

Influenza della colonizzazione con micorrize sulla produttività e sul contenuto fenolico di alcuni genotipi campani di carciofo

Giuseppe Rofrano, Gianluca Francese, Antonietta D'Alessandro, Rosa Pepe, Nikita Trotta, Teodoro Cardi e Giuseppe Mennella*

Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per l'Orticoltura (CRA-ORT), Pontecagnano-Faiano (SA)

Mycorrhizal symbiosis influence on flower heads yield and phenolic content in six artichoke genotypes from Campania region

Abstract. The aim of the present study was the evaluation of the mycorrhizal symbiosis influence on flower heads yield and phenolic content in six artichoke genotypes, namely C3, Tondo di Paestum, Rosso di Paestum, C3 Zar, C3 Sms and C3 Sole. The effectiveness of colonization with arbuscular mycorrhizal fungi was investigated through field experiments with artichoke plants, derived from either *in vitro* culture or vegetative propagation (by rooted offshoots), inoculated with a commercial formulation (Micosat) or with an experimental one. This latter formulation contained spores and mycelium of *Glomus viscosum* Nicolson species, previously used on early artichoke cultivars. The results obtained from such a biennial study evidenced that the effect on total phenolic and cynarin content depend on the arbuscular mycorrhizal fungi species employed for the artichoke plant inoculation as well as on genotype chosen and vegetative material origin. As regards total phenols content, the mycorrhizal inoculation with the commercial formulation determined a significant increase with respect to non-mycorrhizal sample in the following genotypes: C3, C3 Sms and C3 Sole; while a significant decrease was evidenced in C3 Zar genotype. The mycorrhizal inoculation with *Glomus viscosum* Nicolson only determined a significant increase in C3 genotype derived from *in vitro* culture. The cynarin content in the mycorrhizal inoculation with the commercial formulation was significantly higher than the one of non-mycorrhizal sample in C3, Tondo di Paestum, C3 Sms and C3 Sole genotypes derived from *in vitro* culture. The same behavior was detected in C3 and Rosso di Paestum genotypes derived from rooted offshoots, whereas a significant reduction was evidenced in C3 Zar. The mycorrhizal inoculation with *Glomus viscosum* Nicolson determined a significant increase in C3 and Rosso di Paestum *in vitro* derived

genotypes as well as in C3 rooted offshoots derived genotype. The flower heads mean weight per plant in the mycorrhizal inoculated plants was significantly lower than in non-mycorrhizal plants in C3 Zar and C3 Sole genotypes; instead, all the other inoculated genotypes, derived from either *in vitro* culture or rooted offshoots, did not show any significant difference compared to the respective non-mycorrhizal sample. The best productive and qualitative performances have been evidenced in C3 globe artichoke genotype, derived from both *in vitro* culture and rooted offshoots, either subsequent to the mycorrhizal inoculation with the commercial formulation or with *Glomus viscosum* Nicolson. Our results show that mycorrhizal inoculation may represent an efficient and sustainable strategy to improve productivity and enhance plant biosynthesis of secondary metabolites with health promoting activities.

Key words: arbuscular mycorrhizal, *Glomus viscosum* Nicolson, flower heads, total phenols, cynarin.

Introduzione

Il carciofo è allevato su una superficie mondiale pari a 120.000 ha (FAOSTAT, 2009; <http://faostat.fao.org>) di cui solo l'Italia rappresenta oltre il 42%.

Nel 2012 la superficie territoriale campana destinata alla coltivazione del carciofo è stata di 1.895 ettari, su cui è stata registrata una produzione, alla raccolta, di oltre 319.000 quintali. La provincia che copre quasi l'intera superficie cinaricola regionale (82%) è Salerno, con una produzione di 255.000 quintali. Nel salernitano, la coltivazione del carciofo è concentrata nella Piana del Sele, dove viene coltivato, in particolare, un ecotipo tardivo della tipologia 'Romanesco' denominato 'Tondo di Paestum' o 'Carciofo di Paestum'. Tale ecotipo, quando propagato tramite carducci, è inserito nel disciplinare di produzione a marchio UE "Carciofo di Paestum IGP".

