

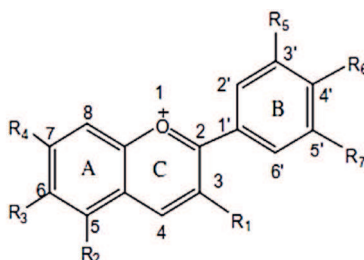
EFFETTI DELL'AMBIENTE E DELLE PRATICHE VITICOLE SULLA COMPOSIZIONE FENOLICA DELL'UVA: L'IMPATTO SULLE PROPRIETA' SENSORIALI

Stefanos KOUNDOURAS

Laboratory of Viticulture, School of Agriculture, Faculty of Agriculture, Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, University Campus 541 24 Thessaloniki, Grecia
E-mail: skoundou@agro.auth.gr

Composti fenolici nell'uva: localizzazione e biosintesi

I metaboliti secondari derivati dall'uva sono la fonte principale del colore, dell'aroma e del sapore del vino. Tra di essi, i composti fenolici sono classificati come non-flavonoidi (acidi benzoico e cinnamico e stibeni) e flavonoidi (antocianine, flavonoli e tannini).



Antocianidine	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
cianidina	OH	OH	H	OH	OH	OH	H
delfinidina	OH	OH	H	OH	OH	OH	OH
petunidina	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OH
peonidina	OH	OH	H	OH	OMe	OH	H
malvidina	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OMe

Figura 1: Struttura generale delle antocianidine dell'uva

Le antocianidine sono composti pigmentati localizzati nelle bucce dell'uva nelle cultivar rosse mentre i tannini sono contenuti sia nelle bucce che nei semi. Le antocianine sono i glicosidi delle antocianidine. Nelle varietà rosse di *Vitis vinifera*, i derivati 3-O-glucosidi più comuni sono la delfinidin-3-O-glucoside, la cianidin-3-O-glucoside, la petunidin-3-O-glucoside, la peonidin-3-O-glucoside e la malvidin-3-O-glucoside, quest'ultima è la più abbondante (Figura 1) (Kallithraka et al. 2005). L'uva di *Vitis labrusca* e *Vitis rotundifolia* contiene sia i mono sia i diglucosidi delle antocianidine. Sebbene il profilo delle antocianine dipenda in maggior parte dalla genetica, certe quantità di antocianine dipendeva anche dal grado di maturazione dell'uva (Roggero et al. 1986) e dalle condizioni di crescita (Kotseridis et al. 2012)

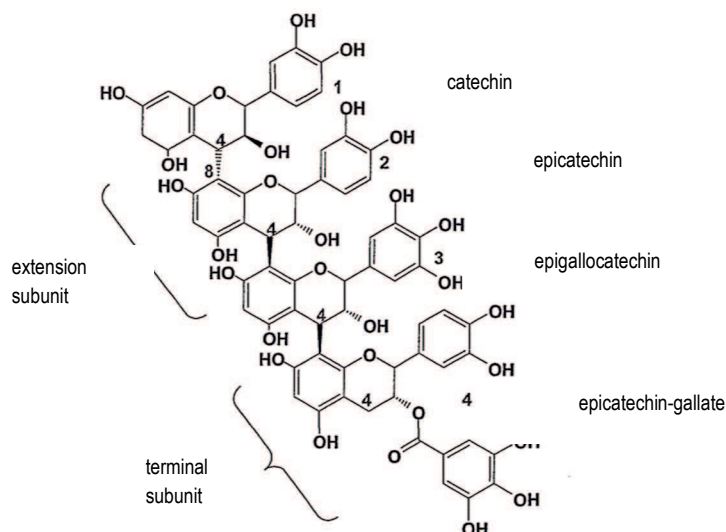


Figura 2: Struttura generale di un polimero proantocianidinico.

