

Agrobiological Responses of Grapevines to Different Training Systems in Semiarid Environments

Andrii Shtirbu, Oleksii Olefir, Natalia Sivak

National Scientific Centre «V.Ye. Tairov Institute of Viticulture and Winemaking»
street 40th anniversary of the Victory, 27; Tairove; Odesa region; Ukraine; 65496

E-Mail: stirbu.a@gmail.com

Zusammenfassung

Es wurde der Einfluss von vier Kordonerziehungssystemen (mit Stammhöhe 0,4 m, 0,8 m, 1,2 m, 1,6 m) auf die Laubwandfläche, den Blattflächenindex, die Transpirationrate, die photosynthetische Aktivität der Blätter und die Erntemenge der Rebsorte 'Aromatnyi' (*Vitis vinifera* L.) untersucht. Es wird gezeigt, dass sich die photosynthetische Produktivität bei Erziehungssystemen mit vertikal gehefteten Trieben und Stammhöhen (SH) von 0,4 m und 0,8 m vergrößert, aber das Potential zur Produktivitätserhöhung kommt nur in Jahren ohne Wassermangel zum Tragen.

Bei Kordonerziehung mit freihängenden Trieben und SH 1,2 m wurde ein hohes Produktivitätsniveau mit niedriger Transpirationsrate festgestellt, dagegen reduzierte sich die Blattfläche bei Kordonerziehung mit freihängenden Trieben und SH 1,6 m und es bildete sich eine Laubwand mit hoher Transpirationsrate, wodurch Wasserstress verstärkt und die Produktivität reduziert wurde. Es ist festzustellen, dass eine Optimierung der Laubwandparameter die negativen Wirkungen von Wasserstress auf die Reben verringern kann und dazu beiträgt, die Pflanzen an semiaride Bedingungen anzupassen. Eine Reduktion des Wasserverlustes durch Transpiration in Phasen von Wasserstress führt zur Erhöhung der Photosyntheseaktivität und zu einer Ertragssteigerung.

Schlagwörter: Weinrebe, Reberziehung, Blattfläche, Transpiration, Photosyntheseapparat, Ertrag.

Abstract

The effect of four grapevine training systems (cordon height 0.4, 0.8, 1.2 and 1.6 m) on the parameters of canopy architecture, leaf area, leaf index, water loss through transpiration, activity of the photosynthetic apparatus, crop productivity and yield of wine grape cultivar 'Aromatnyi' (*Vitis vinifera* L.) was examined. It is shown that the vertical shoot positioning on cordon heights of 0.4 m and 0.8 m increases the photosynthetic capacity, but the crop productivity potential is realized only in years with less drought. Free-growing on cordons at a height of 1.2 m, provides a sufficiently high crop productivity potential at relatively low water loss through transpiration. Downward hanging shoots on cordons at a height of 1.6 m reduces leaf area and shapes the canopy architecture with increased transpiration, increases the effect of water deficit and negatively impacts crop productivity. It was found that the optimization of the parameters of the canopy reduces the negative effect of water deficit and may help adapt grapevines to non-irrigated cultivation in a semi-arid climate. A reduction of water loss through transpiration in phases of water stress leads to an increase of photosynthetic activity and crop productivity.

Keywords: grapevine, training system, leaf area, transpiration, photosynthetic apparatus, crop productivity, yield.

Einführung

Weinbau wird in warmen und kalten Zonen des semiariden Klimatyps betrieben. Halbtrockene Bedingungen in diesen Zonen stellen jedoch ein Risiko für stabile Erträge dar, besonders wenn die Produktion ohne die Möglichkeit zur Bewässerung erfolgt (Jones, 2015). Dieses Problem wird durch den Klimawandel verstärkt. Die globale Temperaturerhöhung hat negative Auswirkungen auf die Traubenernte und die Traubenqualität, insbesondere für die Produktion von Terroir-Weinen (Schultz, 2020; Keller, 2010; Webb et al. 2013; Davis et al., 2019; Bois et al., 2018; Molitor and Junk, 2019; Leeuwen et al., 2019).

Während der Klimawandel in niederschlagsreichen Gebieten zu einer Qualitätsreduzierung der Produktion führt (Gambetta and Kurtural, 2021; Bucur and Dejeu, 2017; Deloire et al., 2004), entsteht in semiariden Gebieten ein wirtschaftliches Risiko, insbesondere bei Weinbergen, die ohne Bewässerung bewirtschaftet werden. Das liegt vor allem an der instabilen und teilweise sehr geringen Produktivität der Weinberge unter semiariden Bedingungen (Zarrouk et al., 2015).

Die Weinbergsbewässerung löst zwar das Problem der geringen Erträge in trockenen Regionen, aber die Süßwasserressourcen sind in vielen Weinbergsregionen stark begrenzt. In dieser Situation werden überwiegend landwirtschaftliche Kulturen bewässert, deren Anbau ohne Bewässerung nicht möglich ist (Edwards and Clingeleffer, 2013; Phogat et al., 2020). Somit ist die Steigerung der Effizienz im Hinblick auf natürliche Wasserressourcen mitentscheidend für die nachhaltige Entwicklung des Weinbaus in semiariden Regionen (Medrano et al., 2015).

Die Reberziehung bestimmt die Verteilung der grünen Triebe in der Laubwand sowie die Entfernung der Triebe von der Bodenoberfläche und ist maßgebend für die Belichtungsverhältnisse des Weinbergs. Rebenerziehungsparameter beeinflussen den Wasserhaushalt (Scholasch and Rienth, 2019; Zufferey et al., 2020), die Photosynthese und die Atmungsprozesse der Pflanze (Colova et al., 2007; Vlasov et al., 2016) und bestimmen gleichzeitig den Traubenertrag (Dry, 2000; Sommer et al., 2000; Clingeleffer, 2006), (Carbonneau et al., 2004), die Weinqualität (Minnaar et al., 2020) sowie die Kosten der Handarbeit, die Aufwendungen für das Material und sonstige Produktionskosten (Deloire et al., 2004; Strub et al., 2021).