Il carciofo è una specie caratterizzata da un'elevata eterogeneità delle cultivar con popolazioni costituite da mescolanze di cloni. A causa dell'elevata eterozio-

* giuseppe.mennella@entecra.it

gosi, una grande variabilità morfologica e biologica si manifesta nelle discendenze propagate per seme. Per questo motivo, si fa ricorso alla propagazione vegetativa e l'impianto viene effettuato tramite carducci, ovoli e parti di ceppaia, prelevati in campi destinati alla produzione di capolini. Tale tecnica, ampiamente utilizzata dagli agricoltori, presenta notevoli svantaggi sia di ordine fitosanitario sia di scarsa conoscenza del materiale di provenienza (Morone-Fortunato *et al.*, 2006). Per cercare di risolvere tali inconvenienti, sono state messe a punto metodologie di moltiplicazione *in vitro* (Ancora, 1986; Ancora e Saccardo, 1987) che hanno consentito la moltiplicazione e la distribuzione agli agricoltori di cloni di carciofo delle tipologie tardive. Per il carciofo, la prima attività vivaistica nasce proprio con l'utilizzo di piantine micropropagate ed è, tutt'oggi, una realtà che ha consentito la moltiplicazione e la distribuzione agli agricoltori di cloni di diverse cultivar. Prova ne è la costituzione di cloni di carciofo "Romanesco" quali il C3.

Per quanto riguarda gli aspetti fitosanitari, un mezzo utile, efficace ed eco-compatibile è l'impiego delle micorrize. Infatti, il carciofo, come molte altre specie coltivate, è in grado di formare micorrize arbuscolari, ovvero particolari simbiosi mutualistiche tra alcuni funghi presenti nel terreno e le radici delle piante. Gli effetti benefici delle micorrize sulla crescita delle piante sono dovuti soprattutto ad una maggiore possibilità delle piante di assorbire dal suolo nutrienti come il fosfato (Giovannetti, 1990; Fortuna *et al.*, 1992; Gribaudo *et al.*, 1996). Nelle interazioni pianta-patogeno, inoltre, le micorrize arbuscolari notoriamente inducono l'attivazione di meccanismi di difesa delle piante incrementandone la resistenza o tolleranza ai patogeni.

Anche il materiale comunemente usato per la propagazione vegetativa del carciofo (carducci), può essere inoculato in fase di radicazione (Gianinazzi *et al.*, 1990; Giovannetti e Avio, 2002). Alcuni autori hanno riportato che l'inoculazione di carciofo con micorrize del genere *Glomus* può rappresentare una strategia efficiente e sostenibile per migliorarne la produttività e i contenuti in metaboliti secondari a valenza nutraceutica e salutistica (Morone-Fortunato *et al.*, 2005; Ceccarelli *et al.*, 2010). Il valore qualitativo delle sostanze polifenoliche del capolino e la loro importante attività antiossidante è stata studiata da diversi autori (Kraft, 1997; Gebhardt, 1997; Wang *et al.*, 2003; Curadi *et al.*, 2005).

Scopo di questo lavoro è stato la valutazione dell'influenza della micorrizzazione sulle caratteristiche produttive e sul contenuto fenolico della parte edule di alcuni biotipi campani di carciofo. È stata valutata

l'efficacia della colonizzazione ad opera di un formulato commerciale e di uno sperimentale su materiale di propagazione proveniente da *in vitro* e da carducci.

Materiali e metodi

Le prove sono state condotte presso l'azienda cinaricola "Spazioverde s.r.l.", situata in località Bivio di S. Cecilia nel comune di Eboli (SA), nella Piana del Sele. Il materiale vegetativo utilizzato per la prova era costituito da sei genotipi: C3, Tondo di Paestum, Rosso di Paestum, C3 Zar, C3 Sms e C3 Sole. I primi tre sono stati distinti in genotipi da *in vitro* (3) e da carducci (3) mentre i successivi erano esclusivamente da *in vitro* (3), per un totale di 9 tesi sperimentali.

Le prove sono state realizzate suddividendo il campo in 3 parti: 1) testimoni non micorrizzati, 2) individui micorrizzati con un formulato commerciale (Micosat, m.c.), 3) individui micorrizzati con *Glomus viscosum* Nicolson (m.s.), cortesemente fornito dal Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali dell'Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"; quest'ultimo formulato era stato utilizzato in precedenza solo su tipologie precoci di carciofo (Ruta *et al.*, 2004). Le 9 tesi sono state allevate secondo uno schema sperimentale a randomizzazione completa con tre repliche.

Il sesto d'impianto utilizzato è stato di 1,20 m tra le file e 1,00 m sulla fila pari, ad una densità di 8,3 piante /ha. Prima di allestire il campo si è provveduto ad effettuare un'analisi chimico-fisica completa del terreno, al fine di redigere un appropriato piano di concimazione. Il terreno è stato diserbato e assolcato con mezzi meccanici, è stato installato un doppio sistema irriguo: a goccia, con il foro di uscita dell'acqua vicino alla piantina, e una sovrairrigazione con microirrigatori (1 ogni 6 m e posizionati ad un metro dal suolo), apportando in totale circa 4000 m³/ha di acqua. La carciofaia è stata impiantata, mediante trapianto manuale, nel luglio 2009 ed è stata condotta secondo le consuete pratiche colturali.