Le proantocianidine sono polimeri composti di subunità terminali e di estensione di flavan-3-oli, principalmente (+)-catechina (C), (-)-epicatechina (EC), (-)-epicatechin-3-gallato (ECG) e (-)-epigallocatechina (EGC) (Figura 2). I tannini derivati dalle bucce e dai semi sono variabili nelle quantità relative, nella lunghezza, nella composizione della subunità e nelle proprietà sensoriali. Il contenuto dei tannini delle bucce è inferiore al contenuto nei semi (Prieur et al. 1994). I tannini nei semi sono più corti, con un minore grado di polimerizzazione (mDP) mentre i tannini nelle bucce sono a catena più lunga con un grado più alto di polimerizzazione (Chira et al. 2009). Le proantocianidine dei semi sono costituite da C, EC e ECG (Hanlin and Downey 2009) mentre le proantocianidine delle bucce contengono anche EGC come subunità di estensione (Li et al. 2014) e l'ECG contenuto è proporzionalmente minore (Gil et al. 2012). EC rappresenta la subunità più rappresentativa nelle bucce (Monagas et al., 2003), mentre i semi sembrano contenere simili quantitativi di subunità C e EC (Downey et al. 2003).

I composti flavonoidi sono sintetizzati attraverso la via biosintetica del fenil-propanoidi che è modulata sia da fattori biotici che da abiotici (Cassasa et al. 2015). La biosintesi dei tannini avviene dopo l'antesi, con un picco all'invasatura (Ollé et al. 2011). Downey et al. (2003) hanno osservato il picco di concentrazione dei flavan-3-oli nelle bucce di Shiraz prima dell'invasatura seguito da una continua diminuzione fino alla completa maturazione mentre altri studi indicavano un lieve cambiamento dei tannini delle bucce tra l'invasatura e la raccolta (Harbertson et al. 2002). Per quanto riguarda i tannini dei semi, la maggior parte degli studi indicano una diminuzione generale nel corso della maturazione associato all'imbrunimento della parte esterna del seme (Kennedy et al. 2000). Il grado di polimerizzazione dei tannini delle bucce aumentava con la maturazione principalmente nella frazione polimerica (Kyraleou et al. 2015b). Al contrario, la mDP delle proantocianidine dei semi rimaneva costante (Pastor del Rio and Kennedy 2006) o tendeva a diminuire nel corso della maturazione (Bordiga et al. 2011). L'accumulo delle antocianine comincia all'invasatura e presenta un picco massimo alla raccolta (Castellarin et al. 2007) ma alcuni autori hanno osservato un declino subito prima della raccolta o nel caso di sovramaturazione (Bucchetti et al. 2011). Kyraleou et al. (2016b) hanno osservato che l'accumulo massimo delle antocianine negli acini di Syrah, cresciuti in climi semiaridi, avveniva 18-24 giorni dopo l'invasatura.

Proprietà sensoriali dei composti fenolici

Il tipo e le quantità delle antocianine nelle bucce dell'uva determinano il colore e la qualità dei vini in quanto in seguito a co-pigmentazione con altri composti vengono prodotti pigmenti più stabili (Bolton 2001) ma sono privi di gusto e aroma (Vidal et al. 2004). D'altra parte, le proantocianidine sono responsabili del sentore amaro e di astringenza dei vini rossi. L'intensità dell'astringenza è correlata positivamente con la concentrazione delle proantocianidine ma è determinata per lo più dalla grandezza del polimero, in quanto a una maggiore lunghezza corrisponde una maggiore astringenza (Vidal et al. 2003). Comunque, l'astringenza delle proantocianidine può diminuire anche con elevata mDP poiché le molecole grandi diventano sia meno solubili sia troppo pesanti per legare le proteine (Sun et al. 2013). Inoltre, l'estrazione dei tannini diventa più difficile con l'aumento del grado di polimerizzazione; tannini più grandi sono rilasciati dalle bucce con più difficoltà nel corso della macerazione (Quijada-Morin et al. 2015). L'astringenza aumenta anche con il grado di galloilazione (presenza di subunità ECG) mentre decresce in presenza di prodelfinidine (proantociani con subunità costituite da EGC) (Vidal et al. 2003). L'amaro è associato maggiormente a composti con minore peso molecolare come i monomeri e oligomeri dei flavan-3-oli (Peleg et al. 1999). È stato osservato in alcuni studi che i tannini dei semi e delle bucce sono ugualmente astringenti se presenti nel vino o in un substrato buffer alla stessa concentrazione (Brossaud et al. 2001) mentre altri lavori rilevavano una maggiore astringenza negli estratti di semi rispetto agli estratti delle bucce (Kyrleou et al., 2016a). Comunque, i tannini delle bucce solitamente danno un contributo maggiore alla composizione polimerica nel vino (Monagas et al. 2003) a causa dell'estraibilità crescente dalle pareti cellulari delle bucce con il progredire della maturazione (Nunan et al. 1998) rispetto all'involucro lignificato del seme (Cadot et al. 2006). Infine, la percezione di amaro e di astringenza dei tannini è influenzata dalla formazione di complessi con i polisaccaridi solubili e con le proteine presenti nel mosto (Gil et al. 2012).