Das Reberziehungssystem wird hauptsächlich an die technische Ausrüstung angepasst, um Produktionsprozesse zu mechanisieren. Es ist bekannt, dass das Reberziehungssystem die Pflanzen an semiaride Bedingungen anpassen kann, aber die optimalen Parameter für das Reberziehungssystem sind für verschiedene Pflanzdichten unterschiedlich (Shtirbu et al., 2022). Aus diesem Grund kann die Reaktion der Rebe auf das Reberziehungssystem von der Wuchskraft der Sorte abhängen, die für die Bestimmung der Pflanzdichte entscheidend ist.

Unser Arbeitsziel war daher, die Reaktionen der Rebe auf verschiedene Spaliererziehungssysteme und die Anpassungsmöglichkeit der Rebe an halbtrockene Bedingungen für die biologischen Besonderheiten der Sorte 'Aromatnyi' zu untersuchen.

Es wird angenommen, dass eine agrobiologische Eigenschaft wie die Wuchskraft der Sorte den Parameter Blattfläche bei verschiedenen Reberziehungssystemen unterschiedlich beeinflussen kann. Dieser Parameter könnte möglicherweise den Wasserbedarf der Pflanzen bestimmen und somit am Anpassungsmechanismus von Rebstöcken unter trockenen Bedingungen beteiligt sein.

Material und Methoden

Versuchsort

Die Forschungen wurden auf der Versuchspartzele des Nationalen Wissenschaftlichen Zentrums „Institut für Weinbau und Weinherstellung von W.E. Tairov« (46,35° N; 30,65° W; Seehöhe 36 m) durchgeführt. Das Grundstück ist flach mit einer Neigung von bis zu 1 Grad Richtung Westen. Der Weinberg wurde 2013 mit Propfreben der Sorte 'Aromatnyi' (Unterlage Riparia x Ruprestis 101-14) im Pflanzabstand 3 x 1,5 m angelegt. Die Stöcke werden auf einem vertikalen Spalier (1,8 m hoch) formiert. Die Reihenrichtung ist Nord-Süd. Das Versuchsgrundstück ist ohne Bewässerung.

Agrobiologische Eigenschaften der Sorte

'Aromatnyi' ist eine früherreife Neuzüchtung (Vertes Csillaga x Romulus) der Hybridselektion des Nationalen Wissenschaftlichen Zentrums «Institut für Weinbau und Weinherstellung von W. E. Tairow». Im Jahr 2009 wurde sie in das Pflanzenregister der Ukraine aufgenommen. Nach der berechneten Formel beträgt V. vinifera L. im Genotyp der Sorte 76,0 %, V. labrusca –

13,2 %, *V. rupestris* – 6,8 % und andere Arten der Gattung *Vitis* – 4,0 %. Die Sorte weist einen starken Triebwuchs, eine gute Triebreife und eine hohe Winterhärte auf. Die Reben sind resistent gegen Pilzkrankheiten, die Beeren mittelgroß, rund und rosa mit Erdbeergeschmack und Karamellnoten. Die Beerenhaut ist dünn, das Fruchtfleisch saftig, das Erntegut kann zur Herstellung von Weinen und Traubensäften verwendet werden (Vlasov et al., 2014).

Boden

Die Versuchsparzelle wurde auf Schwarzerde (südlicher Typ) angelegt. Der Humushorizont ist 45 cm tief; der Humusgehalt im A-Horizont beträgt 2,3 %. Der pH-Wert in der Bodenschicht 0–120 cm liegt bei 7,5–8,6.

Der Boden hat eine hohe Kationenaustauschkapazität (17,0–21,5 mmolc/100 g) und Calcium-Sättigung (80–90 %). Der Gesamtkalkgehalt variiert zwischen 1,3 und 17,6 %, der Anteil an Aktivkalk beträgt 1,2–13,6 %. Das Chloroserisiko in den oberen Bodenschichten ist gering. Der Boden hat eine schwerlehmige Struktur. Der Stickstoffgehalt im A-Horizont ist sehr gering (56 mg/kg nach Kornfeld), der Phosphorgehalt liegt auf durchschnittlichem Niveau (22,4 mg/kg nach Machigin), der Kaliumgehalt ist erhöht (219,4 mg/kg nach Machigin).

Agroklimatische Bedingungen

Im Forschungszeitraum von 2016 bis 2020 schwankte die Durchschnittstemperatur des kältesten Monats Januar zwischen 1,8 °C (2020) und -4,2 °C (2018). Die Lufttemperatur fiel kurzzeitig von -7,9 auf -19,0 °C. Die Überwinterung der Weinberge unter diesen Bedingungen war, mit nur geringen Schäden für die Ernte gut.

Die Vegetationsperiode mit Temperaturen >10 °C variierte zwischen 179 und 206 Tagen. Die letzten Frühjahrsfröste wurden zwischen 18. März und 7. April beobachtet, was mit der phänologischen Phase des Saftflusses zusammenfällt. Rebschäden durch Frühjahrsfröste wurden im Untersuchungszeitraum nicht beobachtet.

Herbstfröste, die im Zeitraum vom 28. Oktober bis 22. November auftraten, fielen mit der phänologischen Phase des Laubfalls zusammen. Die Triebreifung wurde nicht wesentlich beeinträchtigt.

Die jährliche Durchschnittstemperatur variierte zwischen 11,5 und 13,0 °C. Die Niederschlags-summe variierte zwischen 271 mm und 693 mm. Der Ariditätsindex variiert zwischen 0,2 und 0,5,

sodass das Gebiet laut der UNEP-Klassifikation (Middleton N, 1997) als halbtrocken charakterisiert werden kann. Das Klima des Gebiets wird laut Köppen-Geiger-Klassifikation als kalt und semiarid bezeichnet (Beck, 2018).

Forschungsplan

In einem Ein-Faktor-Experiment, das in fünf aufeinanderfolgenden Jahren (2016–2020) durchgeführt wurde, wurde die Wirkung von vier verschiedenen Erziehungssystemen auf die Laubwandfläche, die Transpirationrate, die photosynthetische Aktivität der Blätter, den Ertrag und die Traubenqualität untersucht.

