iVES Technical Reviews vigna & vino
terclimpro
https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2025.8495

Questo articolo è pubblicato in collaborazione con la seconda edizione di TerclimPro (18-19 febbraio 2025), Bordeaux & Cognac, Francia.

Caratterizzazione della dinamica di accumulo dello zucchero nell'uva e dei fattori che influenzano questo processo su scala locale

Laure de Rességuier✉[1], Lauren Inchboard[2], Amber K. Parker[3], Théo Petitjean[1], Cornelis van Leeuwen[1]

[1] EGFV, Univ. Bordeaux, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, ISVV, F-33882 Villenave d'Ornon, France
[2] VITINNOV, Bordeaux Sciences Agro, ISVV, F-33175 Gradignan cedex, France
[3] Department of Wine, Food and Molecular Biosciences, Lincoln University, Lincoln 7647, New Zealand

Determinare la concentrazione di zucchero nelle bacche d'uva è essenziale per i viticoltori, poiché consente di stimare il grado alcolico finale del vino e di ottimizzare la data di raccolta. Di fronte ai cambiamenti climatici e all'aumento delle temperature, comprendere i fattori che influenzano la dinamica di accumulo dello zucchero è cruciale per adattare le pratiche viticole e mantenere la qualità dei vini. Questo studio mira ad analizzare i fattori di sviluppo e ambientali coinvolti nell'accumulo di zuccheri nell'uva, utilizzando dati raccolti nella regione di Saint-Émilion, Pomerol e nelle loro denominazioni satelliti (Bordeaux, Francia)[1].

Caratterizzazione della dinamica di accumulo dello zucchero

18 blocchi sperimentali situati in parcelle di Merlot sono stati monitorati dal 2012 al 2019 (ad eccezione del 2017, anno caratterizzato da una gelata primaverile). Ogni blocco di monitoraggio della maturazione era composto da 20 ceppi disposti attorno a un sensore di temperatura precedentemente installato per caratterizzare la temperatura su scala locale[2]. In prossimità della vendemmia, oltre alla temperature sono stati valutati lo stato idrico e la nutrizione azotata, tramite misurazioni della discriminazione degli isotopi del carbonio ($\delta^{13}C$)[3] e dell'azoto assimilabile nel mosto (Nass), utilizzando metodi di dosaggio enzimatico o titolazione con formaldeide. Gli stadi fenologici, in particolare la metà-invaiatura (BBCH 85)[4], sono stati determinati attraverso osservazioni sul campo effettuate con frequenza bisettimanale. Il peso delle bacche e la concentrazione di zucchero (misurata con il metodo IRTF, FOSS Analytical, Francia) sono stati monitorati settimanalmente dall'invaiatura fino a una data prossima alla raccolta.

La dinamica di accumulo dello zucchero a livello di una popolazione di bacche segue una curva sigmoide che termina con un plateau[5]. In questo studio è stato utilizzato un modello per caratterizzare la dinamica di accumulo dello zucchero nelle bacche d'uva per parcella e per anno[6]. Questo modello ha permesso di stimare il giorno dell'anno in cui la concentrazione di zucchero raggiunge il 95 % del suo massimo (Giorno Plateau) e la concentrazione di zucchero (g/L) nel momento in cui viene raggiunto il 95 % del suo valore massimo ([zucchero] al Plateau) (Figura 1). È stata inoltre calcolata la Durata Inv-Plateau, cioè il numero di giorni (durata) tra la metà-invaiatura osservata (Giorno Inv) e il giorno modellizzato in cui il 95 % del massimo accumulo di zucchero è stato raggiunto (Giorno Plateau) (Figura 1).