Fattori viticoli che influiscono sulla composizione fenolica dell'uva

Il contenuto di fenoli nell'uva e nel vino è correlato a molti fattori agronomici come il suolo e il clima (Koundouras et al. 2006), il portainnesto (Koundouras et al. 2009), l'irrigazione (Kyrleou et al. 2016b), il sistema di allevamento (Kyrleou et al. 2015a) e la potatura verde (Kotseridis et al. 2012).

È stato riconosciuto che i fattori ambientali (topografici, agropedologici e climatici) influenzano la composizione fenolica dell'uva e del vino, soprattutto perché influiscono sul vigore delle viti tramite la profondità dell'apparato radicale, la fertilizzazione e la disponibilità di acqua (Koundouras et al. 1999). Quindi, la composizione fenolica dell'uva normalmente mostra un pattern strutturato e stabile nello spazio all'interno del vigneto, correlato in principal modo alle proprietà fisiche del suolo. Bramley (2003) dimostrò come la variazione della profondità del suolo dovuta a variazioni topografiche influiva sulla crescita della vite in un vigneto nel Coonawarra. In un lavoro svolto su un pendio ripido (figura 3, dati non pubblicati), gli acini con il maggior contenuto fenolico si trovavano nella parte più alta del vigneto dove il suolo era meno profondo e le riserve idriche minori e le viti erano meno vigorose (vigoria stimata tramite il peso di potatura invernale).

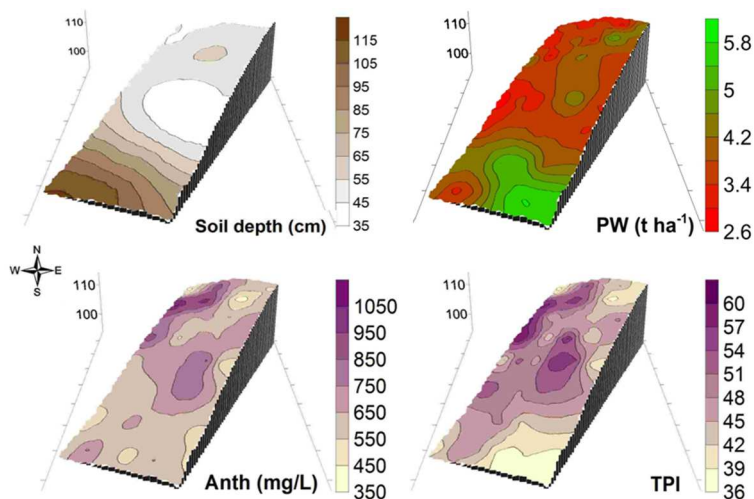


Figura 3: Variabilità spaziale della composizione fenolica delle uve 'Agiorgitiko' influenzata dalla topografia (2010, Grecia Centrale) PW, peso del legno di potatura; Anth, Antociani totali nel succo; TPI, Indice dei polifenoli totali dell'uva (OD280).

Comunque, è risaputo che la manipolazione diretta della disponibilità idrica tramite irrigazione rappresenta la pratica agronomica più importante nel determinare la composizione fenolica dell'uva e del vino. In particolare, molti studi indicano un effetto positivo di una leggera carenza idrica determinata da un'irrigazione carente sull'accumulo degli antociani nelle uve in molte cultivar. Gli effetti positivi della carenza idrica sul contenuto di antociani delle uve possono essere attribuiti all'assenza di crescita vegetativa, associata a un miglioramento del microclima a livello della copertura vegetale e a un miglioramento della distribuzione dei carboidrati agli acini in maturazione (Romero et al. 2010) o all'aumento del rapporto buccia/polpa (Koundouras et al. 2009). Comunque, secondo Roby et al. (2004), gli incrementi dei fenoli delle bucce in condizioni di scarsa irrigazione possono verificarsi indipendentemente da qualsiasi effetto correlato al cambiamento della dimensione degli acini. Studi recenti hanno mostrato che l'espressione dei geni della via dei flavonoidi è innescata anticipatamente nelle viti sottoposte a deficit idrico stimolando la biosintesi degli antociani (Castellarin et al. 2007). Occorre prendere in considerazione l'andamento dell'accumulo degli antociani quando si studiano gli effetti dell'irrigazione, in quanto il contenuto degli antociani diminuisce prima della vendemmia, in particolare nei climi caldi. In uno studio recente condotto in Grecia (Kyraleou et al. 2016b), il contenuto degli antociani delle bucce di Syrah era più elevato nelle viti che avevano subito stress idrico 2-3 settimane dopo l'invasatura, ma non sono state notate differenze al momento della vendemmia nelle viti irrigate.