Die Kordonerziehungssysteme in der Untersuchung unterschieden sich durch die Stammhöhe (SH) (0,4 m, 0,8 m, 1,2 m, 1,6 m) und die Triebverteilung im Spaliererraum (Abbildung 1). Die Triebe am Kordon mit SH 0,4 m und 0,8 m wurden vertikal geheftet, bei einer Stammhöhe 1,2 m konnten sie sich vollkommen frei entfalten, bei der Stammhöhe 1,6 m waren sie frei hängend.

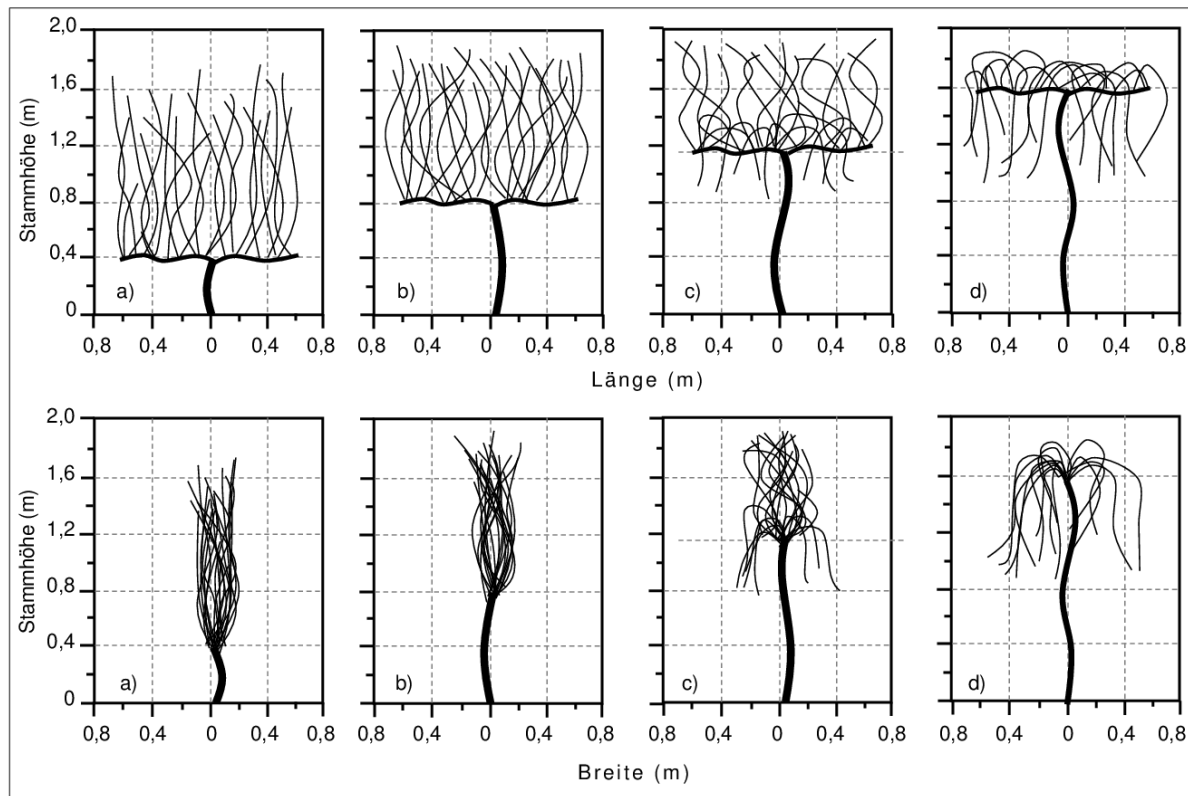


Abbildung 1. Triebverteilung der Rebstöcke bei verschiedenen Erziehungssystemen: Kordon mit SH: a) 0,4 m; b) – 0,8 m; c) – 1,2 m; d) – 1,6 m.

Die gesamte Versuchfläche betrug 2.376 m². Die Versuchsparzelle bestand aus 8 Spalierreihen zu jeweils 100 m Länge. Eine Versuchsvariante umfasste 2 Spalierreihen und hatte eine Fläche von 594 m² (132 Reben).

Messungen

Die Messungen der Laubwandfläche wurden während der Beerenreifephase (BBCH 89) und der Vollendung der Wachstumsprozesse durchgeführt. Die Anzahl der Blätter und die Blattfläche wurden nach der ampelometrischen Methode (Yvanenko et al., 2004) an 20 mittleren Trieben aus fünf typischen Stöcken bestimmt. Es wurde die Blattfläche (SF) pro 1 ha Weinberg berechnet (Carbonneau, 1983). Die Durchschnittshöhe und die Breite der Laubwand wurden durch Messungen an 20 typischen Stöcken bestimmt (Amyrdzhanov, 1980). Die Daten wurden für die Berechnung des Anteils an besonnener Blattfläche (SFe) und Blattflächeindex (IF) benutzt (Schneider, 1989).

Für eine vergleichende

Transpirationscharakterisierung der Rebstöcke wurde die Energiebilanzmethode verwendet. Der potenzielle Wasserverbrauch für die Transpiration wurde durch die Gleichung zwischen Sonnenenergieaufnahme von Pflanzen pro Tag und Wärmeverbrauch für die Wasserverdampfung errechnet (Amirdszhanov, 1980):

$$T \left(\frac{\text{mm}}{\text{ha}} \times \text{day} \right) = \frac{Q_A}{E} \times 10^{-4}$$

wobei T – der potenzielle Wasserverbrauch für die Transpiration ist;

Q_A – die Sonnenenergieaufnahme von Pflanzen pro Tag auf einer Fläche von 1 ha unter Spaliererziehung, in KJ;

E – Verdampfungsenergie, die gleich 2,42 KJ/g H₂O bei 20-25 °C ist;

10⁻⁴ – Koeffizient zur Umrechnung der Wassermenge in mm.

