



La discriminazione isotopica del carbonio (chiamata $\delta^{13}\text{C}$) misurata sul succo d'uva è uno strumento utile per monitorare lo stato idrico della vite in condizioni di produzione

Cornelis van Leeuwen¹, Benjamin Bois², Luca Brillante³, Agnès Destrac-Irvine¹, Mark Gowdy¹, Damian Martin⁴, Marc Plantevin^{1,5}, Laure de Rességuier¹, Luis G. Santesteban⁶, Vivian Zufferey⁷

¹ EGFV, Univ. Bordeaux, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, ISW, Villenave d'Ornon, France

² Biogéosciences UMR 6282 CNRS uB, Univ. Bourgogne, 6 Boulevard Gabriel, Dijon, France

³ Department of viticulture and Enology, California State University Fresno, 2360 E Barstow Ave, Fresno, CA, 93740, USA

⁴ The New Zealand Institute for Plant and Food Research Limited, Blenheim 7021, New Zealand

⁵ Château La Tour Carnet, 33112 Saint-Laurent-Médac, France

⁶ Department of Agronomy, Biotechnology and Food Science, Public University of Navara (UPNA), Campus Arrosadia, Pamplona, Spain

⁷ Agroscope, Centre de recherches de Pully, CH-1009, Suisse

La valutazione dello stato idrico della vite è necessaria per comprendere l'effetto dei fattori ambientali e delle pratiche di gestione dei vigneti con o senza irrigazione. Tra gli indicatori vegetali, la discriminazione degli isotopi del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) è facilmente accessibile, affidabile ed economica. Poiché fornisce una valutazione a posteriori dello stato idrico della vite durante il periodo di maturazione delle uve, può essere utile per valutare i risultati delle pratiche di gestione del vigneto durante la stagione e per mappare lo stato idrico in vigna con lo scopo di orientare le pratiche di gestione con più precisione. Le possibili applicazioni e limitazioni di questa tecnica per la gestione pratica dei vigneti sono discusse in questo articolo.

Valutazione dello stato idrico della vite

Lo stato idrico della vite è un parametro chiave nella coltivazione dell'uva, che influisce sia sulla resa che sulla composizione delle uve. A sua volta, lo stato idrico della vite è determinato dalla disponibilità idrica del suolo (dipendente dalla capacità di ritenzione idrica del suolo), dai parametri climatici (precipitazioni ed evapotraspirazione), dal sistema di formazione (superficie fogliare per ettaro), dal genotipo (portainnesto e varietà) e dalle pratiche di gestione (gestione del suolo e irrigazione).

Molti metodi per valutare lo stato idrico della vite sono stati sviluppati e possono essere raggruppati in: (1) misure basate sul suolo, (2) modellizzazione del bilancio idrico e (3) misure basate sulle piante. L'accuratezza degli approcci basati sul suolo e sulla modellizzazione è limitata dalle ipotesi relative alla capacità di ritenzione idrica del suolo (SWHC) della zona radicale della vite, che dipende in larga misura dalla profondità di radicazione e dal funzionamento delle radici, un parametro che non può essere valutato con precisione in condizioni reali. Gli indicatori basati sulle piante, tuttavia, integrano naturalmente la zona radicale SWHC della vite e forniscono quindi risultati più affidabili. Tra le misurazioni basate sulle piante, il potenziale idrico tramite camera di pressione è ampiamente utilizzato. La discriminazione degli isotopi del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) misurata sul succo delle uve è un altro indicatore del deficit idrico della vite con un enorme potenziale di applicazione nella gestione dei vigneti. Anche se i primi articoli su questa tecnica sono stati pubblicati più di 20 anni fa¹, non è ancora ampiamente utilizzata dai viticoltori.

Il principio della discriminazione degli isotopi del carbonio

Gli isotopi di un elemento hanno lo stesso numero di protoni ed elettroni, ma differenti numeri di neutroni, e quindi una diversa massa atomica. Ci sono tre isotopi del carbonio, ma solo il ^{12}C e ^{13}C sono stabili nell'ambiente, rendendoli utili per lo studio dei cosiddetti processi discriminanti isotopici in natura. Il ^{12}C è di gran lunga l'isotopo di carbonio più abbondante in natura, con una proporzione di circa 99:1 rispetto al ^{13}C .