Gli studi degli effetti della disponibilità idrica sui tannini sono più scarsi. Per quanto riguarda i tannini delle bucce, la maggior parte degli studi mostrano un aumento delle proantocianidine delle bucce con deficit idrico (Roby et al. 2004, Casassa et al. 2015). Risultati meno uniformi riguardano i polifenoli dei semi: alcuni studi indicano un aumento della concentrazione dei flavanoli dei semi in caso di carenza idrica (Chacón et al. 2009, Casassa et al. 2015) mentre altri autori hanno trovato una maggiore concentrazione dei polifenoli nei semi di viti irrigate (Kennedy et al. 2000, Koundouras et al. 2009). Durante una prova di irrigazione in un vigneto in Grecia in condizioni semiaride (Kyraleou et al. 2016a), è stato visto che l'irrigazione aumentava il contenuto di tannini totali e dei dimeri e monomeri dei flavan-3-oli nei semi di Syrah, che può spiegare l'astringenza maggiore dell'estratto dei semi delle viti irrigate percepita tramite analisi sensoriale (Figura 4). Per quanto riguarda gli effetti delle condizioni idriche sulle proprietà strutturali delle proantocianidine delle bucce e dei semi, come la polimerizzazione, la galloilazione, e la composizione delle subunità, le ricerche sono limitate. In uno studio recente (Kyraleou et al. 2015b) il deficit idrico aumentava la polimerizzazione dei tannini delle bucce nel corso della maturazione determinando un aumento della

concentrazione dei tannini polimerizzati in vendemmia rispetto all'uva delle viti irrigate; nello stesso studio, è stata osservata una diminuzione dei tannini dei semi, con una diminuzione della polimerizzazione nel caso di deficit idrico (dati non riportati).

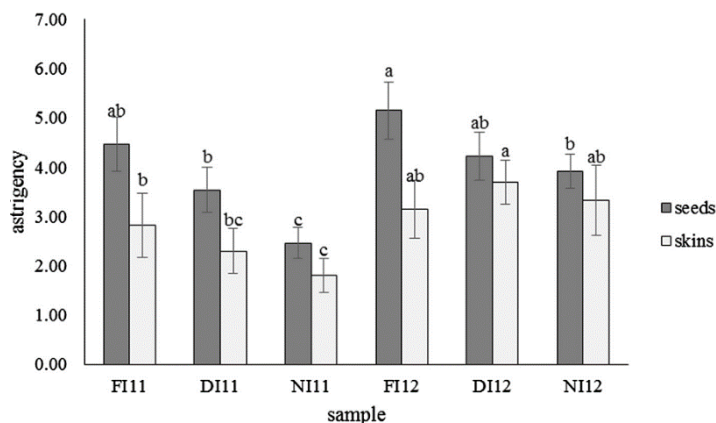


Figura 4: Intensità media dell'astringenza degli estratti dei semi e delle bucce di viti di Syrah irrigate (FI), con scarsa irrigazione (DI) e non irrigate (NI) nel 2011 (FI11, DI11, NI11) e nel 2012 (FI12, DI12, NI12). Lettere differenti nell'ambito dei campionamenti di un anno indicano differenze statistiche significative ($p < 0.05$). I campioni delle bucce erano trattati separatamente da quelli dei semi (from Kyraleou et al., 2016a).