Q_A wurde während der Beerenreifephase (Juli), wenn sich die Laubwand der Spalierreihen zu

einer durchgehenden Kontur schließt, nach der Gleichung bestimmt:

$$Q_A = \sum(S_i \times Q \times k_Q)$$

$\sum S_i$ – gesamte Laubwand-Projektionsfläche pro 1 ha unter den Rebstöcken (m^2): $\sum S_i = S_h + S_E + S_W + S_N + S_S$; unter den Versuchsbedingungen $S_h = \left(\frac{10\,000}{E} \times e\right)$,

S_h – horizontale Laubwand-Projektionsfläche,

E – Abstand zwischen den Reihen,

e – Laubwandbreite; $S_E = \left(2 \times \frac{10\,000}{E} \times H\right)$,

S_E – östliche Laubwand-Projektionsfläche;

H – Laubwandhöhe in den Reihe;

$S_W = \left(2 \times \frac{10\,000}{E} \times H\right)$,

S_W – westliche Laubwand-Projektionsfläche;

$S_N = \left(2 \times \frac{100}{E} \times H \times e\right)$,

S_N – nördliche Laubwand-Projektionsfläche;

$S_S = \left(2 \times \frac{100}{E} \times H \times e\right)$,

S_S – südliche Laubwand-Projektionsfläche.

Q ist die Summe der einfallenden Sonnenenergie im Kurzwellenspektrum (0,3–3,0 μm) auf einer horizontalen Fläche ($kJ/m^2 \times Tag$), (POWER Data Access Viewer v2.0.0, n.d.);

k_Q ist der Koeffizient, der von der Laubwand absorbierten Sonnenenergie, berechnet aus den durchschnittlichen täglichen relativen Strahlungsflüssen bei 46° nördlicher Breite in der zweiten Julidekade (für eine horizontale Fläche 0,80; vertikale nördliche – 0,07; südliche – 0,27; östliche und westliche – 0,30) (Amyrdszhanov, 1980).

Die photosynthetische Aktivität der Blätter wurde durch die Methode der Chlorophyll-Fluoreszenz-Induktion (CFI) mithilfe des Geräts „Floratest“ (entwickelt im Institut für Kibernetik von V. M. Glushko, Kijiw, Ukraine) eingeschätzt. Für die Analyse wurden repräsentative Pflanzen in jeder einzelnen Variante ausgewählt. Der CFI wurde an fünf Blättern gemessen, die sich in der Zone 6–8 Nodien im direkten Sonnenlicht befanden. Der Sensor des Geräts wurde zwischen den Hauptadern der Blätter verteilt. Vor den IFC-Messungen wurden die Blätter für mindestens 20 min einer Dunkeladaptation unterzogen. Auf Induktionskurven wurde das Chlorophyll-Fluoreszenz-Niveau an den Punkten F_0 , F_{pl} , F_p ta F_t gemessen (Brajon et al., 2000).

Während der Weinlese wurde an repräsentative Stöcken, die sich auf der gesamten Versuchsparzelle verteilten, die Traubenanzahl

gezählt und die Traubenmasse gewogen. Die Anzahl an untersuchten Reben betrug mindestens 15 Stöcke pro Variante. Es wurde der Ertrag pro Stock und daraus der Ertrag pro 1 ha Weinberg ermittelt.

Von jeder Versuchsvariante wurden 2 mittelgroße Traubenproben (1–2 kg) genommen. Das Mostgewicht wurde mit einem Aräometer gemessen und in g/dm^3 gerechnet. Der Gesamtsäuregehalt im Most wurde durch Titration mit 0,1 N NaOH bestimmt und in g/l bezogen auf Weinsäure gerechnet (Yvanchenko et al., 2004).

Statikanalyse

Die Daten wurden unter Verwendung einer Varianzanalyse (ANOVA) verarbeitet. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten wurden mittels Duncan Test ($P \leq 0,05$) ermittelt. In den Tabellen und Diagrammen sind die Durchschnittswerte und der Standardfehler ($\pm SE$) dargestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Reberziehungssystem hatte einen Einfluss auf die Laubwandfläche. Bei einer Erhöhung der SH von 0,4 m bis 1,6 m nahm die Blattfläche (SF) von $13,52 m^2 \times 10^3/ha$ auf $7,13 m^2 \times 10^3/ha$ ab. Eine Erhöhung der SH auf 0,8 m reduzierte im Vergleich zur SH 0,4 die SF um 7,3 %, eine SH von 1,2 m – um 34,0 %, eine SH von 1,6 m – um 47,3 % (Tabelle 1).

Tabelle 1: Laubwandfläche und Wasserverbrauch für die Transpiration der Sorte 'Aromatnyi' (*Vitis vinifera* L.) bei verschiedenen Erziehungssystemen

Erziehungssystem	SF ($\text{m}^2 \times 10^3/\text{ha}$)	SFe ($\text{m}^2 \times 10^3/\text{ha}$)	IF
Kordon mit SH 0,4 m	13,5 $\pm$ 0,4 c	9,1 $\pm$ 0,4 c	0,67 $\pm$ 0,02 a
0,8 m	12,5 $\pm$ 0,6 c	8,0 $\pm$ 0,3 b	0,64 $\pm$ 0,01 a
1,2 m	8,9 $\pm$ 0,4 b	6,8 $\pm$ 0,2 ab	0,77 $\pm$ 0,02 a
1,6 m	7,1 $\pm$ 0,7 a	7,5 $\pm$ 0,3 a	1,09 $\pm$ 0,13 b

Dargestellt sind die Durchschnittswerte für den Zeitraum 2016–2020 $\pm$ SE (n=5). Laut Post hoc test nach Duncan ($p \leq 0,05$) weisen unterschiedliche Buchstaben auf signifikante Unterschiede zwischen Varianten hin.

Der SFe-Index variierte zwischen 6,82 und 9,09 $\text{m}^2 \times 10^3/\text{ha}$. Die maximalen SFe-Werte wurden bei Reberziehung mit vertikalen Trieben und SH 0,4 m festgestellt. Die Erhöhung der SH auf 0,8 m reduzierte die SFe um 12,3 %, auf 1,2 m - um 25,0 %, auf 1,6 m - um 18,0 % (Tabelle 1).