Durante la fotosintesi, c'è discriminazione a favore delle molecole di CO_2 contenenti isotopi ^{12}C , a causa della sua maggiore reattività con gli enzimi nella reazione fotosintetica e una migliore diffusione attraverso gli stomi e il mesofillo. Pertanto, i rapporti $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ negli zuccheri prodotti sono inferiori rispetto alla CO_2 atmosferica.

Quando le piante subiscono un deficit idrico, questi rapporti isotopici $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ vengono ulteriormente modificati quando gli stomi si chiudono e bloccano la diffusione della CO_2 nello spazio intercellulare delle foglie. Ciò fa aumentare la concentrazione relativa di $^{13}\text{C}_2$ in $^{12}\text{CO}_2$

TABELLA 1. Potenziale idrico e valori di $\delta^{13}\text{C}$ rispetto alle soglie di deficit idrico della vite. Le soglie di potenziale idrico si riferiscono ai valori più bassi registrati durante il periodo di maturazione delle uve.

	$\delta^{13}\text{C}$ nel succo d'uva (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ nei vini e distillati (‰)	Potenziale idrico dello stelo a mezzogiorno (MPa)	Potenziale idrico fogliare prima dell'alba (MPa)
Nessun deficit	< -26	< -27.7	> -0.6	> -0.2
Deficit idrico basso	-25 to -26	-26.7 to -27.7	-0.6 to -0.9	-0.2 to -0.3
Deficit idrico moderato	-24 to -25	-25.7 to -26.7	-0.9 to -1.1	-0.3 to -0.5
Deficit idrico da moderato a alto	-23 to -24	-24.7 to -25.7	-1.1 to -1.4	-0.5 to -0.8
Deficit idrico alto	> -23	> -24.7	< -1.4	< -0.8

nello spazio intercellulare, e quindi negli zuccheri prodotti. Durante la maturazione, questi zuccheri si accumulano nel succo dell'acino, e il rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ misurato nel succo fornisce un'indicazione del deficit idrico delle viti e della loro gravità².

Il rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ può essere misurato mediante spettrometria di massa isotopica con grande precisione. La $\delta^{13}\text{C}$ viene quindi ottenuta confrontando i risultati con uno standard con un rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ noto.

Classificazione dei livelli di stress da deficit idrico

La $\delta^{13}\text{C}$ misurata nei succhi d'uva varia tra -28‰ per le viti senza nessun deficit idrico, fino a -20‰ per le viti che soffrono di grave stress da deficit idrico. La classificazione dell'intensità del deficit idrico in questo intervallo differisce leggermente tra le pubblicazioni. Le differenze nelle soglie di risposta possono derivare, in parte, dal fatto che i valori $\delta^{13}\text{C}$ sono influenzati anche dalla varietà della vite³, e la variazione diurna del potenziale idrico della pianta a mezzogiorno può essere significativamente diversa nelle condizioni di crescita. Le soglie riportate nella tabella 1 sono calcolate a partire da van Leeuwen et al., 2009² e Santesteban et al., 2015⁴ e si applicano alle regioni con condizioni climatiche temperate. Valori soglia più precisi a seconda dei luoghi e delle varietà possono essere impostati localmente combinando misure $\delta^{13}\text{C}$ e potenziale idrico. In alternativa si può ottenere anche un confronto relativo: una variazione di 1 in $\delta^{13}\text{C}$ corrisponde ad una differenza di 0,2 MPa nel potenziale idrico del fusto a mezzogiorno durante il periodo di maturazione dell'uva⁵.

Esempio pratico della valutazione dello stato idrico della vite con $\delta^{13}\text{C}$

La misurazione $\delta^{13}\text{C}$ è stata effettuata su campioni di succo d'uva raccolti tra tre settimane dopo la metà dell'invasatura e la raccolta. I campioni

sono stati inviati a un laboratorio dotato di uno spettrometro di massa isotopico. Alcuni laboratori stimano la $\delta^{13}\text{C}$ usando la spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (FTIRS), anche se questo metodo non può essere raccomandato perché è impreciso. Un limite attuale per l'implementazione della misurazione $\delta^{13}\text{C}$ è che è poco praticata, ma i laboratori che offrono l'analisi sono in costante aumento. Per le analisi è necessaria solo una piccola quantità di succo (+/- 5 μl) e può essere ottenuta da campioni prelevati per il controllo regolare della maturità alla fine della stagione. Questi campioni, tuttavia, devono essere rappresentativi delle viti o del ceppo in esame.

