

Effetti dei trattamenti con selenio in *Olea europaea* L.

Luca Regni, Luigi Nasini, Daniela Businelli, Roberto D'Amato, Daniele Del Buono, Emma Tedeschini e Primo Proietti*

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Università di Perugia

Effects of selenium treatments in *Olea europaea* L.

Abstract. The effects of foliar treatment with selenium (Se) (50 and 150 mg l⁻¹) on the resistance of potted olive plants (cv. Maurino) to drought stress were evaluated. Gas exchange, relative water content (RWC) and fruit yield were compared on well irrigated and stressed trees. Selenium reduced the negative effects of drought stress, improving photosynthesis (Pn), leaf water content and fruit production. The decrease of Pn, in August, even in well irrigated trees, suggests that gas exchange was influenced not only by water availability but also by other environmental conditions such as temperature and air relative humidity. The low values of stomatal conductance (gs) in August and in the afternoon were associated with high values of sub-stomatal CO₂ concentration (Ci). Consequently, when the environmental stress becomes more serious the decrease of Pn is due to non-stomatal limitation. The greater water content in the leaves of stressed plants treated with Se, compared to not treated control, was not related to a reduction of the transpiration rate (E), which indeed was greater, but to stimulation of root water uptake. Even though it did not completely counteract the effect of drought, Se treatment increased yield per tree. Water stress accelerated the ripening of the fruit, which was not affected by Se.

Key words: drought stress, antioxidant, gas exchange, olive tree, fruit ripening.

Introduzione

L'olivo è una specie con elevata resistenza al deficit idrico (Ben Ahmed *et al.*, 2007; Barranco *et al.*, 2010). Le foglie tollerano un potenziale idrico molto basso (-10 MPa) (Rhizopoulou *et al.*, 1991). Per mantenere l'equilibrio tra la disponibilità e la domanda di acqua, la risposta immediata dell'albero allo stress idrico è la riduzione del tasso di traspirazione fogliare

attraverso la chiusura degli stomi (Bacelar *et al.*, 2007; Diaz-Espejo *et al.*, 2007). Questo, però, causa anche il declino della concentrazione intercellulare di CO₂ nella foglia e, conseguentemente, della fotosintesi. Il deficit idrico, quindi, causa diminuzione del tasso di crescita e della produttività della pianta e l'aumento dell'alternanza di produzione. La limitazione stomatica nel processo fotosintetico costituisce una delle maggiori limitazioni per la produttività della pianta in aree soggette a carenze idriche (Diaz-Espejo *et al.*, 2007; Barranco *et al.*, 2010). Tuttavia, nel caso di forti stress idrici si ritiene che anche limitazioni biochimiche (non stomatiche) penalizzino l'assimilazione del carbonio (Diaz-Espejo *et al.*, 2007). La limitazione nell'assimilazione di CO₂, in piante sottoposte a stress idrico, favorisce la riduzione del trasporto degli elettroni nel processo fotosintetico, con conseguente produzione di specie reattive dell'ossigeno (ROS). La produzione di ROS causa limitazioni di crescita e produzione (Bacelar *et al.*, 2007; Hasanuzzaman *et al.* 2010; Kong *et al.*, 2005). L'irrigazione contrasta gli effetti negativi dello stress idrico e può migliorare la produttività, tuttavia, occorre considerare la limitata disponibilità di acqua per l'irrigazione negli ecosistemi mediterranei (Ben Ahmed *et al.*, 2007). Un approccio per migliorare la tolleranza delle piante agli stress ambientali, fra cui lo stress idrico, è aumentare la loro capacità antiossidante per proteggere l'apparato fotosintetico dal danno ossidativo (Seppanen *et al.*, 2003). A tale proposito, recenti ricerche hanno dimostrato che l'applicazione esogena di selenio, migliorando l'attività antiossidante delle piante, può proteggerle da molti tipi di stress abiotici, incluso lo stress idrico (Hasanuzzaman *et al.*, 2010; Valadabadi *et al.*, 2010; Djanaguiraman *et al.*, 2010; Hartikainen *et al.*, 2000). Sembra che il ruolo protettivo del Se non sia limitato solamente all'attività antiossidante, ma potrebbe essere esteso a vari processi fisiologici, primariamente, alla regolazione dello stato idrico delle piante (Kuznetsov *et al.*, 2003; Tadina *et al.*, 2007). In particolare, esistono alcuni studi su specie erbacee, mentre non si hanno conoscenze per le specie arboree. Nel grano saraceno, con

* primo.proietti@unipg.it

piante in stress idrico, il trattamento con Se ha aumentato la conduttanza stomatica e l'efficienza fotochimica del PSII, probabilmente grazie al miglioramento d'uso della dell'acqua da parte della pianta (Tadina *et al.*, 2007). Yao *et al.* (2009) hanno osservato che l'apporto di Se ha aumentato la crescita di piantine di frumento in condizioni di stress idrico. Le conoscenze sull'effetto del Se esogeno sugli alberi in condizioni di stress idrico sono molto limitate (Proietti *et al.*, 2013).