Dopo una settimana dal trapianto, è stato osservato un attecchimento del 100% per le piante da *in vitro* mentre per quelle ottenute da carduccio si sono avute diverse fallanze. Dai campi in cui sono stati prelevati i carducci e da quello che ha ospitato la prova sperimentale si è provveduto ad effettuare un prelievo di terreno per verificare la presenza di micorrize endogene. Per lo stesso scopo e per due anni sono stati prelevati campioni di radici di tutti gli ecotipi in prova.

La produzione è stata determinata su due anni (2010-2011), raccogliendo e pesando tutti i capolini prodotti dalla pianta per ogni singolo anno. Sulle

piante più omogenee di ogni parcella e corrispondenti, per tratti fenologici, al genotipo studiato sono state effettuate, nel 2010 e nel 2011, analisi biochimiche per determinare il contenuto in fenoli totali, acido clorogenico e cinarina (acido 1,5-dicaffeoilchinico). La determinazione dei fenoli totali è stata effettuata mediante il metodo spettrofotometrico di Folin-Ciocalteu modificato (Singleton *et al.*, 1974), utilizzando uno standard esterno di acido clorogenico. L'estrazione e l'analisi cromatografica in fase inversa in HPLC di acido clorogenico e cinarina è stata effettuata secondo la metodologia di Wang *et al.* (2003). I profili di eluizione sono stati ottenuti mediante un sistema E-Alliance della Waters costituito da un modulo di separazione mod. 2695 con una pompa quaternaria, un autocampionatore e un rivelatore a fotodiodi mod. 2996. I dati cromatografici sono stati acquisiti ed analizzati su un PC mediante il software Empower. Le separazioni cromatografiche sono state effettuate su una colonna Luna prodigy ODS 3, 150 x 3,2 mm (Phenomenex, Torrance, CA) ad una velocità di flusso di 1,0 ml/minuto e a 0,5 unità di assorbimento di fondo scala (AUFS). La quantizzazione di acido clorogenico e cinarina è stata effettuata utilizzando 10 µl di estratto e leggendo la densità ottica a 330 nm contro curve di calibrazione ottenute adoperando, come standard esterni, le stesse sostanze purificate (Sigma-Aldrich, S.r.l., Italia; Roth GmbH, Germania).

Tutte le analisi sono state effettuate in triplicato. I dati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA) utilizzando il software JMP (SAS Institute, Cary, NC), secondo un disegno sperimentale completamente randomizzato. Le medie sono state comparate mediante il test di Tukey HSD ($p \leq 0,05$). Gli indici di correlazione (r_{xy}) sono stati ottenuti mediante un'analisi di regressione lineare semplice.

Risultati e discussione

Le analisi del terreno, effettuate su campioni provenienti dai campi in cui sono stati prelevati i carducci e da quello che ha ospitato la prova sperimentale, hanno evidenziato una scarsa presenza di micorrize endogene (dati non riportati). L'analisi microscopica distruttiva per l'individuazione di simbiosi micorriziali, effettuata per due anni sulle radici di alcune delle piante in prova, ha dato esito positivo (dati non riportati).

Non sono state evidenziate differenze significative nei contenuti di acido clorogenico dei capolini dai sei genotipi analizzati, in campioni derivati da carducci o da *vitro* micorrizzati e non (dati non riportati).

Per quanto riguarda il contenuto in fenoli totali, il genotipo C3 non ha mostrato differenze significative

tra capolini ottenuti da piante derivate da *vitro* e da quelle derivate da carducci, come pure tra quelle micorrizzate con formulato commerciale e sperimentale (fig. 1). Le piante micorrizzate derivate da *vitro* hanno evidenziato contenuti significativamente più elevati rispetto al testimone non micorrizzato, invece differenze non significative sono state rilevate tra le tesi micorrizzate e non, derivate da carducci (fig. 1).

I livelli di cinarina sono risultati significativamente più elevati nelle piante derivate da carducci rispetto a quelle derivate da *vitro*; inoltre, per entrambe le tipologie, i capolini ottenuti da piante micorrizzate hanno mostrato valori di cinarina significativamente più elevati quando comparati con il rispettivo testimone non micorrizzato (fig. 2).

Il peso medio dei capolini per pianta non è risultato significativamente differente tra le piante derivate da *vitro* e da carducci e tra quelle micorrizzate e non. I testimoni da *vitro* e da carducci hanno evidenziato rispettivamente un peso medio dei capolini per pianta di 887,46 e 725,43 g, mentre tale valore, relativo alle piante da *vitro* e da carducci, è stato rispettivamente di 607,10 e 689,64 g per quelle micorrizzate con il formulato sperimentale e 722,20 e 718,82 g per quelle trattate con il formulato commerciale.