Bei Spaliererziehung entsteht eine Laubwand, die außen gut beleuchtet und innen beschattet ist. Das Oberflächenverhältnis zwischen Sonnen- und Schattenblättern bzw. die Dichte der Laubwand bei Spaliererziehung wurde durch den Blattflächeindex (LI) charakterisiert. LI-Werte im Bereich von 0,75 bis 1 sind optimal, Werte bis 0,75 charakterisieren eine verdichtete Laubwand mit einem hohen Anteil an Schattenblättern und Werte über 1 zeichnen eine spärliche Laubwand mit unzureichender Raumfüllung auf den Spalierreihen aus (Irimia and Tardea, 2006).

Die in Tabelle 1 präsentierten Daten zeigen, dass die Kordonerziehung mit vertikalwachsenden Trieben und SH von 0,4 m oder 0,8 m eine relativ dichte Laubwand auf Spalierreihen mit einem durchschnittlichen LI in Höhe von 0,64 - 0,67 bildet. Die optimale Laubwanddichte mit einem LI von 0,77 war bei SH 1,2 m gegeben. Die Erziehung mit SH 1,6 m bildete eine lichte Laubwand mit einem LI von 1,09.

Die Laubwandparameter bestimmen den Bestrahlungsbereich der Blätter in direkten, gestreuten und reflektierten kurzwelligigen Strahlungsformen und deren Absorptionsniveau. Die Sonnenenergie erwärmt die Sonnenblätter, ihre Thermoregulation erfolgt in der Folge über den Transpirationsprozess, der die Pflanzen vor Überhitzung schützt (Schulgin, 2013).

Der größte Teil der thermischen Energie der Sonnenblätter wird für die Transpiration und ein relativ kleiner Teil für den konvektiven Wärmeaustausch mit der Luft aufgewendet. Die Berechnung des Transpirationsverbrauchs erfolgt basierend auf dem Energieverbrauch für die latente Wärme der Wasserverdunstung, unabhängig vom Mechanismus seiner Umwandlung vom flüssigen in den gasförmigen Zustand. Die Berechnung ermöglicht, den potenziellen Wasserverbrauch für die Transpiration abzuschätzen, wenn es keinen Mangel an Bodenfeuchtigkeit gibt (Stirbu, 2016). Die berechneten Daten in Tabelle 1 zeigen, dass für einen Tag in der zweiten Julidekade der Wasserverbrauch für die Transpiration in Spalierreihen je nach Erziehungssystem zwischen 3,34 und 3,89 mm/ha schwankt. Der minimale Wasserverbrauch für die Transpiration wurde bei Reberziehung mit SH 1,2 m festgestellt. Die Transpiration bei einem Kordon mit SH 0,4 m oder einem Kordon mit SH 1,6 m erhöhte sich um 12,0 % bzw. 16,5 % (Abbildung 2).

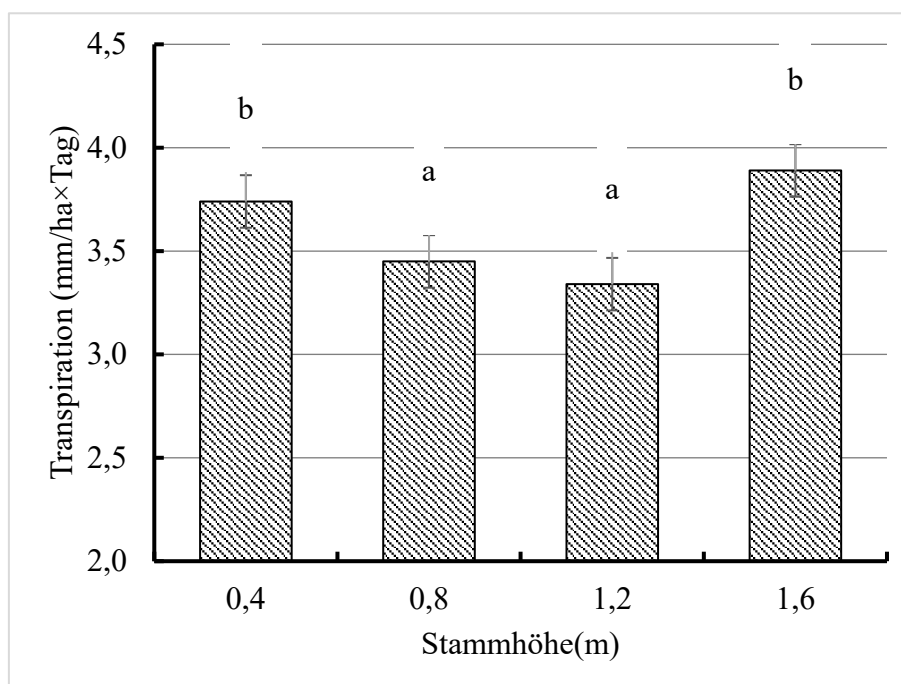


Abbildung 2. Einfluss SH bei der Rebsorte 'Aromatnyi' (*Vitis vinifera* L.) auf die Transpirationsrate. Dargestellt sind die Durchschnittswerte für den Zeitraum 2016-2020 $\pm$ SE ($n = 5$). Laut Duncans Post-hoc-Test ($p \leq 0,05$) weisen Buchstaben auf signifikante Unterschiede zwischen Varianten hin.

Die von Chlorophyllmolekülen absorbierte Energie der Sonnenlichtquanten nimmt teilweise an der Photosynthese teil, der Rest wird in Form von Wärmeableitung und Fluoreszenz abgegeben. Die Kurvenkinetik der induzierten Chlorophyllfluoreszenz (IFC) charakterisiert die primären Prozesse der Photosynthese und ist mit dem Redoxzustand des Q_A -Proteins, dem primären Elektronenakzeptor des Photosystems II (PS2), verbunden (Brajon et. al., 2000).