Lo scopo della presente sperimentazione è stato di valutare l'effetto benefico, sulla fotosintesi netta (P_n) e sulla produzione dei frutti, di trattamenti fogliari a base di Se, somministrati ad alberi di olivo allevati in vaso e soggetti a stress idrico.

Materiali e metodi

Parametri ambientali del sito, regimi di irrigazione e trattamenti con Se

La ricerca è stata condotta nel 2012 a Perugia (400 m s.l.m., 43°5' N, 12°23' E). Le piogge sono risultate di 187 mm da marzo a maggio, 61 mm da giugno ad agosto e 139 mm da settembre a novembre. Il mese con minore pioggia è stato agosto (0,4 mm). La media più elevata delle temperature massime giornaliere è stata rilevata in agosto (33,6 °C), mentre la più bassa in novembre (15,7 °C) (fig. 1).

Sono state utilizzate piante di olivo della cultivar Maurino, di sei anni di età, allevate a vaso in contenitori da 50 l, disposti in filari (orientati Nord-Sud) distanziati tra loro 2,0 m con piante sulla fila ogni 1,5 m. Gli alberi, potati annualmente, presentavano un'altezza di circa 2 metri e una chioma di 1 m di diametro e 0,9 m di altezza. Il terreno nel contenitore era di media tessitura, aveva un pH di 7,7 e una concentrazione di nutrienti (in mg kg⁻¹) di: N 2000, P assimilabile 55, K scambiabile 190 e Se 0,1. Ciascun olivo è stato concimato ogni anno a metà aprile con il fertilizzante a rilascio controllato Osmocote ("Scott Italia"

16:8:12 N:P:K) alla dose di 100 g per ogni vaso. Dalla metà di maggio fino alla metà di settembre 2011, gli alberi sono stati irrigati giornalmente al mattino usando delle linee gocciolatrici (due gocciolatori per vaso, ciascuno con una portata di 4 l h⁻¹). Sono stati applicati due trattamenti di irrigazione per mantenere il contenuto idrico nel substrato a circa il 24% (piante regolarmente irrigate denominate "WI") e a circa il 15% (piante in stress idrico denominate "WS") sul peso secco (corrispondente rispettivamente all'80% e al 25% dell'acqua disponibile nel substrato). Per ciascun regime di irrigazione sono state utilizzate 27 piante di olivo. I contenitori sono stati ricoperti da fogli di alluminio per prevenire un eccessivo riscaldamento e l'apporto di acqua piovana.

All'inizio di luglio e settembre, alle 9:00 del mattino, su entrambe le tesi WI e WS sono stati effettuati i trattamenti fogliari con Se (sotto forma di selenato di sodio) alle seguenti dosi: 0 (controllo irrorato con acqua pura), 50 e 150 mg Se l⁻¹.

Il selenato di sodio (Sigma-Aldrich cod. S0882-25g) è stato diluito in acqua pura e addizionato con lo 0,5% di un agente bagnante "Albamilagro".

Complessivamente, quindi, i trattamenti sono consistiti in due regimi di irrigazione (80% e 25% dell'acqua disponibile nel substrato) e tre dosi di Se (0, 50 e 150 mg l⁻¹). Ciascun trattamento è stato somministrato a 9 alberi, di cui i 7 centrali sono stati utilizzati come ripetizioni.

Lo stato idrico della foglia

A metà di luglio e alla fine di agosto e settembre, sei foglie dell'anno in corso completamente espanse e sei foglie dell'anno precedente sono state distaccate, poste in una busta di plastica e subito portate in laboratorio per determinare lo stato idrico della foglia mediante la determinazione del *Relative Water Content* (RWC), utilizzando il metodo descritto da Smart e Bingham (1974). I dati relativi alle due tipologie di foglie sia per l'RWC che per gli scambi gassosi, sono stati poi mediati, non essendo state riscontrate differenze imputabili ai trattamenti con Se e rappresentando ciascuna tipologia circa il 50% del totale complessivo delle foglie di una pianta. .

Fotosintesi netta (P_n), conduttanza stomatica (g_s), traspirazione (E) e concentrazione sub-stomatica di CO_2 (C_i) nella foglia e respirazione al buio (R_d)

P_n , g_s , E , e C_i sono stati determinati in giorni senza nuvole. Le foglie dell'anno in corso e dell'anno precedente sono state prese casualmente da varie porzioni della chioma. Le misurazioni sono state fatte periodicamente dalla metà di luglio all'inizio di

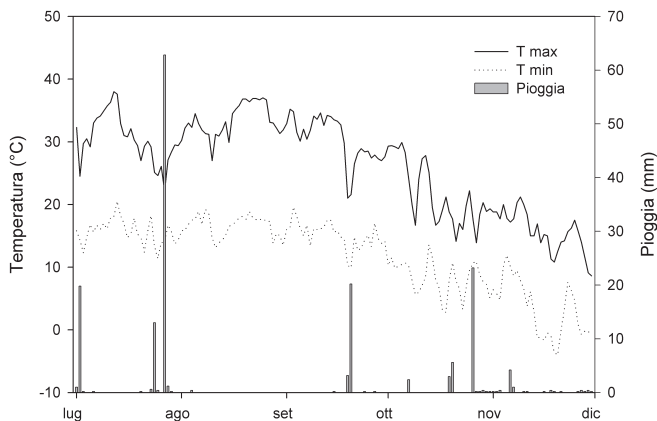


Fig. 1 - Dati climatici nel periodo della sperimentazione.

