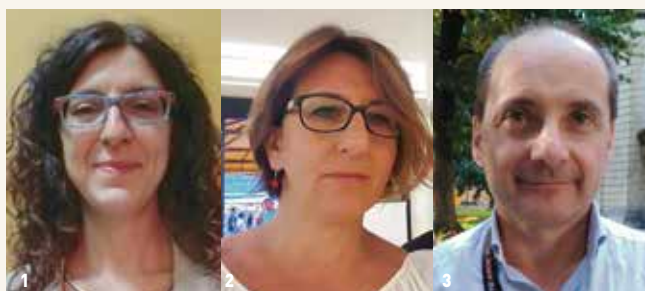


VINCITORE PREMIO ASSOENOLOGI-VERSINI 2017

IL GUSTO DI LUCE NEL VINO BIANCO: MECCANISMI DI FORMAZIONE E PREVENZIONE

Il gusto di luce è un difetto che può comparire nel vino bianco imbottigliato in vetro incolore ed esposto alla luce associato alle note anti-aromatiche di “cavolo cotto” e “cipolla”. Al fine impedirne la comparsa, è stato indagato l’effetto di prevenzione in seguito all’aggiunta di antiossidanti (anidride solforosa e glutazione) e di tannini di legno (quercia, castagno e galla) in soluzione modello. L’anidride solforosa ed i tannini, soprattutto di natura gallica, limitano la comparsa del difetto di luce nelle condizioni sperimentali adottate. L’efficacia dei tannini da legno potrebbe essere direttamente legata alla quantità di forme fenoliche ossidate ed il loro impiego potrebbe consentire il mantenimento della qualità del vino nel corso della shelf-life.



Di
Daniela Fracassetti¹
Sara Limbo²
Antonio Tirelli³
 Dipartimento di Scienze per gli Alimenti,
 la Nutrizione e l’Ambiente (DeFENS), Università
 degli Studi di Milano

INTRODUZIONE

● Il gusto di luce è un difetto che può comparire nel vino bianco conservato in bottiglia di vetro incolore ed esposto alla luce naturale o artificiale per qualche ora o pochi giorni (Maujean *et al.*, 1978; Bekbölet, 1990; Clark *et al.*, 2011). In queste condizioni di conservazione, l’aroma del vino risulta deteriorato a causa della perdita di freschezza e delle note floreali e fruttate, e alla comparsa di aromi sgra-

devoli associati al descrittore di “cavolo cotto” dovuti alla formazione di composti solforati, principalmente metantiolo (MeSH) e dimetil disolfuro (DMDS) (Haye *et al.*, 1977; Maujean e Seguin, 1983a). La formazione di tali molecole è riconducibile alla presenza di riboflavina (RF), un composto fotosensibile, e metionina (Met). Con l’esposizione del vino ad una radiazione luminosa con emissione a lunghezze d’onda comprese tra 370 nm e 450 nm, la RF subisce una fotoriduzione attraverso l’acquisizione di due elettroni

dalla Met che è convertita a metionale (Maujean e Seguin, 1983a). Il metionale è, a sua volta, un composto estremamente instabile alla luce e si decompone a MeSH ed acroleina. La reazione tra due molecole di MeSH porta alla formazione di DMDS (Maujean e Seguin, 1983a). Il MeSH è altamente volatile, ha una bassa soglia di percezione (0.3-3 µg/L in vino) e conferisce aromi descritti come “uova marce” o “cavolo”. Il DMDS è meno volatile, ma la soglia di percezione è ancora bassa (30 µg/L) ed è responsabile degli

Tab. 1 - Degradazione di metionina (Met) e riboflavina (RF) in presenza di tannini di legno (40 mg/L).

Tannino aggiunto	Condizioni di ossigenazione				Condizioni anossiche			
	Decremento% Met	Decremento% RF	Rapporto molare	Intensità olfattiva	Decremento% Met	Decremento% RF	Rapporto molare	Intensità olfattiva
Nessuno	18	100	7.8	+++	27	100	9.2	+++++
Castagno	18	100	5.5	++	30	100	9.8	+++
Quercia	21	100	6.6	++	24	100	9.6	+++
Galla	11	100	3.9	+	20	100	8.2	++