Das Erziehungssystem beeinflusst definitiv die Aktivität des Photosyntheseapparates der Blätter. Die Kinetik durchschnittlicher IFC-Kurven der Blätter in Abhängigkeit vom Erziehungssystem ist in Tabelle 2 dargestellt. Signifikante Unterschiede zwischen den Niveaus der relativen Fluoreszenzquantenausbeute an Punkten auf den F_0 , F_{pi} , F_p und F_t -Kurven wurden für die verschiedenen Erziehungssysteme festgestellt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Fluoreszenzniveaus der Punkte F_0 , F_{pl} , F_p und F_t auf den CFI-Kurven in den Blättern Sorte 'Aromatnyi' (*Vitis vinifera* L.) bei verschiedenen Erziehungssystemen ab der 2. Julidekade 2020

Erziehungssystem	F_0	F_{pl}	F_p	F_t
Kordon mit SH 0,4 m	0,34 ±0,01 b	0,73 ±0,01 c	1,37 ±0,02 c	0,33 ±0,01 b
0,8 m	0,34 ±0,02 b	0,62 ±0,02 b	1,23 ±0,02 b	0,33 ±0,03 b
1,2 m	0,35 ±0,01 b	0,59 ±0,01 a	1,39 ±0,07 c	0,31 ±0,01 ab
1,6 m	0,27 ±0,01 a	0,59 ±0,01 a	0,99 ±0,05 a	0,26 ±0,01 a

Dargestellt sind die Durchschnittswerte ±SE (n = 5). Laut Duncans Post-hoc-Test ($p \leq 0,05$) weisen Buchstaben auf signifikante Unterschiede zwischen Varianten hin.

Zur Beurteilung des Photosyntheseapparatzustands werden zahlreiche Indikatoren verwendet, die durch die Verhältnisse der Fluoreszenzintensität an bestimmten Punkten auf den CFI-Kurven bestimmt werden. In unserem Experiment war das Verhältnis $\frac{F_{pl}-F_0}{F_p-F_0}$ von Interesse, das den relativen Gehalt an Q_B -nicht-reduzierendem PS2 zeigt. Diese Komplexe nehmen nicht am linearen Elektronentransport teil, daher kann die Effizienz der Akkumulation von Primärprodukten der Photosynthese in Chloroplasten und die Pflanzenproduktivität von ihrer relativen Menge abhängen. Eine Erhöhung der relativen Menge an Q_B -nicht-reduzierenden PS2-Komplexen kann als Indikator für Stress und Pflanzenreaktionen auf ungünstige Umweltfaktoren wie Dürre, hohe oder niedrige Temperaturen und andere verwendet werden (Korneev, 2002).

Relativ niedrige Konzentrationen (0,44) von Q_B -nicht-reduzierenden PS2-Komplexen wurden in den Blättern bei Kordonerziehung mit SH 1,2 m nachgewiesen. Eine Verringerung der SH auf 0,8 m oder 0,4 m erhöhte das Verhältnis $\left(\frac{F_{pl}-F_0}{F_p-F_0}\right)$ um 9,1 % bzw. 29,5 %. Bei Kordonerziehung mit SH 1,6 m wurde eine Erhöhung des analysierten Indikators in den Blättern um 15,9 % beobachtet. Relativ niedrige Konzentrationen (0,44) von Q_B -nicht-reduzierenden PS2-Komplexen wurden in den Blättern bei Kordonerziehung mit SH 1,2 m nachgewiesen. Eine Verringerung der SH auf 0,8 m oder 0,4 m erhöhte das Verhältnis um 9,1 % bzw. 29,5 %. Bei Kordonerziehung mit SH 1,6 m wurde eine Erhöhung des analysierten Indikators in den Blättern um 15,9 % beobachtet.

Vom vierten bis zum achten Standjahr zeigte sich in unserem Versuch eine gewisse Beziehung zwischen dem durchschnittlichen Stockertrag

und dem Erziehungssystem. Die höchsten Erträge waren bei Kordonerziehung mit SH 1,2 m und hängenden Trieben zu beobachten, sie lagen zwischen 3,0 und 8,0 kg. Bei SH 0,8 m reduzierte sich der Stockertrag je nach den klimatischen Bedingungen des Jahres um 6,6-18,6 %, bei SH 0,4 m um 7,5-31,9 %. Der Stockertrag bei einer Stammerhöhung auf 1,6 m nahm um 18,0-56,1 % ab (Tabelle 3).

Tabelle 3: Einfluss des Erziehungssystems auf den Stockertrag der Sorte 'Aromatnyi' (*Vitis vinifera* L.) in den einzelnen Versuchsjahren.

Jahr	SH (m)			
	0,4	0,8	1,2	1,6
Stockertrag, kg				
2016	3,8 ±0,4 b	4,4 ±0,3 b	4,7 ±0,4 b	2,1 ±0,3 a
2017	3,0 ±0,4 a	4,1 ±0,5 ab	4,9 ±0,5 b	2,9 ±0,5 a
2018	4,9 ±0,3 b	5,1 ±0,3 b	5,4 ±0,4 b	3,8 ±0,3 a
2019	5,4 ±0,5 a	6,6 ±0,5 ab	8,0 ±0,9 b	4,5 ±0,6 a
2020	2,2 ±0,1 ab	2,4 ±0,2 bc	3,0 ±0,3 c	1,8 ±0,2 a

Dargestellt sind die Durchschnittswerte ±SE (n = 15). Laut Duncans Post-hoc-Test ($p \leq 0,05$) weisen Buchstaben auf signifikante Unterschiede zwischen Varianten hin.

Der Durchschnittsertrag des Erziehungssystems mit SH 1,2 m der Sorte 'Aromatnyi' konnte bei Anpassung aller Modellparameter unter halbtrockenen Bedingungen ohne Bewässerung auf 11,52 t/ha erhöht werden. Höhere oder niedrigere Stammhöhen reduzierten in unserem Versuch den Hektarertrag um 13,0-39,9 %.

Unter den Bedingungen des hier dargestellten Versuchs wurde die technologische Beerenreife der Sorte 'Aromatnyi' vom 28. August bis 7.

September beobachtet. Unter den trockeneren Bedingungen von 2019-2020 wurde ein früher Erntetermin beobachtet. Die Daten in Tabelle 4 charakterisieren die Sorte 'Aromatnyi' als Sorte mit hohem Mostgewicht (213-228 g/dm³) und niedriger titrierbarer Gesamtsäure (4,2-5,1 g/l).