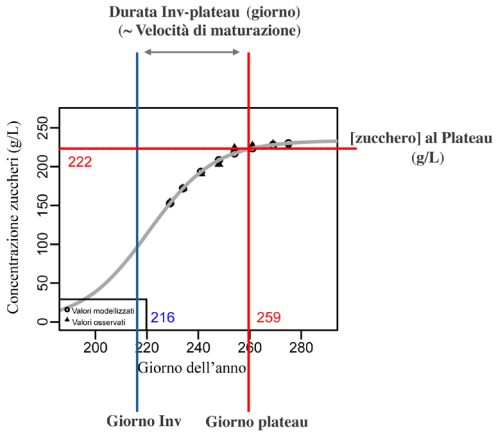


FIGURA 1. Modellizzazione della dinamica di accumulo dello zucchero nell'uva del sito 1 nel 2012 e indicatori di maturazione considerati. Linee rosse: parametri stimati; linea blu: parametro misurato.

Quali sono i fattori che influenzano la dinamica di accumulo dello zucchero?

Sono stati utilizzati modelli lineari misti per esplorare l'influenza di diversi fattori abiotici (temperatura media (Tmed) tra la metà-invaiatura e il plateau, $\delta^{13}C$ e Nass) e di fattori di sviluppo (peso di una bacca e precocità della metà-invaiatura) sui parametri della dinamica di accumulo dello zucchero. La Tabella 1 presenta una sintesi dei risultati di queste analisi.

TABELLA 1. Sintesi dei risultati statistici dei modelli lineari misti utilizzati per spiegare il peso di una bacca, la precocità del plateau, la concentrazione di zucchero al plateau e la durata dell'accumulo dello zucchero.

	Tmed Inv-Plateau (°C)	$\delta^{13}C$ (‰)	Nass (mg/L)	Peso di una bacca (g)	Giorno Inv	Durata Inv-Plateau (giorni)
Peso di una bacca (g)	ns	** Peso ↘ quando stress ↗	ns	/	/	/
Precocità del plateau	*** Precocità ↗ quando Tmed ↗	* Precocità ↗ quando stress ↗	ns	ns	** Precocità plateau ↗ quando precocità Inv ↗	/
[Zucchero] al plateau (g/L)	** [Zucchero] ↗ quando Tmed ↗	ns	ns	*** [Zucchero] ↘ quando peso ↗	ns	*** [Zucchero] ↗ quando durata ↗
Durata Inv-Plateau (giorni)	*** Durata ↘ quando Tmed ↗	ns	ns	ns	/	/

Nass = azoto assimilabile del mosto, Giorno Inv = giorno in cui il 50 % delle bacche hanno raggiunto lo stadio di metà-invaiatura, $\delta^{13}C$: discriminazione degli isotopi del carbonio, 'ns' non significativo, '***' significativo $p < 0.001$, '**' significativo $p < 0.01$, '*' significativo $p < 0.05$, '/' : non considerato nel modello.

La precocità del plateau dipende dalla temperatura media e dalla data di metà-invaiatura. Una temperatura media elevata accelera la maturazione, anticipando la comparsa del plateau. È stato anche osservato un debole effetto dello stato idrico: il plateau viene raggiunto più precocemente in situazioni di stress idrico.

La concentrazione di zucchero all'inizio del plateau è principalmente influenzata dalla durata del periodo di accumulo. Una maturazione rapida è associata a una minore concentrazione di zucchero al plateau. È stato anche dimostrato un effetto significativo del peso della bacca: le bacche più pesanti presentano una concentrazione di zucchero più bassa.

Infine, la durata dell'accumulo di zucchero dipende anche dalla temperatura media: più fa caldo, più breve è l'intervallo di tempo tra la metà-invaiatura e il plateau. Tuttavia, altri fattori, come l'eterogeneità della maturazione tra le bacche di un stesso grappolo[7], non sono stati presi in considerazione.

La traduzione di questo articolo in italiano vi stata offerta da WineHunter Hub. https://www.winehunterhub.com/