aromi descritti come “cavolo cotto” o “cipolla”. Molti vini bianchi hanno mostrato la tendenza a sviluppare il difetto che viene ricondotto alla presenza di RF (Pichler, 1996; Mattivi *et al.*, 2000). Precedenti studi riportano che una concentrazione di RF inferiore a 100 µg/L può ridurre il rischio di tale alterazione (Pichler, 1996). La RF contenuta nell’uva è generalmente inferiore a poche decine di µg/L, ma aumenta durante la vinificazione per l’attività metabolica di *Saccharomyces cerevisiae* (Santos *et al.*, 1995). Le strategie enologiche che possono consentire la protezione del vino dalla comparsa del difetto di luce includono la protezione del vino imbottigliato dalla luce durante l’affinamento e la commercializzazione, la scelta appropriata del ceppo di lievito dal momento che il rilascio di RF è una caratteristica ceppo-dipendente (Fracassetti *et al.*, 2017) e la rimozione selettiva di RF prima dell’imbottigliamento. A tal fine, i trattamenti del vino bianco con bentonite (100 g/hL) (Pichler *et al.*, 1996) ed, in particolare, con carbone a livelli relativamente bassi (10 g/hL) hanno dimostrato un’efficace capacità di rimuovere la RF ottenendo una diminuzione fino al 70% (Fracassetti *et al.*, 2017). Tuttavia, l’utilizzo del carbone dovrebbe essere limitato a causa dell’impoverimento aromatico che tale coadiuvante può causare. È stato riportato che l’aggiunta di tannini condensati limita la formazione del difetto di luce probabilmente dovuto ad un effetto di schermatura di tali composti fenolici (Maujean e Seguin, 1983b). Al fine di mantenere la qualità del vino bianco durante la shelf-life in questo lavoro è stata valutata l’efficacia di alcuni antiossidanti (glutazione e anidride solforosa) e tannini di legno (castagno, quercia e galla) nel contrastare la comparsa del difetto di luce in soluzione modello.

MATERIALI E METODI

Disegno sperimentale

● Le prove sperimentali sono state eseguite in soluzione simil-vino (5 g/L di acido tartarico, 12% di etanolo (v/v) e portata a pH 3.2 con idrossido di sodio) contenente RF (200 µg/L) e Met (3 mg/L) addizionato di antiossidanti, quali anidride solforosa (SO₂; 50 mg/L) e glutazione (GSH; 20 mg/L in presenza di tannini di galla 40 mg/L), e di preparati commerciali di tannini di legno idrolizzabili (40 mg/L), quali galla, quercia e castagno (Dal Cin, Concorezzo, Monza-Brianza). Le prove sono state eseguite in sia condizioni di saturazione di ossigeno che in anossia (concentrazione dell’ossigeno disciolto inferiore a 0.1 mg/L). Inoltre, al fine di chiarire l’influenza di RF e Met nella formazione del gusto di luce, sono stati eseguiti dei saggi a concentrazioni fissa di RF (200 µg/L) e crescenti di Met (fino a 15 mg/L) e viceversa (Met fissa a 3 mg/L e RF crescente fino a 300 µg/L). I campioni sono esposti a luce fluorescente (6500 K) in condizioni standardizzate. Tutte le prove sono state seguite in triplo in bottiglie chiuse ermeticamente (120 mL) e senza spazio di

testa mantenute a 20±2°C al riparo dalla luce fino al momento dell’illuminazione e dopo l’esposizione. Per ciascuna prova è stato preparato un campione di controllo conservato a 20±2°C ed al riparo dalla luce fino al momento dell’analisi.

Determinazioni analitiche

● Le concentrazioni di RF e Met sono state determinate dopo il trattamento di illuminazione. È stata anche valutata la presenza dei composti solforati associati al gusto di luce. La RF è stata determinata in cromatografia liquida accoppiata al detector UV come riportato da Amidžić *et al.* (2008). La Met è stata misurata per via cromatografica accoppiata al detector a fluorescenza previa derivatizzazione con o-ftaldeide (OPA) come precedentemente descritto da Pereira *et al.* (2008). I composti solforati sono stati analizzati con la tecnica di micro-estrazione in fase solida (SPME) per via gascromatografica e rilevati con spettrometro di massa (Nguyen *et al.*, 2009).

Caratterizzazione dei preparati di tannini di legno

● La composizione fenolica dei preparati di tannini di legno è stata valutata deter-

Tab. 2 - Degradazione di metionina (Met) e riboflavina (RF) in presenza di anidride solforosa (50 mg/L) e di tannini di legno (40 mg/L).