Tra le diverse pratiche agronomiche che possono influire sulla composizione fenolica dell'uva, l'esposizione dei grappoli tramite rimozione selettiva delle foglie rappresenta un modo per manipolare il contenuto dei flavonoidi dell'uva e del vino. L'esposizione alla luce dei grappoli promuove un maggiore accumulo di antociani nelle bucce (Jeong et al. 2004). Secondo Matus et al. (2009), la flavonoid-3-O-glucosiltransferasi (UFGT) era stimolata in condizioni di maggiore esposizione alla radiazione solare nelle uve di Cabernet sauvignon. Comunque, gli effetti della defoliazione sulla composizione dell'uva non sono sempre costanti e dipendono dal momento (Tardaguila et al. 2010) e dall'intensità della defoliazione (Kotseridis et al. 2012). Di particolare importanza nelle prove di defoliazione è l'interazione tra l'intensità della luce e la temperatura poiché l'aumento concomitante della temperatura negli acini esposti, in particolare nei luoghi a clima caldo, può determinare una minore pigmentazione nelle uve rosse (Spayd et al. 2002). Mori et al. (2007) osservarono una riduzione significativa del contenuto degli antociani delle uve di Cabernet sauvignon a 35°C rispetto a 25°C.

Contrariamente agli antociani delle bucce, pochi sono i dati esistenti sull'effetto dell'esposizione dei grappoli alla luce sulle proantocianidine delle bucce e dei semi. L'esposizione alla luce aumentava l'accumulo delle proantocianidine nelle uve Syrah (Downey et al. 2004) e Pinot noir (Cortell et al. 2006) e diminuiva i tannini nei semi (Cortell et al. 2006). Inoltre, è stato notato che l'ombreggiamento dei grappoli riduceva la trascrizione dei geni della biosintesi delle proantocianidine nelle bucce nel corso dello sviluppo degli acini mentre non aveva effetto a livello dei semi (Fujita et al. 2007). È stato notato che il vigore delle viti influisce significativamente sui monomeri dei flavan-3-oli nei semi (Koundouras et al. 2009) con un maggiore contenuto nelle viti più vigorose probabilmente perché la vegetazione più fitta determina un maggiore ombreggiamento nella zona della frutta. In una prova di defoliazione in post-fioritura condotta in Grecia (Kotseridis et al. 2012), l'eliminazione delle foglie aumentava gli antociani delle bucce nelle uve di Merlot e Cabernet Sauvignon ma riduceva i flavan-3-oli nei semi soprattutto come conseguenza della diminuzione del contenuto di catechina e epicatechina. Questi effetti erano indipendenti da qualsiasi variazione del peso degli acini.

Conclusioni

Mentre numerose sono le ricerche sull'impatto dell'ambiente e delle pratiche viticole sugli antociani delle uve, sono necessari studi ulteriori per chiarire la dipendenza dei flavonoidi polimerici, così come le loro proprietà strutturali, da fattori viticoli e legati al sito. L'irrigazione e l'intervento sul microclima rappresentano gli strumenti principali per influenzare il potenziale fenolico dell'uva ma i risultati spesso sono contraddittori dipendendo da numerose condizioni sperimentali e legati alle varietà. Inoltre, l'influenza di altri fattori quali il portainnesto, l'orientamento delle file o il sistema di allevamento sono poco studiati. La creazione di un database comprensivo per ogni composto fenolico e pratica colturale riguardante un ampio spettro di cultivar aiuterebbe molto i viticoltori nella gestione del vigneto per andare incontro alle esigenze dei vinificatori.