Il campione $\delta^{13}\text{C}$ dello zucchero d'uva è conservato in etanolo come nel vino, anche se la fermentazione induce uno spostamento di -1,7‰ (Tabella 1⁴). Quindi, l'analisi $\delta^{13}\text{C}$ può anche essere eseguita sul vino per studiare il corrispondente stato idrico delle viti durante la maturazione delle uve^{7, 8}.

Applicazioni del monitoraggio dello stato idrico con $\delta^{13}\text{C}$

La $\delta^{13}\text{C}$ fornisce una panoramica dello stato idrico delle viti durante il periodo di maturazione dell'uva, che si estende approssimativamente da una settimana prima della metà dell'invasatura a tre settimane dopo la metà dell'invasatura. Ciò corrisponde, nella maggior parte dei casi, al mese di agosto nell'emisfero settentrionale e di febbraio nell'emisfero australe, un periodo chiave durante il quale lo stato idrico della vite può influenzare la resa e la potenziale qualità del vino.

La $\delta^{13}\text{C}$ può essere uno strumento utile per valutare le strategie di irrigazione alla fine della stagione con lo stato idrico della vite che risente della quantità e dei tempi di applicazione dell'acqua. Al fine di ottimizzare la qualità del vino per la produzione di vino rosso, è auspicabile la coltivazione di viti con un leggero deficit idrico, con valori di $\delta^{13}\text{C}$ tra -24‰ e -25‰ che indicano che le viti non sono state sovrairrigate. Questa può essere un'informazione importante quando l'uva viene acquistata dai viticoltori, in quanto fornisce uno strumento per controllare la gestione dell'irrigazione *post hoc*. La $\delta^{13}\text{C}$ può essere utilizzata anche per valutare facilmente l'impatto di qualsiasi pratica di gestione del vigneto (coltura di copertura, lavorazione del terreno, rimozione delle foglie...) sullo stato idrico della vite.

Poiché la $\delta^{13}\text{C}$ è un indicatore altamente accessibile (facile da misurare e non costoso), può anche essere utilizzato per mappare lo stato idrico della vite su una serie di vigneti o una tenuta viticola (Figura 1A²). La $\delta^{13}\text{C}$ può essere uno strumento utile negli studi del *terroir* su vigneti coltivati e non irrigati, dove lo stato idrico della vite dipende in gran parte dalla capacità di ritenzione idrica del suolo (figura 1B) e dal clima, entrambi parametri importanti del *terroir*^{2, 9}.

Tali mappe dello stato idrico della vite sono molto utili per perfezionare le scelte del materiale vegetale e le strategie di gestione. Nelle parcelle più secche, i portainnesti resistenti alla siccità dovrebbero essere utilizzati per evitare gravi stress idrici. Nelle zone umide, la qualità del vino può essere influenzata da un'eccessiva disponibilità d'acqua, che può essere migliorata mediante l'istituzione di una coltura di copertura competitiva.

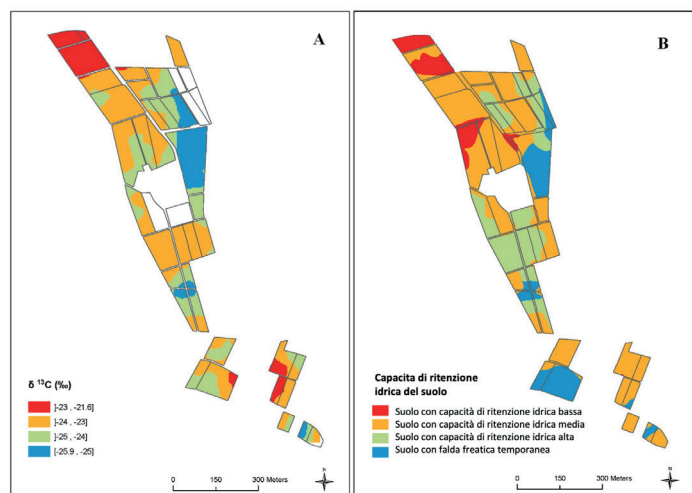


FIGURA 1. A - Stato idrico della vite misurato in un'azienda vitivinicola a Saint-Emilion (zona di Bordeaux, 2022). 172 campioni sono stati prelevati sui 23 ettari. B - Mappa della capacità idrica del suolo tratta dalla mappa del suolo della tenuta.