Tannino aggiunto	Decremento% Met	Decremento% RF	Rapporto molare	Intensità olfattiva
Nessuno	30	90	11	++
Castagno	55	100	13	+
Quercia	59	100	13	+
Galla	45	100	11	Non percepito

minando l'indice dei polifenoli totali con il reattivo di Folin-Ciocalteu (Scalbert, *et al.*, 1989). Il grado di ossidazione dei fenoli è stato valutato quantificando l'aumento di assorbanza a 280 nm dopo aggiunta di anidride solforosa, responsabile della riduzione dei chinoni a idrochinoni (Di Stefano e Cravero, 1991). È stata inoltre valutata la capacità antiossidante mediante il saggio con il DPPH (Llorach *et al.* 2004).

Valutazione sensoriale

● I campioni sono stati valutati olfattivamente all'apertura delle bottiglie al fine di valutare la comparsa del difetto di luce e confrontare gli antiossidanti saggiati. Il panel era composto da 5 giudici esperti che hanno indicato l'intensità del descrittore "cavolo cotto".

RISULTATI E DISCUSSIONE

● Le condizioni di illuminazione adottate nello studio e la tipologia di lampade im-

di galla. I meccanismi di fotodegradazione a carico di RF comportano il passaggio di RF dallo stato basale a tripletto cui segue la riduzione. Quando la RF è allo stato di tripletto, ad alta energia, è altamente reattiva e sono necessari due elettroni affinché passi allo stato ridotto, a più bassa energia. Nella prima fase della reazione, nota come meccanismo di tipo I, l'ossigeno eventualmente presente passa allo stato di singoletto riportando la RF allo stato basale. Nella seconda fase della reazione, nota come fotossidazione di tipo II, la Met svolge la funzione di accettore di elettroni e si ossida con conseguente riduzione della RF. Inoltre, in presenza di ossigeno, la RF ridotta può passare direttamente allo stato basale con liberazione di radicale idroperossido (Grant-Preece *et al.*, 2017).

● La presenza di ossigeno può limitare l'ossidazione della Met poiché avvengono entrambi i meccanismi di fotossidazione e, di conseguenza, il decremento del livello di tale amminoacido risulta inferiore. Alcuni studi mostrano che la

tavia, la percezione olfattiva del difetto di luce è nettamente inferiore nei campioni addizionati di tannini, in particolare con il tannino di galla, in confronto ai campioni che ne erano privi (controllo). Inoltre, è interessante osservare come il rapporto stechiometrico RF degradata Met degradata sia almeno 4-20 volte superiore a 1:1, come affermato da Maujean e Seguin (1983a), indicando una più spinta ossidazione di Met rispetto a quanto atteso.

● L'aggiunta di SO₂ ha favorito la degradazione di Met, mentre, al contrario, ha limitato la fotodegradazione di RF (Tab. 2). Tale effetto protettivo, potrebbe essere dovuto alla formazione di un complesso RF-SO₂. Una più marcata degradazione di Met presupporrebbe una maggiore concentrazione di metionale e, di conseguenza, una maggiore percezione del difetto anche a causa dell'elevata instabilità alla luce di tale composto. Invece, la percezione olfattiva del difetto è inferiore in presenza di SO₂ rispetto al campione controllo e diminuisce ulteriormente con i tannini di legno, di galla in particolare.

● Data la maggior efficacia a contrastare il difetto di luce svolta dal tannino di galla rispetto ai tannini ellagici, sono stati valutati la degradazione di RF e Met e la percezione olfattiva del difetto a seguito dell'aggiunta di tannino di galla e concentrazioni crescenti di SO₂ (10, 25, 50 e 100 mg/L). La diminuzione di Met non segue un trend definito (Tab. 3) seppur l'intensità olfattiva del difetto sia risultata meno marcata all'aumentare della concentrazione di SO₂. Il difetto non è stato percepito per le quantità di SO₂ più elevate suggerendo che la presenza di 50 mg/L di SO₂ sia il valore minimo che assicuri la protezione dal difetto nelle condizioni sperimentali impiegate.