Bibliografia

- Bordiga, M., F. Travaglia, M. Locatelli, J.D. Coisson, and M. Arlorio. 2011. Characterization of polymeric skin and seed proanthocyanidins during ripening in six *Vitis vinifera* L. cv. *Food Chem.* 127:180-187.
- Boulton, R. 2001. The copigmentation of anthocyanins and its role in the colour a red wine: a critical review. *Am. J. Enol. Vitic.* 52:67-87.
- Bramley, R. 2003. Smarter thinking on soil survey. *Austral. New Zealand Wine Industry J.* 18:88-94
- Brossaud, F., V. Cheynier, and A.C. Noble. 2001. Bitterness and astringency of grape and wine polyphenols. *Aust. J. Grape Wine Res.* 7:33-39.
- Bucchetti, B., M.A. Matthews, L. Falginella, E. Peterlunger, and S.D. Castellarin. 2011. Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. *Sci. Hortic.* 128:297-305.
- Cadot, Y., M.T. Minana-Castello, and M. Chevalier. 2006. Anatomical, histological, and histochemical changes in grape seeds from *Vitis vinifera* L. cv Cabernet franc during fruit development. *J. Agric. Food Chem.* 29:9206-9215
- Casassa, L.F., M. Keller, and J.F. Harbertson. 2015. Regulated deficit irrigation alters anthocyanins, tannins and sensory properties of Cabernet Sauvignon grapes and wines. *Molecules* 20:7820-7844.
- Castellarin, S.D., M.A. Matthews, G. Di Gaspero, and G.A. Gambetta. 2007. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* 227:101-112.
- Chacón, J.L., E. Garcia, J. Martinez, R. Romero, and S. Gomez. 2009. Impact of the vine water status on the berry and seed phenolic composition of 'Merlot' (*Vitis vinifera* L.) cultivated in a warm climate: Consequence for the style of wine. *Vitis* 48:7-9.
- Chira, K., G. Schmauch, C. Saucier, S. Fabre, and P.L. Teissedre. 2009. Grape variety effect on proanthocyanidin composition and sensory perception of skin and seed tannin extracts from Bordeaux wine grapes (Cabernet Sauvignon and Merlot) for two consecutive vintages (2006 and 2007). *J. Agric. Food Chem.* 57:545-553.
- Cortell, J.M., and J.A. Kennedy. 2006. Effect of shading on accumulation of flavonoid compounds in (*Vitis vinifera* L.) Pinot Noir and extraction in a model system. *J. Agric. Food Chem.* 54:8510-8520.
- Downey, M.O., J.S., Harvey, and R. Simon. 2003. Analysis of tannins in seeds and skins of Shiraz grapes throughout berry development. *Aust. J. Grape Wine Res.* 9:15-27.
- Downey, M.O., J.S. Harvey, and S.P. Robinson. 2004. The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. *Aust. J. Grape Wine Res.* 10:55-73.

- Fujita, A., N. Soma, N. Goto-Yamamoto, A. Mizuno, K. Kiso, and K. Hashizume. 2007. Effect of shading on proanthocyanidin biosynthesis in the grape berry. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 76:112-119.
- Gil, M., N. Kontoudakis, E. González, M. Esteruelas, F. Fort, J.M. Canals, and F. Zamora. 2012. Influence of grape maturity and maceration length on colour, polyphenolic composition, and polysaccharide content of Cabernet Sauvignon and Tempranillo wines. *J. Agric. Food Chem.* 60:7988-8001.
- Hanlin, R.L., and M.O. Downey. 2009. Condensed tannin accumulation and composition in Shiraz and Cabernet Sauvignon grapes during berry development. *Am. J. Enol. Vitic.* 60:13-23.
- Harbertson, J.F., J.A. Kennedy, and D.O. Adams. 2002. Tannin in seeds and skins of Cabernet Sauvignon, Syrah and Pinot noir berries during ripening. *Am. J. Enol. Vitic.* 53:54–59.
- Jeong, S.T., N. Goto-Yamamoto, S. Kobayashi, and M. Esaka. 2004. Effects of plant hormones and shading on the accumulation of anthocyanins and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in grape skins. *Plant Sci.* 167:247-252.
- Kallithraka, S., A.A.A. Mohdalya, D.P. Makris, and P. Kefalas. 2005. Determination of major anthocyanin pigments in Hellenic native grape varieties (*Vitis vinifera* sp.): association with antiradical activity. *J. Food Comp Anal.* 18:375-386.
- Kennedy, J.A., M.A. Matthews, and A.L. Waterhouse. 2000. Changes in grape seed polyphenols during ripening. *Phytochemistry* 55:77-85.
- Kotseridis, Y., A. Georgiadou, P. Tikos, S. Kallithraka, and S. Koundouras. 2012. Effects of severity of post-flowering leaf removal on berry growth and composition of three red *Vitis vinifera* L. cultivars grown under semiarid conditions. *J. Agric. Food Chem.* 60:6000–6010.
- Koundouras, S., C. Van Leeuwen, G. Seguin, and Y. Glories. 1999. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de Némée, Grèce, cépage Saint-Georges, 1997). *J. Int. Sci. Vinge Vin* 33:149-160.
- Koundouras, S., V. Marinos, A. Gkoulioti, Y. Kotseridis, and C. van Leeuwen. 2006. Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and aroma components. *J. Agric. Food Chem.* 54:5077-5086.
- Koundouras, S., E. Hadjidimitriou, M. Karamolegkou, E. Dimopoulou, S. Kallithraka, J.T. Tsialtas, E. Zioziou, N. Nikolaou and Y. Kotseridis. 2009. Irrigation and rootstock effects on the phenolic content and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet-Sauvignon grapes. *J. Agric. Food Chem.* 57:7805–7813.
- Kyraleou, M., S. Kallithraka, S. Koundouras, K. Chira, S. Haroutounian, H. Spinthiropoulou, and Y. Kotseridis. 2015a. Effect of vine training system on the phenolic composition of red grapes (*Vitis vinifera* L. cv. Xinomavro). *J. Int. Sci. Vinge Vin* 49:71-84.
- Kyraleou, M., S. Koundouras, S. Kallithraka, N. Theodorou, N. Proxenia, and Y. Kotseridis. 2015b. Effect of water availability on the phenolic content and tannin polymerization of *Vitis vinifera* L. cv. Syrah berry skins under semiarid climate. *In Proceedings of the [2015] 19th International GiESCO Symposium*, pp. 185-189, Pech Rouge, Gruissan France.
- Kyraleou, M., Y. Kotseridis, S. Koundouras, K. Chira, P.L. Teissedre, and Kallithraka S. 2016a. Effect of irrigation regime on perceived astringency and proanthocyanidin composition of skins and seeds of *Vitis vinifera* L. cv. Syrah grapes under semiarid conditions. *Food Chem.* 203:293-300.
- Kyraleou, M., S. Koundouras, S. Kallithraka, N. Theodorou, N. Proxenia, and Y. Kotseridis. 2016b. Effect of irrigation regime on anthocyanin content and antioxidant activity of *Vitis vinifera* L. cv. Syrah grapes under semiarid conditions. *J. Sci. Food Agric.* 96:988-996.

