; Williams H.G.; Smith J.H.; Gibberd M.G. (2007). Smoke-derived taint in wine: effect of postharvest smoke exposure of grapes on the chemical composition and sensory characteristics of wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:10897-10901.
- (8) Szeto, C.; Ristic, R.; Capone, D.; Puglisi, C.; Pagay, V.; Culbert, J.; Jiang, W.; Herderich, M.; Tuke, J.; Wilkinson, K. (2020). Uptake and Glycosylation of Smoke-Derived Volatile Phenols by Cabernet Sauvignon Grapes and Their Subsequent Fate during Winemaking. *Molecules*, 25, 3720. <https://doi.org/10.3390/molecules25163720>
- (9) Hayasaka, Y.; Baldock, G.A.; Parker, M.; Pardon, K.H.; Black, C.A.; Herderich, M.J.; Jeffery, D. (2010). Glycosylation of smoke-derived volatile phenols in grapes as a consequence of grapevine exposure to bushfire smoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(20): 10989-98.
- (10) Summerson, V.; Gonzalez Viejo, C.; Pang, A.; Torrico, D. D.; Fuentes, S. (2021). Review of the Effects of Grapevine Smoke Exposure and Technologies to Assess Smoke Contamination and Taint in Grapes and Wine. *Beverages*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.3390/beverages7010007>
- (11) Wilkinson, K.L.; Culbert, J.A.; Ristic, R. (2026). Smoke taint in wine. In book: *Red Wine Technology*, p. 529-542. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-443-33914-1.00021-0
- (12) Parker, M.; Osidacz, P.; Baldock, G.; Hayasaka, Y.; Black, C.; Pardon, K.; Jeffery, D.; Geue, J.; Herderich, M.; Francis, I. (2012) Contribution of several volatile phenols and their glycoconjugates to smoke-related sensory properties of red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60, 2629–2637.
- (13) McKay, M.; Bauer, F.F.; Panzeri, V.; Mokwena, L.; Buica, A. (2019). Profiling Potentially Smoke Tainted Red Wines: Volatile Phenols and Aroma Attributes. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, Vol. 40, No. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21548/40-2-3270>
- (14) Kelly, D.; Zerihun, A. The Effect of Phenol Composition on the Sensory Profile of Smoke Affected Wines (2015). *Molecules* , 20, 9536-9549. <https://doi.org/10.3390/molecules20069536>
- (15) Keast, R.; Breslin, P. An overview of binary taste-taste interactions (2002). *Food Qual. Prefer*, 14, 111–124. [Google Scholar] [CrossRef]
- (16) De Simon, B.; Cadahia, E.; Sanz, M.; Poveda, P.; Perez-Magarino, S.; Ortega-Heras, M.; Lez-Huerta, C. (2008) Volatile compounds and sensorial characterization of wines from four Spanish denominations of origin, aged in Spanish Rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) oak wood barrels. *J. Agric. Food Chem.*, 56, 9046–9055.
- (17) Villamor, R. R.; Ross, C. F. (2013). Wine matrix compounds affect perception of wine aromas. *Annual review of food science and technology*, 4, 1–20. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182707>
- (18) Alcazar-Magana, A.; Yang, R.; Qian, M.C.; Qian, Y.L. (2025) Discrimination of Smoke-Exposed Pinot Noir Wines by Volatile Phenols and Volatile Phenol-Glycosides. *Molecules*, 30, 2719. <https://doi.org/10.3390/molecules30132719>
- (19) Coulter, A.; Baldock, G.; Parker, M.; Hayasaka, Y.; Francis, I.L.; Herderich, M. (2022). Concentration of smoke marker compounds in non-smoke-exposed grapes and wine in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 28: 459-474. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12543>
- (20) Szeto, C.; Feng, H., Sui, Q., Blair, B., Mayfield, S., Pan, B., Wilkinson, K. (2024). Exploring variation in grape and wine volatile phenol glycoconjugates to improve evaluation of smoke taint risk. *Am. J. Enol. Vitic.* 75(1): 23060. DOI: 10.5344/ajev.2024.23060
- (21) Prida, A.; Chatonnet, P. (2010). Impact of oak-derived compounds on the olfactory perception of barrel-aged wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(3), 408-413
- (22) Jiranek, V. (2011). Smoke taint compounds in wine: Nature, origin, measurement and amelioration of affected wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 17. S2 - S4. 10.1111/j.1755-0238.2011.00154.x.
- (23) Hayasaka, Y.; Parker, M.; Baldock, G.A.; Pardon, K.H.; Black, C.A.; Jeffery, D.W.; Herderich, M.J. (2013) Assessing the Impact of Smoke Exposure in Grapes: Development and Validation of a HPLC-MS/MS Method for the Quantitative Analysis of Smoke-Derived Phenolic Glycosides in Grapes and Wine. *J. Agric. Food Chem.* 61, 25-33 <https://doi.org/10.1021/jf305025j>
- (24) K. Wilkinson, communication personnelle, août 2026 ; travaux en cours.
- (25) Crews, P.; Dorenbach, P.; Amberchan, G. (2022) Appraising California Zinfandel Exposure to Wildfire Smoke Using Natural Product Phenolic Diglycoside Biomarkers. *J. Agric. Food Chem.* 21 September 2022; 70 (37): 11738–11748. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c04807>