● La maggior degradazione di Met in presenza di SO₂ potrebbe essere dovuta alla limitazione dei meccanismi di fotossidazione che coinvolgono l'ossigeno (tipo II e ossidazione RF ridotta/RF stato basale) (Grant-Preece *et al.*, 2017) dovuta alla nota capacità di consumo dell'ossigeno di tale antiossidante. Contemporaneamente, la SO₂ potrebbe formare un complesso con il metionale impedendo così la formazione di metantiolo (MeSH) e dimetil disolfuro (DMDS) e, di conseguenza la percezione del difetto. Tale capacità sequestrante nei confronti del metionale potrebbe essere ipotizzata anche per i tannini di legno.

Tab. 3 - Degradazione di metionina (Met) e riboflavina (RF) in presenza di tannino di galla (40 mg/L) e quantità crescenti di anidride solforosa.

Concentrazione di SO ₂ (mg/L)	Decremento% Met	Decremento% RF	Rapporto molare	Intensità olfattiva
10	47	100	15	++
25	34	100	17	+
50	41	100	23	Non percepito
100	36	100	29	Non percepito

piegate sono state scelte per garantire la rapida degradazione della RF e causare la massima formazione del gusto di luce. La RF è un composto fotosensibile ed è completamente degradata indipendentemente dalla presenza di Met e, come atteso, il difetto di luce non è stato percepito quando la Met è assente. Al contrario, la fotodegradazione di tale amminoacido è prodotta solo se la RF è presente.

● La RF è completamente degradata sia in condizioni di saturazione di ossigeno che anossiche, anche in presenza di tannini di legno (Tab. 1). La degradazione della Met è invece favorita in anossia, ma viene limitata in presenza di tannino

protezione nella comparsa del difetto di luce esercitata dai tannini è stata attribuita alle loro capacità di assorbimento della radiazione luminosa (Maujean e Seguin, 1983b). Tuttavia, tale proprietà potrebbe essere esclusa nelle condizioni sperimentali adottate dal momento che sono stati osservati valori di assorbanza a 420 nm trascurabili (inferiori a 0.02 UA). Come la Met, anche il tannino di galla potrebbe svolgere la funzione di accettore di elettroni, in competizione con la Met stessa, nel meccanismo di tipo II. L'aggiunta dei tannini di quercia e castagno non ha mostrato la capacità di limitare la degradazione di Met. Tut-

● L'effetto protettivo del tannino di galla è stato valutato anche in combinazione con un altro antiossidante naturalmente presente nel vino, il glutatone. Tuttavia, tale composto (20 mg/L) non ha mostrato alcun effetto ulteriore in confronto all'aggiunta del solo tannino di galla (dati non mostrati).

● Per meglio comprendere le differenze osservate nella percezione olfattiva del difetto, sono stati valutati l'indice di polifenoli totali, il grado di ossidazione e la capacità antiossidante dei tannini di legno impiegati (Tab. 4).

● Dai risultati ottenuti è emerso il diverso grado di ossidazione dei preparati utilizzati che è particolarmente elevato per il tannino di galla. È stato ipotizzato che i chinoni possano essere ridotti al rispettivo fenolo per reazione con il gruppo tiolico del MeSH, similmente alla reazione di riduzione degli *o*-chinoni degli acidi idrossicinnamil tartarici con il glutatone (Salgues *et al.*, 1986). Per supportare tale ipotesi, è stato valutato l'effetto per *p*-benzochinone (pBQ) in combinazione con SO₂. La diminuzione di Met nella soluzione contenente pBQ e SO₂ è nettamente superiore (2.4 volte) rispetto alla soluzione con il solo chinone. Dal punto di vista olfattivo, il difetto è più accentuato in presenza di SO₂, mentre non è stato percepito quando è assente. La SO₂ riporta i chinoni allo stato ridotto che perderebbero così la

capacità di formare legami con il gruppo tiolico del MeSH che, di conseguenza, permane in soluzione conferendo la tipica nota di cavolo cotto ad esso associata e condensare a DMDS. È possibile che l'effetto protettivo esercitato dai tannini sia dovuto alla presenza di chinoni.