Fig. 1 - Climatic data for the period of the trial.

novembre, al mattino (dalle 9:00 alle 10:30), esponendo le foglie alla piena luce solare. Il flusso fotonico fotosinteticamente attivo (PPFD) è stato sempre superiore a $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valore maggiore al punto di saturazione luminosa nell'olivo (Proietti *et al.*, 2012). In luglio, agosto e settembre sono stati determinati anche gli scambi gassosi giornalieri della foglia, effettuando i rilievi al mattino (9:00-10:30), a mezzogiorno (12:00-13:30) e nel pomeriggio (16:30-18:00). Il PPFD è variato tra 1.350-1.600 al mattino, 1.500-1.900 a mezzogiorno e 1.320-1.600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ nel pomeriggio. Nella terza decade di agosto, è stato determinato anche il tasso di respirazione al buio giornaliero. Gli scambi gassosi delle foglie sono stati misurati usando l'apparecchiatura portatile IRGA (ADC-LCA-3, Analytical Development, Hoddesdon, UK), esponendo le foglie perpendicolarmente ai raggi del sole. I parametri Pn, Rd, gs e E sono stati riferiti all'area fogliare.

Produzione e indici di maturazione

La produzione per albero è stata determinata il 7 di novembre, pesando immediatamente le olive per ciascuna pianta dopo la raccolta, quindi su 50 frutti per pianta, selezionati casualmente a diverse altezze, sono stati rilevati anche gli indici di maturazione: resistenza al distacco (con dinamometro "Carpo"), durezza dell'esocarpo e del mesocarpo (con dinamometro "Effe.gi" DT05), indice di colore (Uceda e Hermoso, 1998), peso fresco e secco unitario dei frutti, rapporto polpa/nocciolo (in termini di peso fresco) e contenuto in olio.

Il contenuto in olio delle olive è stato determinato utilizzando l'apparecchio "SpectraAlyzer ZEUTEC" con la tecnica della spettroscopia dell'infrarosso vicino NIR (Near Infra Red).

Analisi statistica

I dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza e quando l'effetto del trattamento è risultato significativo, le medie sono state separate con lo Student-Newman-Keuls test ($P < 0,05$). Le combinazioni dei livelli dei due fattori sperimentali (stato idrico e dose di Se) sono state considerate come livelli di un disegno completamente randomizzato a una via.

Risultati

In media, la concentrazione fogliare di Se è risultata statisticamente diversa tra le piante trattate con Se e quelle non trattate e pari a 26,0, 36,0 e 13 $\mu\text{g kg}^{-1}$, per le piante trattate con 50 e 150 mg l^{-1} e controllo, rispettivamente.

Lo stato idrico della foglia

L'RWC, in luglio, agosto e settembre, al mattino intorno alle 9:30, è variato da 86,1% a 77,0% in WI - 0 Se e da 64,4% a 52,2% in WS - 0 Se. A mezzogiorno e nel pomeriggio i valori tendevano a rimanere stabili o a diminuire leggermente in WI - 0 Se, mentre diminuivano significativamente in WS - 0 Se (dati non mostrati). I trattamenti con Se non hanno influenzato l'RWC in WI, mentre in WS i valori di RWC sono significativamente aumentati.

Pn, Rd, gs, E e Ci

WI ha mostrato una Pn più alta che WS. I trattamenti con Se hanno sempre aumentato la Pn, tuttavia l'effetto è risultato più evidente in WS che in WI (in WI il trattamento con 150 mg Se l^{-1} è stato più efficace di quello con 50 mg l^{-1}). In tutte le tesi alla fine di agosto sono stati riscontrati alti valori di Pn, in corrispondenza di temperature massime giornaliere molto alte (circa 35 °C), mentre alti valori di Pn sono stati riscontrati a settembre e ottobre, quando le temperature massime giornaliere erano di circa 28 °C e 19 °C, rispettivamente (fig. 2).

Le misurazioni di Pn, rilevate a metà luglio, alla terza decade di agosto e alla fine di settembre, hanno mostrato che durante il giorno WI aveva sempre valori superiori a WS. Alti valori di Pn, per entrambi WI e WS, sono stati osservati al mattino (intorno alle 9:30) e successivamente, probabilmente per l'aumento di temperatura, sono stati registrati bassi valori di Pn intorno alle 12:30 e alle 18:00. Il trattamento con Se ha avuto un piccolo effetto in WI, mentre in WS ha contenuto il decremento di Pn nel pomeriggio e a mezzogiorno (fig. 3).