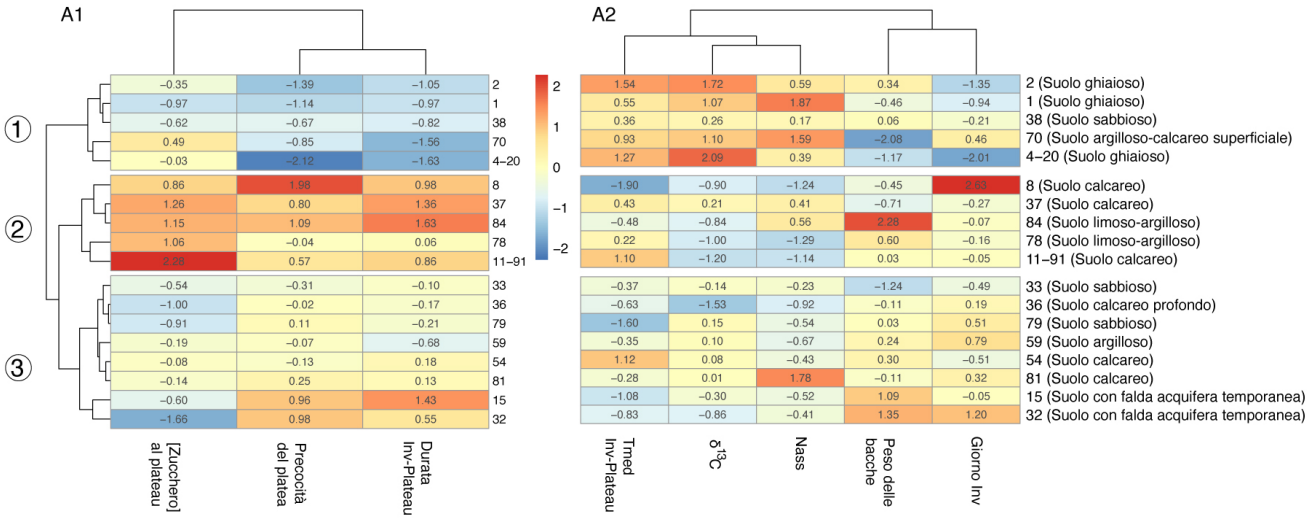


FIGURA 2. A1 - Heatmap con classificazione dei siti in funzione delle variabili di maturità. A2 - Heatmap con raggruppamento delle variabili esplicative e classificazione dei siti utilizzando i gruppi delle righe della prima heatmap e aggiungendo i tipi di suolo delle parcelle.

L'azoto assimilabile non è mai stato identificato come una variabile significativa in questo studio, e i risultati sono simili con l'uso di un altro indicatore di nutrizione azotata, come l'N-tester (dati non presentati).

Raggruppamento delle parcelle con una dinamica di maturazione simile sulla scala territoriale oggetto di studio

Al fine di identificare zone omogene sul territorio oggetto di studio in termini di dinamica di maturazione, sono state utilizzate delle *heatmap* combinate a una classificazione gerarchica ascendente per raggruppare le parcelle. Le *heatmap*, o mappe di calore, permettono di rappresentare visivamente matrici di dati utilizzando un codice colore. I valori elevati sono generalmente rappresentati da colori caldi (rosso, arancione), mentre i valori bassi sono rappresentati da colori freddi (blu, verde). Questa rappresentazione facilita l'identificazione delle tendenze e delle variazioni nei dati. Una classificazione gerarchica ascendente, che raggruppa gli elementi in base alla loro similarità, è stata applicata alle *heatmap* per riorganizzare le parcelle e le variabili di maturità (Figura 2, A1). Le variabili esplicative (Tmed, Inv-Plateau, $\delta^{13}C$, Nass, Peso delle bacche e Giorno Inv) sono state aggiunte in una seconda *heatmap* (Figura 2, A2) e raggruppate sulle colonne. Le righe di questa seconda *heatmap* sono state riorganizzate in base ai gruppi di parcelle identificati nella prima *heatmap* (Figura 2, A1), permettendo di visualizzare i legami tra le dinamiche di maturazione delle parcelle e le variabili esplicative. Al fine di completare il collegamento con il terroir, sono stati anche aggiunti i tipi di suolo.