● È ben noto che RF svolge un ruolo chiave nella comparsa del difetto di luce (Maujean *et al.*, 1983) e che concentrazioni più elevate sia associabili ad un aumento del rischio della comparsa di tale difetto (Mattivi *et al.*, 2000). Tuttavia, non è ancora stato chiarito quale sia il ruolo di Met la cui concentrazione nel vino è variabile e può dipendere anche dal ceppo di lievito utilizzato (Fracassetti *et al.*, 2017). A tal fine, è stato valutato l'effetto nell'insorgenza del gusto di luce in presenza di concentrazioni crescenti di RF (50-300 µg/L) e di Met (1.5-15 mg/L) mantenendo costanti le quantità rispettivamente di Met (3 mg/L) e RF (200 µg/L). Come atteso, per crescenti livelli di RF, la percezione olfattiva del difetto di luce è proporzionalmente aumentata, ma alla concentrazione minima saggiata (50 µg/L), la degradazione della Met è trascurabile e il difetto non viene percepito. Tale livello può essere quindi considerato di sicurezza nella prevenzione del difetto e ottenuto tramite l'utilizzo di lieviti basso produttori di RF oppure mediante rimozione di tale composto (Fracassetti *et al.*, 2017). Anche per concentrazioni crescen-

ti di Met aumenta proporzionalmente l'intensità olfattiva del difetto. Non solo, con l'aumentare della sua quantità aumenta anche la concentrazione di Met degradata e quindi l'alterazione aromatica.

● L'analisi gas-cromatografica supporta i risultati ottenuti per mezzo della percezione olfattiva. I composti rilevati sono metantiolo (MeSH), dimetil disolfuro (DMDS) ed anche dimetil trisolfuro (DMTS). Quest'ultimo potrebbe formarsi in seguito all'ossidazione del metionale (Isogai *et al.*, 2009) ed è associato ai descrittori di terroso e di patata (Gijs *et al.*, 2002). La condizione di anossia causa livelli di MeSH doppi rispetto alla presenza di ossigeno, e la presenza di tannini, soprattutto gallici, limita ulteriormente (2-3 volte) la formazione di questo composto. Risultati confrontabili sono stati invece ottenuti in condizioni di saturazione all'ossigeno eccetto per il tannino di galla che è risultato l'unico preparato capace di limitare la presenza di MeSH.

● Le differenze sono ancora più evidenti per il DMDS, suggerendo la capacità dei tannini ellagici e soprattutto gallici a ridurre il rischio della comparsa del difetto di luce. Similmente a quanto osservato per MeSH, la formazione del DMDS è favorita dalle condizioni anossiche. In condizioni di ossigenazione, il DMDS non è stato rilevato in presenza di tannino di galla così come il DMTS. Quest'ultimo composto è assente anche nei campioni addizionati dei tannini ellagici, mentre è stato rilevato in condizioni di ossigenazione. L'efficacia dei tannini testati nel prevenire la comparsa del difetto segue l'ordine decrescente galla>>quercia>castagno per entrambe le condizioni di ossigenazione considerate. Sarà necessario chiarire quale sia il ruolo sensoriale del DMTS.

● È sorprendente osservare il ruolo della Met nella formazione dei composti solforati associati a tale difetto (Fig. 1). Per i tre composti rilevati, concentrazioni crescenti di Met portano ad un notevole incremento in particolare per livelli di concentrazione compresi tra 3.7 mg/L e 7.5 mg/L. Tale valore è superiore al valore medio riportato nel vino (Riberau-Gayon *et al.*, 2006), ma è in linea con le concentrazioni rilevate da Fracassetti e coautori (2017). I nostri risultati suggeriscono che non solo RF, ma anche Met svolge un ruolo importante nella comparsa del difetto di luce.