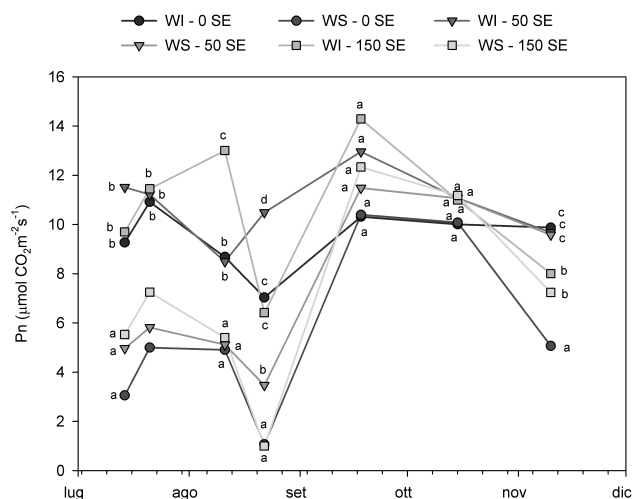


Fig. 2 - Effetto dello stato idrico del terreno e del trattamento con Se sulla fotosintesi netta (Pn) nel corso della sperimentazione.

Fig. 2 - Seasonal pattern of leaf net photosynthesis (Pn).

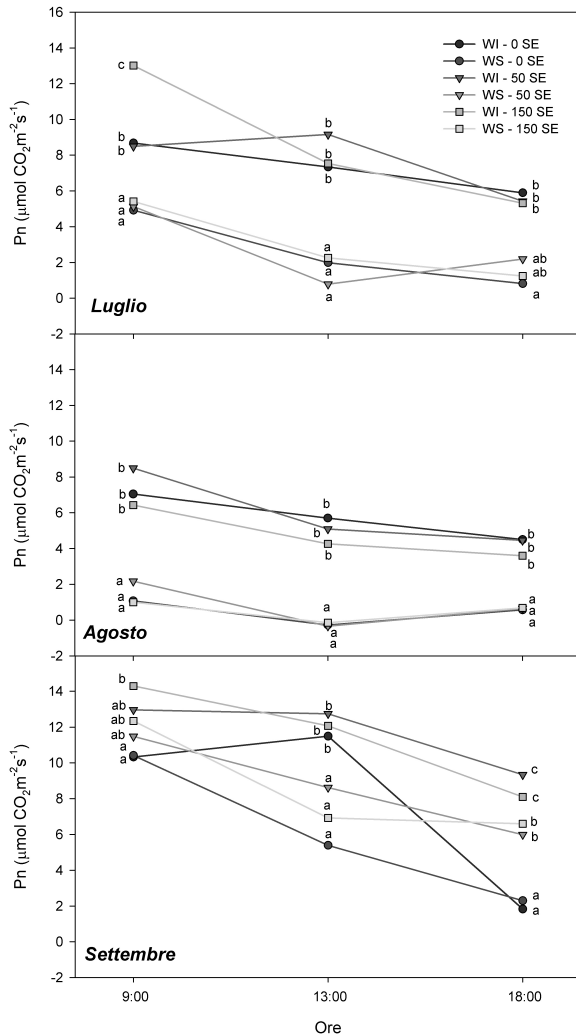


Fig. 3 - Andamento giornaliero della fotosintesi netta (Pn) in luglio, agosto, settembre.
 Fig. 3 - Daily pattern of leaf net photosynthesis (Pn) in July, August, September.

Generalmente, WI ha mostrato valori di Rd più bassi di WS, indipendentemente dal trattamento con Se. Rd era alto sia a mezzogiorno che nel pomeriggio. In piante WS trattate con Se l'Rd, in diverse epoche di rilievo, era più basso che negli alberi non trattati. In piante WI-150Se l'Rd durante tutto il giorno è risultato più basso rispetto a piante WS-150Se e sia a mezzogiorno sia nel pomeriggio è risultato più alto rispetto alle piante WI-0Se. (fig. 4).

In tutti i trattamenti, durante il periodo sperimentale, valori bassi di gs sono stati osservati nella terza decade di agosto quando anche la Pn aveva i valori bassi. Alti valori di gs per le piante WI sono stati osservati a luglio, mentre per WS alla fine di settembre, quando anche il Pn era a valori alti. In WS il gs è risultato significativamente più basso che in WI. Il trattamento con Se a 150 mg l⁻¹, in WI ma soprattutto in WS, ha aumentato significativamente il gs. Il trattamento con Se a 50 mg l⁻¹ ha indotto questo effetto solo

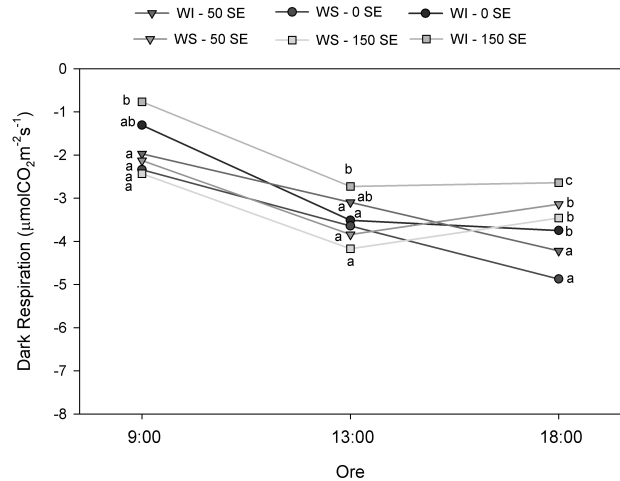


Fig. 4 - Andamento giornaliero della respirazione al buio (Rd) in agosto.