A livello intra-parcellare, la mappatura dello stato idrico della vite con la $\delta^{13}\text{C}$ è uno strumento per la viticoltura di precisione, ad esempio per spiegare la variabilità polifenolica dell'uva⁵. Quando la $\delta^{13}\text{C}$ è misurata sul vino (vedi soglie di interpretazione specifiche, tabella 1), permette di risalire allo stato idrico delle viti che hanno prodotto il vino. Questo può essere usato per spiegare l'effetto dello stato idrico della vite su parametri legati alla qualità, come gli aromi⁷.

Limiti di monitoraggio dello stato idrico con la $\delta^{13}\text{C}$

Poiché la $\delta^{13}\text{C}$ viene misurata alla fine della stagione, non è utile per la gestione quotidiana dell'irrigazione. A questo scopo, è preferibile la camera di pressione. Un'altra limitazione è che rappresenta il deficit idrico della vite durante il periodo di accumulo di zuccheri negli acini d'uva. Pertanto, non fornisce una documentazione dei primi deficit idrici della vite, né tiene conto dei deficit idrici riscontrati dopo il caricamento degli zuccheri nelle bacche. Quando si valutano le risposte della $\delta^{13}\text{C}$ ai deficit idrici tra le varietà³ devono essere considerate le normali differenze specifiche che esistono tra le varietà nell'efficienza complessiva dell'uso dell'acqua. L'analisi della $\delta^{13}\text{C}$ è attualmente proposta solo da un numero limitato di laboratori commerciali, ma sarà più ampiamente disponibile all'aumentare della domanda.

Conclusioni

Saper caratterizzare lo stato idrico della vite è fondamentale per capire come i fattori ambientali e le pratiche di gestione possono influenzare la resa e il potenziale di qualità del vino. Le misure della $\delta^{13}\text{C}$ sul mosto d'uva o sul vino sono un indicatore facilmente ottenibile e poco costoso dello stato idrico della vite durante il periodo di maturazione delle bacche e possono essere utili per la gestione con o senza irrigazione dei vigneti. ■

1 Gaudillère, J. P., van Leeuwen, C., & Ollat, N. (2002). Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*, 53(369), 757-763. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.369.757>

2 van Leeuwen, C., Trégoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., & Gaudillère, J. P. (2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 43(3), 121-134. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>

3 Plantevin, M., Gowdy, M., Destrac-Irvine, A., Marguerit, E., Gambetta, G., & van Leeuwen, C. (2022). Using $\delta^{13}\text{C}$ and hydroscares for discriminating cultivar specific drought responses. *OENO One*, 56(2), 239-250. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.2.5434>

4 Santesteban, L. G., Miranda, C., Barbarin, I., & Royo, J. B. (2015). Application of the measurement of the natural abundance of stable isotopes in viticulture: a review. *Australian journal of grape and wine research*, 21(2), 157-167. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12124>

5 Brillante, L., Martínez-Lüscher, J., Yu, R., & Kurlural, S. K. (2020). Carbon isotope discrimination ($\delta^{13}\text{C}$) of grape musts is a reliable tool for zoning and the physiological ground-truthing of sensor maps in precision viticulture. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 561477. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.561477>

6 Gowdy, M., Julliard, S., Frouin, M., Poitou, X., Destrac Irvine, A., & van Leeuwen, C. (2022). Carbon isotope discrimination as an indicator of vine water status is comparable in grape must, wine, and distilled wine spirits. *Frontiers in Food Science and Technology*, 10. <https://doi.org/10.3389/frfst.2022.936745>

7 Picard, M., Van Leeuwen, C., Guyon, F., Gaillard, L., De Revel, G., & Marchand, S. (2017). Vine water deficit impacts aging bouquet in fine red Bordeaux wine. *Frontiers in chemistry*, 5, 56. <https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00056>

8 Martin, D., Grab, F., Grose, C., Stuart, L., Scofield, C., McLachlan, A., & Rutan, T. (2020). Vintage by vine interactions most strongly influence Pinot noir grape composition in New Zealand. *OENO One*, 54(4), 881-902. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.4.4021>

9 Zufferey, V., Verdenal, T., Dienes, A., Belcher, S., Lorenzini, F., Koestel, C., Blackford, M., Bourdin, G., Gindro, K., Spangenberg, J., Rösti, J., Viret, O., Carlen, C., & Spring, J. L. (2020). The influence of vine water regime on the leaf gas exchange, berry composition and wine quality of Arvine grapes in Switzerland. *OENO One*, 54(3), 553-568. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.3.3106>