Sono stati identificati tre gruppi distinti di maturazione (Figura 2). Il gruppo 1 è caratterizzato da un intervallo di tempo breve tra la metà-invaiatura e il plateau, un plateau precoce e una concentrazione di zucchero moderata al plateau. Questo gruppo corrisponde a parcelle situate a ovest della zona di studio, su terreni prevalentemente ghiaiosi o sabbiosi, soggetti a deficit idrico. La temperatura in questi settori durante il periodo di maturazione è calda, e le parcelle sono caratterizzate da concentrazioni di azoto assimilabile superiori a quelle degli altri settori. In questo gruppo, una maturazione rapida è associata a una concentrazione finale di zucchero più bassa, probabilmente a causa di una restrizione della fotosintesi legata a un deficit idrico alla fine della maturazione, non preso in considerazione dall'indicatore dello stato idrico scelto ($\delta^{13}C$). Il gruppo 2 si distingue per una maturazione lenta, un plateau tardivo e una concentrazione di zucchero elevata al plateau. Queste parcelle si trovano su terreni argillo-limosi profondi, meno soggetti a deficit idrico. Infine, il terzo gruppo presenta una concentrazione finale di zucchero bassa, insieme a un plateau e una durata di maturazione medi. Questo gruppo raggruppa parcelle più eterogenee in termini di terroir, caratterizzate tuttavia da temperature più basse durante la maturazione e da livelli di Nass inferiori alla media, ad eccezione di due parcelle.

Discussione e applicazioni

Questo studio ha confermato l'impatto significativo della temperatura durante il periodo di maturazione sulla precocità del plateau di concentrazione di zucchero nelle uve. Ha anche mostrato l'importanza della durata della maturazione e del peso delle bacche sulla concentrazione di zucchero all'inizio del plateau. La metodologia analitica sviluppata in questo studio è ripetibile e potrebbe essere utilizzata dalle unità di produzione, come cantine cooperative o grandi proprietà, per raggruppare le parcelle in base alla loro dinamica di maturazione. Le uve provenienti da parcelle con dinamiche simili potrebbero essere vinificate nelle stesse vasche o integrate negli stessi assemblaggi. I fattori esplicativi della maturazione potrebbero essere completati da variabili non misurate in questo studio, come la resa, l'età delle parcelle, i portainnesti, i cloni o altri indicatori della nutrizione minerale e dello stato idrico in pre-invaiatura, le quali potrebbero influenzare la dinamica di maturazione. Questi risultati offrono anche prospettive in termini di adattamento ai cambiamenti climatici, ad esempio utilizzando varietà più tardive per ritardare l'inizio della maturità o adottando pratiche viticole volte ad aumentare il peso delle bacche per limitare la concentrazione di zucchero nelle uve al momento della maturazione. ■

1 de Rességuier, L., Inchboard, L., Parker, A. K., Petitjean, T., & van Leeuwen, C. (2024). Drivers of grape berry sugar accumulation in field conditions at local scale. *OENO One*, 58(4), Article 4. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.4.8195

2 de Rességuier, L., Mary, S., Le Roux, R., Petitjean, T., Quénol, H., & van Leeuwen, C. (2020). Temperature variability at local scale in the bordeaux area. Relations with environmental factors and impact on vine phenology. *Frontiers in Plant Science*, 11, 515. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00515

3 van Leeuwen, C., Bois, B., Brillante, L., Destrac-Irvine, A., Gowdy, M., Martin, D., Plantevin, M., de Rességuier, L., Santesteban, L. G., & Zufferey, V. (2023). Carbon isotope discrimination (so-called δ13C) measured on grape juice is an accessible tool to monitor vine water status in production conditions. *IVES Technical Reviews, Vine and Wine*. https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2023.7742

4 Meier, U. (2001). Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées (2e éd). Centre fédéral de recherches biologiques pour l'agriculture et les forêts.

5 Coombe, B. G., & McCarthy, M. G. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 131-135. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x

6 Suter, B., Destrac Irvine, A., Gowdy, M., Dai, Z., & van Leeuwen, C. (2021). Adapting Wine Grape Ripening to Global Change Requires a Multi-Trait Approach. *Frontiers in Plant Science*, 12. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.624867

7 Coombe, B. G. (1980). Development of the grape berry. I. Effects of time of flowering and competition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31(1), 125-131. https://doi.org/10.1071/ar9800125

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.