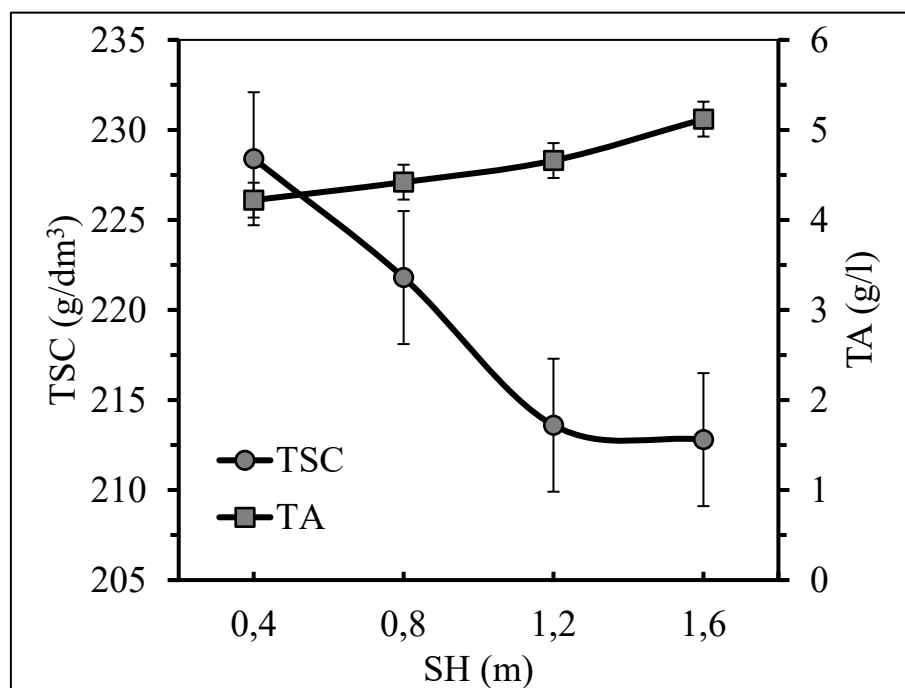


Abbildung 3. Mostgewicht (TSC) und titrierbare Gesamtsäure (TA) im Traubensaft der Rebsorte 'Aromatnyi' (*Vitis vinifera* L.) bei verschiedenen SH.

Dargestellt sind die Durchschnittswerte ±SE (n = 5).

Eine Erhöhung der SH von 0,4 m auf 1,6 m führte zu späterer Beerenreife, verringerten Mostgewichten und einer Erhöhung der titrierbaren Gesamtsäure. In Trockenstressjahren während der Beerenreife war dieser Effekt deutlicher sichtbar.

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass die Rebstöcke der Sorte 'Aromatnyi' positiv auf Maßnahmen zur Steigerung der Wassereffizienz reagieren. Unter trockenen Bedingungen war das effektivste Erziehungssystem bei der starkwüchsigen Sorte 'Aromatnyi' die Kordonerziehung mit SH 1,2 m und hängenden Trieben bei einer Pflanzdichte von 3 x 1,5 m.

Auch unsere Untersuchungen mit der mittelwüchsigen Sorte Zahrei (*Vitis vinifera* L.), die unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurden, kamen zu dem Ergebnis, dass die Kordonerziehung mit einer SH von 1,2 m

und freihängenden Trieben im Hinblick auf den Wasserverbrauch bei einer Pflanzdichte von 3 x 1,0 m optimal war. Hinsichtlich der Wassereffizienz war dieses Reberziehungssystem bei einer Pflanzdichte von 3 x 1,5 m unter halbtrockenen Bedingungen weniger effektiv (Shtirbu et al., 2022).

Hochstammerziehung mit freihängenden Trieben bildet bei optimaler Pflanzdichte eine Laubarchitektur mit einem relativ geringen Wasserverbrauch. Dieser Effekt wirkt sich positiv auf die Aktivität des photosynthetischen Apparats in Dürreperioden aus und erhöht den Ertrag und die Traubenqualität unter semiariden Bedingungen.

Literatur

Amyrdzhanov, A.H. 1980: Solar Radiation and Vineyard Productivity. Lenynhrad: Hydrometeoyzdat, 1980 (auf Russisch).

Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T. et al. 2018: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci Data* 5 (180214).
<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Bois, B., Joly, D., Quénot, H. et al. 2018: Temperature-based zoning of the Bordeaux wine region. *OENO One*. Vol. 52 (4): 291–306.
<https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.4.1580>

Braion, O. V., Korneiev, D. Iu., Snehur, O. O., Kytaiev, O. I. 2000: Instrumentelle Untersuchung des Photosyntheseapparates durch der Induktion der Chlorophyllfluoreszenz. Methodischen Leitfaden für Studierende der Biologiefakultät. Kijiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr Kyivskoho universytetu, 2000 (auf Ukrainisch).

Bucur, G., Dejeu, L. 2017: Researches on situation and trends in climate change in south part of Romania and their effects on grapevine. *Scientific Papers. Series B, Horticulture LXI*: 243–248.

Carbonneau, A. 1983: Méthodes de mesure simple de la surface foliaire exposée par hectare, élément déterminant du système de conduite de la vigne. *OENO One* 17 (4): 281–285.
<https://doi.org/10.20870/oeno-one.1983.17.4.1766>

Carbonneau, A., Monte, R., López, F., Ojeda, H. 2004: The foldable lyre: ecophysiological interest for management of light absorption and water; technological interest for mechanical harvesting. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*. 38 (1): 89–95.
<https://doi.org/10.20870/oeno-one.2004.38.1.931>

Clingeleffer, P. 2006: Management practices for Sunmuscat (*Vitis vinifera* L.): a new drying variety. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12 (2): 128–134. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2006.tb00052.x>

Colova, V., Bordallo, P., Parker, L. et al. 2007: Evaluation of yield, fruit quality and photosynthesis of two training-trellis systems and canopy management practices for Carlos and noble muscadine grapes in Florida. *Journal international des sciences de la vigne et du vin* 41

(1): 43–49. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2007.41.1.856>

Davis, R., Dimon, R., Jones, G., Bois, B. 2019: The effect of climate on Burgundy vintage quality rankings. *OENO One* 53 (1): 59–73. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.1.2359>