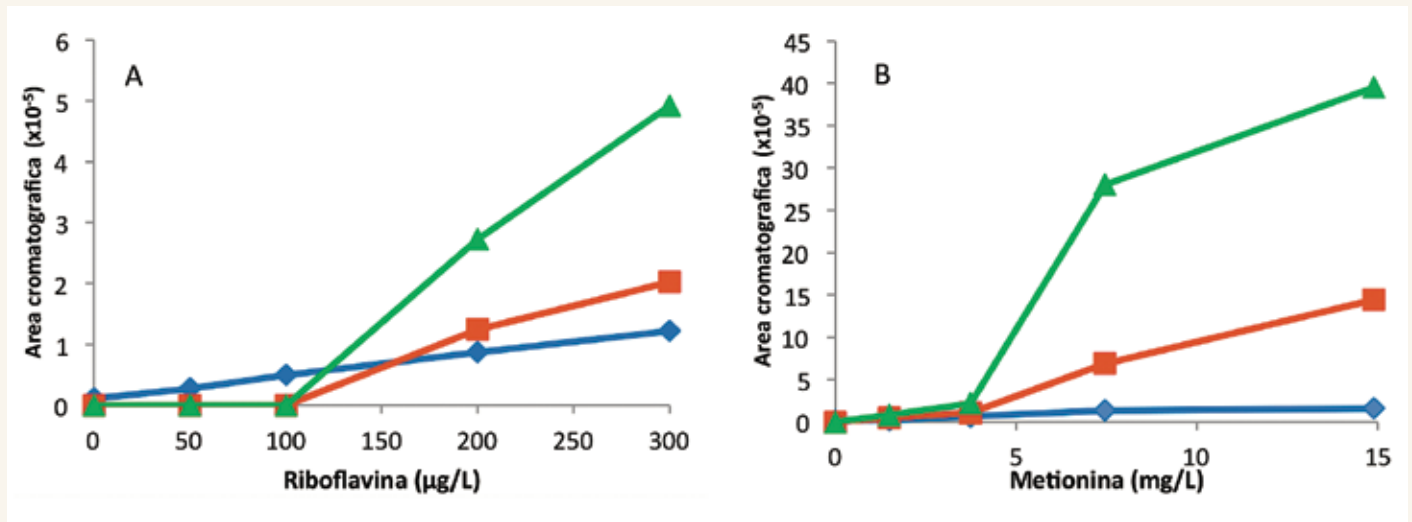
Tab. 4 - Caratterizzazione dei preparati commerciali di tannini di legno indagati nello studio.

Tannino	TPI mg acido gallico/g	% dei fenoli ossidati	Capacità antiossidante mM Trolox/g
Castagno	421.1±43.6	69	4.89±0.53
Quercia	347.9±53.4	59	4.46±0.21
Galla	758.8±57.4	89	10.11±1.47

Tab. 5 - Degradazione di metionina (Met) e riboflavina (RF) in presenza di *p*-benzochinone (40 mg/L) e di anidride solforosa.

Concentrazione di SO ₂ (mg/L)	Decremento% Met	Decremento% RF	Rapporto molare	Intensità olfattiva
0	8.7	100	5.1	Non percepito
50	21	87	12.4	+

Fig. 1 - Formazione di metantiolo (blu), dimetil disolfuro (rosso) e dimetil trisolfuro (verde) per concentrazioni crescenti di (A) riboflavina (50-300 µg/L) e (B) metionina (1.5-15 mg/L).



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

● Dallo studio è emerso che il rapporto stechiometrico RF:Met è ben superiore 1:1 e può raggiungere 1:20 e che la concentrazione di tale amminoacido svolge un ruolo importante nella comparsa del difetto di luce. Le condizioni anossiche favoriscono l'intensità del difetto e l'anidride solforosa svolge un'azione di protezione. L'aggiunta al vino di tannini di legno, in particolare di natura gallica, può rappresentare un valido strumento per limitare la comparsa del difetto e potrebbe consentire di ridurre l'utilizzo di anidride solforosa e mantenere la qualità del vino durante la shelf-life. Studi futuri saranno necessari al fine di valutare gli effetti chimici e sensoriali in vino bianco dove sono presenti altri potenziali accettori di elettroni (amminoacidi, fenoli).

BIBLIOGRAFIA

● Amidžić D., Klarić I., Jasprica I., Vadrina-Dragojević I. (2008). Determination of water soluble vitamins in blackberry wines using high-performance liquid chromatography. Šegudović, N., ed. Book of abstract of the fourteenth International symposium on separation sciences: new achievements in chromatography; 30 September-03 October 2008; Primošten, Hrvatska, Croatia pp. 144.

● Bekbölet M. (1990). Light effects on food. *J. Food Protec.*, 53, 430-440.

● Clark A.C., Dias D.A., Smith T.A., Ghiggino K.P., Scollary G.R. (2011). Iron(III) tartrate as a potential precursor of light induced oxidative degradation of white wine: Studies in a model wine system. *J. Agric. Food Chem.*, 59, 3575-3581.

Food Chem., 59, 3575-3581.

● Di Stefano, R., Cravero, M. C. (1991). Metodo per lo studio dei polifenoli dell'uva. *Riv. Vitic. Enol.*, 2, 37-45.