Fig. 4 - Daily pattern of dark respiration (Rd) in August.

a settembre e a novembre, mentre nessun effetto è stato osservato negli altri periodi considerati (fig. 5).

Il decremento in gs in generale è stato accompagnato da un incremento in Ci, tuttavia con differente intensità nelle differenti date. Solo nella seconda decade di agosto è stato osservato un decremento sia della gs sia della Ci (fig. 6).

In agosto, la E è risultata più alta in WI che in WS, mentre le differenze sono state modeste in luglio e assenti in settembre e novembre. In generale le differenze tra i valori di E in WI e in WS erano più basse di quelle osservate per la Pn. Sia in WI sia in WS, probabilmente per via delle alte temperature massime giornaliere, alti valori di E sono stati osservati nella seconda decade di agosto; poi sono diminuiti considerevolmente in settembre, ottobre e novembre quando, invece, Pn e gs erano ad alti livelli (fig. 7).

Dalla terza decade di luglio alla seconda decade di

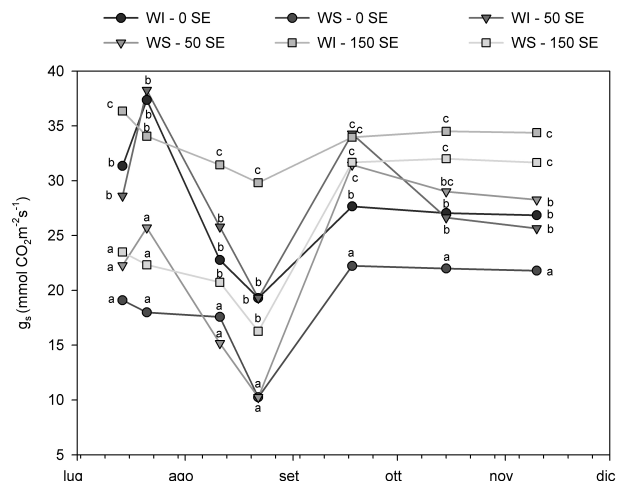


Fig. 5 - Andamento stagionale della conduttanza stomatica (gs).
 Fig. 5 - Seasonal pattern of stomatal conductance (gs).

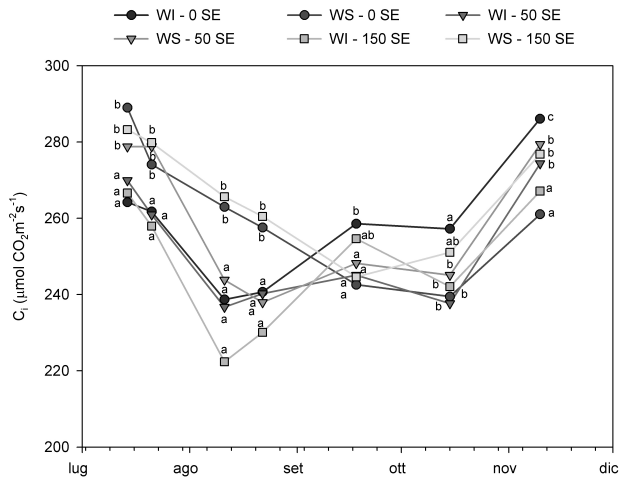


Fig. 6 - Andamento stagionale della concentrazione sub-stomatica di CO₂ (C_i).

Fig. 6 - Seasonal pattern of sub-stomatical CO₂ concentration (C_i).

agosto, malgrado l'aumento in E, la gs non è aumentata, pur rimanendo relativamente alta, seguendo l'andamento della Pn. È quindi emerso che bassi livelli di E sono risultati compatibili con alti valori di gs e viceversa. In WS, i trattamenti con Se a 50 mg l⁻¹ e soprattutto a 150 mg l⁻¹ hanno aumentato l'E in luglio e in agosto. L'effetto è risultato evidente tutto il giorno (fig. 8). Durante il giorno gs e E sono risultati bassi a mezzogiorno e soprattutto nel pomeriggio, particolarmente in WS. La C_i è aumentata, ma non sempre, dal mattino al pomeriggio, soprattutto in WS (fig. 8).