Deloire, A., Carbonneau, A., López, F. et al. 2004: Interaction «training system x vigour» on Merlot. Comparison between vertical trellis and minimal pruning. First results. *Journal international des sciences de la vigne et du vin* 38 (1): 59–64. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2004.38.1.933>

Deloire, A., Carbonneau, A., Wang, Z., Ojeda, H. 2004: Vine and water: a short review. *Journal international des sciences de la vigne et du vin* 38 (1): 1–13. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2004.38.1.932>

DRY, P. 2000: Canopy management for fruitfulness. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6 (2): 109–115. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00168.x>

Edwards, E., Clingeleffer, P. 2013: Interseasonal effects of regulated deficit irrigation on growth, yield, water use, berry composition and wine attributes of Cabernet Sauvignon grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19 (2): 261–276. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12027>

Gambetta, G., Kurtural, S. 2021: Global warming and wine quality: are we close to the tipping point? *OENO One* 55 (3): 353–361. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.3.4774>

Irimia, L., Tardea, C. 2006: The exposable leaf area and the leaf index, which characterize the grapevine training systems in the Averești wine-growing centre, Huși vineyard. *Agronomical Res. Moldavia* 3 (127): 41–46.

Jones, G. 2015: Grapevines in a changing environment. In: Chaves, M., Gil, H., Delrot, S. Gerós, H.: *Grapevine in a Changing Environment: A Molecular and Ecophysiological Perspective*. S. 1–17. John Wiley & Sons, Ltd., 2015

Keller, M. 2010: Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16 (1): 56–69.

Korneev, D.Iu. 2002: Informationsmöglichkeiten der Chlorophyll-Fluoreszenz-Induktion-Methode. – Kyev: Alterpres, 2002 (auf Russisch)

Leeuwen, C., Roby, J., Ollat, N. 2019: Viticulture in a changing climate: solutions exist. *IVES Technical reviews*. <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2019.2530>

Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S. et al. 2015: Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 499–517. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z>

Middleton, N., Thomas, D. 1997: *World Atlas of Desertification*. – London; New York; Sydney; Auckland: Arnold : UNEP, 1997

Minnaar, P., Jolly, N., Ntushelo, N. 2020: Effect of Grapevine Canopy Side on Selected Sensory Attributes of Pinotage and Cabernet Sauvignon Wines. *South African Journal of Enology and Viticulture* 41 (1): 44–50. <https://doi.org/10.21548/41-1-3619>

Molitor, D., Junk, J. 2019: Climate change is implicating a two-fold impact on air temperature increase in the ripening period under the conditions of the Luxembourgish grapegrowing region. *OENO One* 53 (3): 409–422. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.3.2329>

Phogat, V., Cox, J., Mallants, D. et al. 2020: Historical and future trends in evapotranspiration components and irrigation requirement of winegrapes. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 26 (4): 312–324. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12446>. POWER Data Access Viewer v2.0.0. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (2020)

Schneider, C. 1989: Introduction à l'écophysiologie viticole Application aux systèmes de conduit. *Bulletin OIV* 62 (701-702): 498–518.

Scholasch, T., Rienth, M. 2019: Review of water deficit mediated changes in vine and berry physiology; Consequences for the optimization of irrigation strategies. *OENO One* 53 (3): 423–444. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.3.2407>

Schultz, H. 2000: Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6 (1): 2–12.

Shtirbu, A. 2016: Nutzungseffizienz der Strahlungs- und Feuchtigkeitsressourcen in Ampelozonen mit unterschiedlicher Pflanzstruktur und Pflanzarchitektur. *Obst und Weinbau in Südrussland. Plodovodstvo y vynohradarstvo yuha Rossyy* 39 (03): 101–124. (auf Russisch)

Shtirbu, A., Kovaleva, I., Vlasov, V. 2022: Responses of grapevines to planting density and training systems in semiarid environments. *Agricultural Science and Practice* 9 (2): 38–50. <https://doi.org/10.15407/agrisp9.02.038>

Shulgin, I.A. 2013: Die Problemen des ökologischen Monitoring und Modellierung des Ökosystems. *Problemy ekologicheskogo monitorynga y modelirovaniya ekosistem* 25: 224–250. (auf Russisch)

Sommer, K., Islam, M., Clingeleffer, P. 2000: Light and temperature effects on shoot fruitfulness in *Vitis vinifera* L. cv. Sultana: Influence of trellis type and grafting. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6 (2): 99–108. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00167.x>

Strub, L., Stoll, M., Loose, S. 2021: The effects of low-input training systems on viticultural costs on flat terrain and steep slope sites. *OENO One* 55 (2): 415–429. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4619>

Vlasov, V., Muliukyna, N., Dzhabyria, L. et al. 2014: Ampelografischer Atlas der Rebsorten und Rebformen von Selektion Nationales Wissenschaftliches Zentrum „Institut für Weinbau und Weinherstellung von W.E. Tairov“. Kyev: Ahrarnaia nauka, 2014 (auf Russisch)

Vlasov, V., Shtirbu, A. 2016: Energy balance of ampelocoenosis at different structures of plantation and architecture of plants. *Bulletin of Agricultural Science* 94 (2): 38–1. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201602-08>

Webb, L., Watterson, I., Bhend, J. et al. 2013. Global climate analogues for winegrowing regions in future periods: projections of temperature and precipitation. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19 (3): 331–341.

Yvanchenko, V.Y., Beibulatov, M.R., Antypov, V.P. et al. 2004: Richtlinien für den agrotechnischen Forschungen im Weinbau in der Ukraine. Yalta : YVyV «Maharach», 2004 (auf Russisch)

Zarrouk, O., Costa, J., Francisco, R. et al. 2015: Drought and water management in Mediterranean vineyards. In: CHAVES M., GIL H., DELROT S Gerós H.: *Grapevine in a Changing Environment: A Molecular and Ecophysiological Perspective*. S. 38–67. John Wiley & Sons, Ltd., 2015

Zufferey, V., Verdenal, T., Dienes, A. et al. 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>