● Fracassetti D. Gabrielli M., Encinas J., Manara M., Pellegrino L., Tirelli A. (2017). Approaches to prevent the light-struck taste in white wine. *Austr. J. Grape Wine Res.* DOI 10.1111/ajgw.12295.

● Pereira V., Pontes M., Câmara J.S., Marques, J.C. (2008). Simultaneous analysis of free amino acids and biogenic amines in honey and wine samples using in loop orthophthalaldehyde derivatization procedure. *J. Chromatogr. A*, 1189, 435-443.

● Gijs L., Chevanec F., Jerkovic V., Collin S. (2002). How low pH can intensify ̢-damascenone and dimethyl trisulfide production through beer aging. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 5612-5616.

● Grant-Preece P., Barril C., Schmidtke L. M., Scollary G.R., Clark, A.C. (2017). Light-induced changes in bottled white wine and underlying photochemical mechanisms. *Critic. Rev. Food Sci. Nutr.*, 57, 743-754

● Haye B., Maujean A., Jacquemin C., Feuillat M. (1977) Contribution a l'étude des "goûts de lumière" dans le vin de Champagne. I. Aspects analytiques. *Dosage des mercaptans et des thiols dans les vins. Conn. Vigne Vin*, 11, 243-254.

● Isogai A., Kanda R., Hiraga Y., Nishimura T., Iwata H., Goto-Yamamoto N. (2009). Screening and identification of precursor compounds of dimethyl trisulfide (DMTS) in Japanese sake. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 189-195.

● Llorach R., Tomas-Barberan F.A., Ferreres F. (2004). Lettuce and chicory byproducts as a source of antioxidant phenolic extracts. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 5109-5116.

● Mattivi F., Monetti A., Vrhovšek U., Tonon D., Andrés-Lacueva C. (2000). High-performance liquid chromatographic determination of the riboflavin concentration in white wines for predicting their resistance to light. *J. Chromatogr. A*, 888, 121-127.

● Maujean A., Haye M., Feuillat M. (1978). Contribution a l'étude des "goûts de lumière" dans le vin de Champagne. II. Influence de la lumière sur le potentiel d'oxydoreduction. Correlation avec la teneur en thiols du vin. *Conn. Vigne Vin*, 12, 277-290.

● Maujean A., Seguin N. (1983a). Contribution a l'étude des goûts de lumière dans les vins de Cham-

pagne. 3. Les réactions photochimiques responsables des goûts de lumière dans le vin de Champagne. *Sci. des Alim.*, 3, 589-601.

● Maujean, A., Seguin, N. (1983b). Contribution a l'étude des goûts de lumière dans les vins de Champagne. 4. Approches a une solution œnologique des moyens de prévention des goûts de lumière. *Science des Aliments*, 3: 603- 613.

● Nguyen D.D., Nicolau L., Kilmartin P.A. (2012). Application of an automated headspace solid phase micro-extraction for the GC-MS detection and quantification of reductive sulfur compounds in wines. In Edited by Salih B, Çelikbiçak O, editors. *Gas Chromatography in Plant Science, Wine Technology, Toxicology and Some Specific Applications*. Rijeka:InTech; 2012. pp. 171-194.

● Pichler U. (1996). Analisi della riboflavina nei vini bianchi e influenza della sua concentrazione. *Eno-tecnico*, 32, 57-62.

Riberau-Gayon P., Glories Y., Maujean A., Dubourdieu D. (2006). *Handbook of enology, The chemistry of wine stabilization and treatments*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

● Salgues M., Cheynier V., Gunata Z., Wylde R. (1986). Oxidation of grape juice 2-s-glutathionyl caffeoyl tartaric acid by *Botrytis cinerea* laccase and characterization of a new substance: 2,5-di-s-glutathionyl caffeoyl tartaric acid. *J. Food Sci.*, 51, 1191-1194.

● Santos M.A., García-Ramírez J.J., Revuelta J.L. (1995). Riboflavin biosynthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Biol. Chem.*, 270, 437-444.

● Scalbert A., Monties B., Janin G. (1989). Tannins in wood: comparison of different estimation methods. *J. Agric. Food Chem.*, 37, 1324-1329.

Ringraziamenti

Lo studio è stato finanziato da Linea 2-2017 Fondo Giovani Ricercatori (Università degli Studi di Milano).