Produzione per albero e indici di maturazione

In generale, come prevedibile, la produzione per albero è risultata più alta (+27%) in WI che in WS. In WS, i trattamenti con Se, anche se non hanno contrastato completamente l'effetto dello stress idrico, hanno aumentato la produzione per albero del 5% e

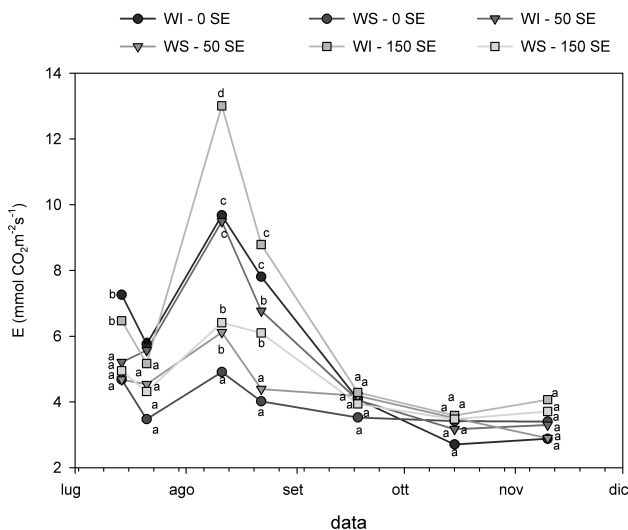


Fig. 7 - Andamento stagionale del tasso di traspirazione fogliare (E).

Fig. 7 - Seasonal pattern of leaf transpiration rate (E).

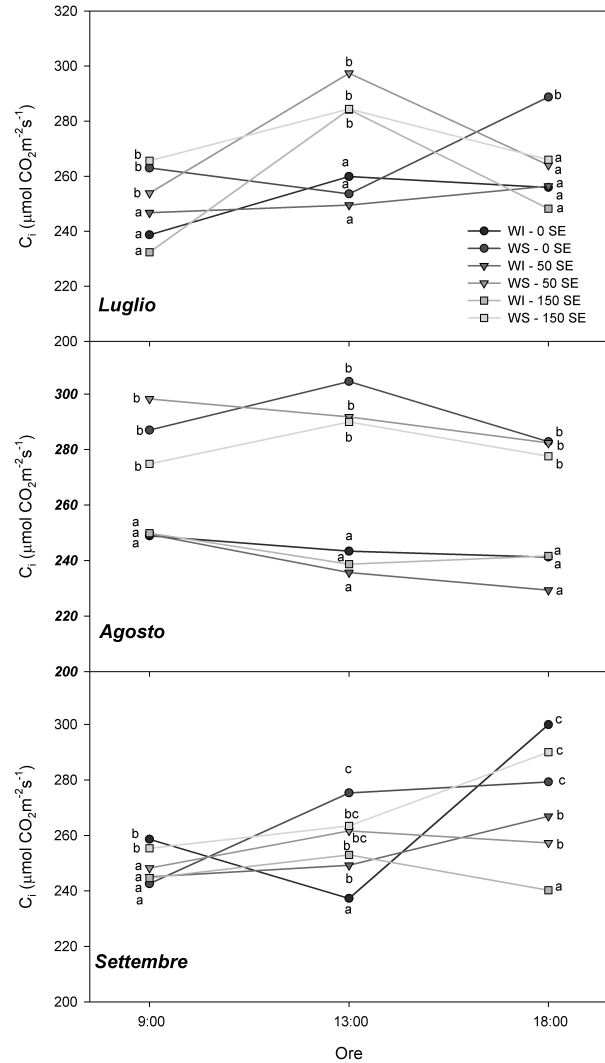


Fig. 8 - Andamento giornaliero della concentrazione sub-stomatica di CO₂ (C_i) nei mesi di luglio, agosto, settembre.

Fig. 8 - Daily pattern of sub-stomatical CO₂ concentration (C_i) in July, August and September.

9%, rispettivamente in WS - 50 Se e WS - 150 Se; in WI la produzione non è stata differente fra piante trattate con Se e quelle non trattate. L'aumento della produzione delle piante WI in confronto a quelle WS e di quelle WS trattate con Se rispetto a quelle non trattate è stato determinato dall'aumento del peso fresco dei frutti. Nessuna differenza tra i trattamenti è stata evidenziata in merito al numero di frutti per nodo (dati non mostrati); questo indica che i trattamenti non hanno influenzato la cascola dei frutti, che, in effetti, è risultata assente in tutti gli alberi considerati. Senza differenze dovute ai trattamenti con Se, la percentuale di acqua nei frutti alla raccolta è risultata più alta in WI che in WS. Comunque le differenze non sono state molto alte (contenuto idrico di circa il 60% in WI e 55% in WS). Il contenuto % in olio non è risultato statisticamente diverso tra le piante trattate e quelle non trattate. In WI alla raccolta i frutti hanno

presentato una minore pigmentazione e una maggiore forza di distacco e durezza della polpa. Non sono state riscontrate differenze significative imputabili ai trattamenti con Se.