- Li, Q., Y.X. Liu, Q.H. Pan, C.Q. Duan, and Y. Shi. 2014. Comparison of Proanthocyanidins with Different Polymerisation Degrees among Berry Skins of 'Shiraz', 'Cabernet Sauvignon', and 'Marselan'. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 35:51-58.
- Matus, J.T., R. Loyola, A. Vega, A. Peña-Neira, E. Bordeu, P. Arce-Johnson, and J. Antonio Alcalde. 2009. Post-veraison sunlight exposure induces MYB-mediated transcriptional regulation of anthocyanin and flavonol synthesis in berry skins of *Vitis vinifera*. *J. Exp. Bot.* 60:853–867.
- Monagas, M., C. Gomez-Cordoves, B. Bartolome, O. Laureano, and J.M. Riccardo Da Silva. 2003. Monomeric, Oligomeric, and Polymeric Flavan-3-ol Composition of Wines and Grapes from *Vitis vinifera* L. cv. Graciano, Tempranillo, and Cabernet Sauvignon *J. Agric. Food Chem.* 51:6475-6481.
- Mori, K., N. Goto-Yamamoto, M. Kitayama, and K. Hashizume. 2007. Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *J. Exp. Bot.* 58:1935-1945.
- Nunan, K.J., I.M. Sims, A. Bacic, S.P. Robinson, and G.B. Fincher. 1998. Changes in cell wall composition during ripening of grape berries. *Plant Physiol.* 118:783–792.
- Ollé, D., J.L. Guiraud, J.M. Souquet, N. Terrier, A. Ageorges, V. Cheynier, and C. Verries. 2011. Effect of pre- and post-veraison water deficit on proanthocyanidin and anthocyanin accumulation during Shiraz berry development. *Aust. J. Grape Wine Res.* 17:90–100.
- Pastor del Rio, J.L., and J.A. Kennedy. 2006. Development of proanthocyanidins in *Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir grapes and extraction into wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 57:125–132.
- Peleg, H., K. Gacon, P. Schlich, and A.C. Noble. 1999. Bitterness and astringency of flavan-3-ol monomers, dimers and trimers. *J. Sci. Food Agric.* 79:1123-1128.
- Prieur, C., J. Rigaud, V. Cheynier, and M. Moutounet. 1994. Oligomeric and polymeric procyanidins from grape seeds. *Phytochemistry* 36:781-784.
- Quijada-Morin, N., J.M. Hernandez-Hierro, J.C. Rivas-Gonzalo, and M.T. Escribano-Bailón. 2015. Extractability of low molecular mass flavanols and flavonols from red grape skins. Relationship to cell wall composition at different ripeness stages. *J. Agric. Food Chem.* 63:7654-7662.
- Roby G., J.F. Harbertson, D.A. Adams, and M.A. Matthews. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Aust. J. Grape Wine Res.* 10:100-107.
- Roggero, J.P., S. Coen, and B. Ragonnet. 1986. High performance liquid chromatography survey on changes in pigment content in ripening grapes of Syrah. *Am. J. Enol. Vitic.* 37:77–83.
- Romero, P., J.I. Fernández-Fernández, and A. Martinez-Cutillas. 2010. Physiological thresholds for efficient regulated deficit-irrigation management in winegrapes grown under semiarid conditions. *Am. J. Enol. Vitic.* 61:300-312.
- Spayd S.E., J.M. Tarara, D.L. Mee, and J.C. Ferguson. 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 53:171-182
- Sun, B., M. De Sa, M. Leonardo, I. Caldeira, F.L. Duarte, and I. Spranger. 2013. Reactivity of polymeric proanthocyanidins toward salivary proteins and their contribution to young red wine astringency. *J. Agric. Food Chem.* 61:939-926.
- Tardaguila, J., F. Martinez de Toda, S. Poni, M.P. Diago. 2010. Impact of early leaf removal on yield and fruit and wine composition of *Vitis vinifera* L. Graciano and Carignan. *Am. J. Enol. Vitic.* 61:372–381
- Vidal, S., L. Francis, S. Guyot, N. Marnet, M. Kwiatkowski, R. Gawel, V. Cheynier, and E.J. Waters. 2003. The mouth-feel properties of grape and apple proanthocyanidins in a wine-like medium. *J. Sci. Food Agric.* 83:564–573.