Discussione

I regimi di irrigazione e i trattamenti con Se hanno significativamente influenzato lo stato idrico dell'olivo, gli scambi gassosi della foglia e la produzione di frutti in piante di olivo della cultivar Maurino di sei anni di età allevate in contenitore. Come atteso, WI ha sempre avuto una maggiore Pn in confronto al WS. La diminuzione in agosto della Pn anche in WI suggerisce che gli scambi gassosi sono influenzati non solo dalla disponibilità di acqua, ma anche da altre condizioni ambientali, come la temperatura e l'umidità relativa dell'aria. Ben Ahmed *et al.* (2007) hanno concluso che la forte diminuzione di Pn potrebbe essere collegata ad una fase di riposo, cioè a una riduzione dell'attività albero, in cui entrerebbe l'olivo quando le temperature sono molto alte, come meccanismo di sopravvivenza. Conseguentemente, l'apporto di acqua durante la stagione calda e secca può essere insufficiente a indurre la massima attività fotosintetica se altri fattori ambientali non sono favorevoli. Per tutti i trattamenti durante il periodo estivo la riduzione della Pn è stata associata alla diminuzione della gs e questo conferma i risultati ottenuti da Ben Ahmed *et al.* (2007), Moriana *et al.* (2002) e Proietti *et al.* (2012), i quali hanno notato che l'albero di olivo gradualmente chiude i suoi stomi per ridurre la perdita di acqua per traspirazione. Infatti, in WS la gs era significativamente più bassa che in WI. Gli andamenti diurni di gs e Pn, in WI o WS, seguivano il tipico schema descritto da Bacelar *et al.* (2007) e Proietti *et al.* (2012) con i valori massimi durante il mattino. Poiché i bassi valori di gs in agosto e nel pomeriggio sono risultati associati ad alti valori di Ci, è possibile affermare che, come è riportato da Angelopoulos *et al.* (1996), Bacelar *et al.* (2007) e Proietti *et al.* (2012), quando le condizioni ambientali diventano più stressanti la limitazione della Pn non è causata primariamente dalla bassa gs, ma piuttosto da effetti non-stomatici. Secondo Angelopoulos *et al.* (1996), una più bassa Pn nell'estate può essere il risultato di danni al fotosistema indotti da alte temperature e stress idrico. Le alte temperature potrebbero essere coinvolte nella diminuzione della Pn durante la stagione calda e durante il giorno, anche attraverso l'aumento dei valori di Rd. È possibile supporre che l'incremento in Ci, dovuto alla riduzione in Pn, causi la chiusura stomatica, con una conseguente diminuzione in gs. In generale, l'applica-

zione di Se a 50 mg l⁻¹ e soprattutto a 150 mg l⁻¹ ha aumentato significativamente la Pn, la gs e la E in confronto agli alberi non trattati. Gli effetti dei trattamenti con Se sugli scambi gassosi sono risultati meno marcati in condizioni di WI che in WS. Il Se, quindi, come dimostrato per alcune specie erbacee (Hartikainen *et al.*, 2000; Qiang-yun, 2008), può avere un effetto positivo anche nell'olivo in condizioni di stress. Considerando che in piante WS trattate con Se, sia il RWC sia la E sono aumentati significativamente si può dedurre che in condizioni di stress idrico il Se garantisce un miglior contenuto idrico nelle foglie senza decrementi nel tasso di traspirazione, aumentando così la resistenza allo stress idrico degli alberi. L'effetto del Se sul RWC è risultato meno evidente o assente con un ottimale apporto irriguo. Pertanto, in accordo con quanto dimostrato da Kuznetsov *et al.* (2003) e Yao *et al.* (2009) per il frumento e Tadina *et al.* (2007) per il grano saraceno, sembra che anche per l'olivo un effetto protettivo del Se in condizioni di stress idrico sia connesso a un più attivo assorbimento di acqua dal terreno (come risultato della stimolazione delle radici all'assorbimento di acqua) piuttosto che a una diminuzione della perdita di acqua attraverso la riduzione della E. Come risultato dell'effetto protettivo, i trattamenti con Se, anche se non contrastano completamente l'effetto dello stress idrico, aumentano la produzione per albero, promovendo l'accumulo di biomassa di frutti in condizioni di stress.

Conclusioni

In conclusione, i risultati indicano che in condizioni di stress idrico l'applicazione fogliare di Se può aumentare la Pn e la produzione per albero nell'olivo, anche regolando lo stato idrico delle piante. In condizioni di stress idrico, il più alto contenuto idrico fogliare indotto dal Se non è determinato dall'inibizione di E, che anzi risulta più alta che nelle piante non trattate con Se, ma presumibilmente dalla stimolazione dell'assorbimento radicale. Conseguentemente, l'applicazione di Se può essere usata per migliorare la resistenza allo stress idrico nella pianta di olivo.

Si ritiene che questi siano fra le prime evidenze in merito all'effetto protettivo del Se nell'olivo e più in generale nelle specie arboree (Proietti *et al.*, 2013). Ulteriori ricerche sono necessarie per comprendere completamente quali siano i meccanismi di azione del Se e anche per definire le modalità ottimali per la sua applicazione. Inoltre, ulteriori indagini sarebbero necessarie per studiare gli effetti del Se anche in altre cultivar di olivo e in piante adulte.