Vidal, S., L. Francis, A. Noble, M. Kwiatkowski, V. Chenyer, and E. Waters. 2004. Taste and mouth-feel properties of different types of tannin-like polyphenolic compounds and anthocyanins in wine. *Anal. Chim. Acta* 513:57-65.

Riassunto

I composti fenolici dell'uva sono localizzati negli strati interni delle bucce e nei semi. Sono sintetizzati tramite la via biosintetica dei fenil-propanoidi che è modulata sia da fattori biotici che abiotici. Sono state eseguite molte ricerche per chiarire l'evoluzione dei composti fenolici e il ruolo dei fattori ambientali e agronomici che possono influire sul loro contenuto al momento della vendemmia. L'accumulo dei composti fenolici nell'uva può essere influenzato dalla varietà, dalle condizioni ambientali e dalle pratiche viticole. In particolare, l'influenza dell'irrigazione sull'accumulo degli antociani nell'uva è stata studiata da numerosi autori che riferiscono un impatto generale positivo di un leggero deficit idrico, attribuito ai cambiamenti nel rapporto buccia/polpa, a cambiamenti del microclima o a differenze nella ripartizione dei composti assimilati tra i diversi organi della pianta. Inoltre, le condizioni di luce, condizionate dalla rimozione delle foglie, modificano il contenuto, il tipo e l'estrattibilità degli antociani delle bucce. Comunque, in condizioni di clima caldo, le temperature più elevate degli acini esposti al sole può affrettare la maturazione fenolica e cambiare le caratteristiche sensoriali delle bucce e dei semi. Per quanto riguarda i tannini degli acini, gli studi sugli effetti delle condizioni ambientali e delle pratiche viticole sono scarsi. Inoltre, poche sono le informazioni disponibili sugli effetti delle condizioni ambientali e viticole sulle caratteristiche strutturali delle proantocianidine, come la polimerizzazione, la galloilazione e la composizione delle subunità, che definiscono le proprietà sensoriali del vino.

Parole-chiave: vite, antociani, tannini, flavan-3-oli, astringenza, amaro, polimerizzazione, irrigazione, microclima.