Riassunto

Sono stati valutati gli effetti di trattamenti fogliari con selenio (Se) sulla resistenza allo stress idrico di piante di olivo (cv. Maurino) allevate in contenitore. Il Se ha ridotto gli effetti negativi dello stress idrico, migliorando la fotosintesi, il contenuto idrico fogliare e la produzione di frutti. Il maggior contenuto in acqua nelle foglie delle piante stressate trattate con Se, rispetto a quello delle piante stressate non trattate, non è risultato connesso a una riduzione della traspirazione, che anzi è risultata maggiore. Lo stress idrico ha accelerato la maturazione dei frutti, che invece non è stata influenzata dal Se.

Parole chiave: stress idrico, antiossidante, scambi gassosi, olivo, maturazione dei frutti.

Bibliografia

- ANGELOPOULOS K., DICHIO B., XILOYANNIS C., 1996. *Inhibition of photosynthesis in olive trees (Olea europaea L.) during water stress and rewatering*. J. Exp. Bot., 47: 1093-1100.
- BACELAR E.A., SANTOS D.L., MOUTINHO-PEREIRA J.M., LOPES J.I., GONÇALVES B.C., FERREIRA T.C., CORREIA C.M., 2007. *Physiological behaviour, oxidative damage and antioxidative protection of olive trees grown under different irrigation regimes*. Plant Soil, 292: 1-12.
- BARRANCO D., FERNANDEZ-ESCOBAR R., RALLO L., 2010. *Olive Growing. Mundi-Prensa- Junta de Andalucía*. Australian Olive Association Ltd., pp.756.
- BEN AHMED C., BEN ROUINA B., BOUKHRIS M., 2007. *Effects of water deficit on olive trees cv. Chemlali under field conditions in arid region in Tunisia*. Scientia Hort., 113: 267-277.
- DIAZ-ESPEJO A., NICOLÁS E., FERNÁNDEZ J.E., 2007. *Seasonal evolution of diffusional limitations and photosynthetic capacity in olive under drought*. Plant, Cell Environ., 30: 922-933.
- DJANAGUIRAMAN M., PRASAD P.V.V., SEPPANEN M., 2010. *Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system*. Plant Physiol. Biochem., 48: 999-1007.
- HARTIKAINEN H., XUE T., PIIRONEN V., 2000. *Selenium as an antioxidant and pro-oxidant in ryegrass*. Plant Soil, 225: 193-200.
- HASANUZZAMAN M., HOSSAIN M.A., FUJITA M., 2010. *Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance*. Journal of Plant Sciences, 5: 354-375.
- KONG L.G., WANG M., BI D.L., 2005. *Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress*. Plant Growth Regul. 45:155-163.
- KUZNETSOV VAS.V., KHOLODOVA V.P., KUZNETSOV V.V., YAGODIN B.A., 2003. *Selenium regulates the water status of plants exposed to drought*. Doklady Biological Sciences, 390: 266-268.
- MORIANA A., VILLALOBOS F.J., FERERES E., 2002. *Stomatal and photosynthetic responses of olive (Olea europaea L.) leaves to water deficit*. Plant Cell Environ. 25: 395-405.
- PROIETTI P., NASINI L., DEL BUONO D., D'AMATO R., TEDESCHINI E., BUSINELLI D., 2013. *Selenium protects olive (Olea europaea L.) from drought stress*. Scientia Hort., 164: 165-171.
- PROIETTI P., NASINI L., ILARIONI L., 2012. *Photosynthetic behavior of Spanish Arbequina and Italian Maurino olive (Olea europaea L.) cultivars under super-intensive grove conditions*. Photosynthetica, 50 (2): 239-246.
- QIANG-YUN S., TURAKAINEN M., SEPPÄNEN M., MÄKELÄ P., 2008. *Effects of selenium on maize ovary development at pollination stage under water deficits*. Agricultural Sciences in China, 7(11): 1298-1307.
- RHIZOPOULOU S., MELETIOU-CHRISTOU M.S., DIAMANTOGLOU S., 1991. *Water relations for sun and shade leaves of four mediterranean evergreen sclerophylls*. J. Exp. Bot. 42, 627-635.
- SEPPÄNEN M., TURAKAINEN M., HARTIKAINEN H., 2003. *Selenium effects on oxidative stress in potato*. Plant Science 165: 311-319.
- SMART R.E., BINGHAM G.E., 1974. *Rapid estimates of relative water content*. Plant Physiology, 53: 258-260.
- TADINA N.M., KREFT G.I., BREZNIK B., GABERSCIK A., 2007. *Effects of water deficit and selenium on common buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench.) plants*. Photosynthetica, 45: 472-476.
- UCEDA M, HERMOSO M. 1998. *La calidad del aceite de oliva*. In: D. Barranco, R. Fernandez-Escobar, L. Rallo (Eds.), El Cultivo del Olivo, Junta de Andalucía Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Spain, 547-572.
- VALADABADI S.A., SHIRANIRAD A.H., FARAHANI H.A., 2010. *Ecophysiological influences of zeolite and selenium on water deficit stress tolerance in different rapeseed Cultivars*. J. Ecol. Nat. Environ. 2: 154-159.
- YAO X., CHU J., WANG G., 2009. *Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress*. Biol. Trace Elem. Res., 130: 283-290.