Significative correlazioni negative ($r_{xy} = -0,85$ e $-0,70$) sono state evidenziate rispettivamente tra i contenuti di fenoli totali e di cinarina e il peso medio dei capolini per pianta, tanto nelle piante derivate da *vitro* che in quelle derivate da carducci. In entrambi i casi i testimoni non micorrizzati hanno mostrato rispettivamente i valori più elevati di peso medio dei capolini e

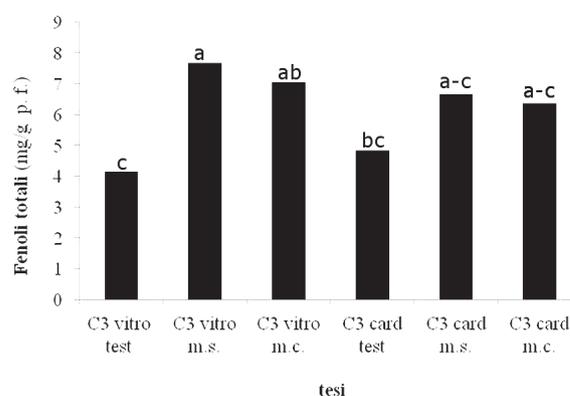


Fig. 1 - Livelli di fenoli totali in capolini ottenuti da piante micorrizzate e non di carciofo del genotipo C3. card = carducci; m.s. = micorrizza sperimentale; m.c. = micorrizza commerciale. Per ciascuna tesi, lettere differenti indicano contenuti di fenoli totali significativamente differenti per $p \leq 0,05$ (test di Tukey HSD).

Fig. 1 - Total phenol contents in flower heads collected from C3 genotype artichoke plants derived from either in vitro culture or rooted offshoots, mycorrhizal inoculated or uninoculated. card = rooted offshoots; m.s. = experimental mycorrhizal; m.c. = commercial mycorrhizal. For each thesis, different letters indicate significantly different total phenol contents ($p \leq 0,05$, Tukey HSD test).

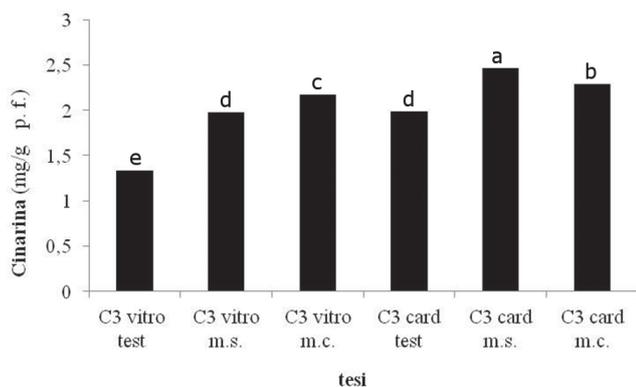


Fig. 2 - Livelli di cinarina in capolini ottenuti da piante micorrizzate e non di carciofo del genotipo C3. card = carducci; m.s. = micorrizza sperimentale; m.c. = micorrizza commerciale. Per ciascuna tesi, lettere differenti indicano contenuti di cinarina significativamente differenti per $p \leq 0,05$ (test di Tukey HSD).

Fig. 2 - Cynarin contents in flower heads collected from C3 genotype artichoke plants derived from either in vitro culture or rooted offshoots, mycorrhizal inoculated or uninoculated. card = rooted offshoots; m.s. = experimental mycorrhizal; m.c. = commercial mycorrhizal. For each thesis, different letters indicate significantly different cynarin contents ($p \leq 0,05$, Tukey HSD test).

i più bassi di fenoli totali e cinarina quando paragonati a piante micorrizzate.

Per quanto concerne il genotipo Tondo di Paestum, non sono state evidenziate differenze significative nel contenuto di fenoli totali in capolini ottenuti da piante derivate da *vitro* o da carducci. Inoltre, la micorrizzazione non ha influenzato significativamente il contenuto di queste sostanze a valenza nutraceutica e salutistica (dati non riportati).

La micorrizzazione con formulato commerciale ha determinato un significativo aumento del contenuto di cinarina in capolini da piante derivate da *vitro* (2,44 mg/g di peso fresco) rispetto al testimone non micorrizzato (1,98 mg/g di peso fresco). La micorrizzazione con formulato commerciale ha altresì determinato un aumento non significativo dei livelli di cinarina, rispetto al testimone, in campioni ottenuti da carducci (fig. 3).

Il peso medio dei capolini per pianta è risultato non significativamente differente per le piante (micorrizzate e non) derivate da *vitro* rispetto a quelle derivate da carducci. Inoltre, la micorrizzazione (soprattutto quella con formulato commerciale) ha influito positivamente sul peso medio dei capolini per pianta sia per quelle derivate da *vitro* che per quelle derivate da carducci. I testimoni da *vitro* e da carducci hanno evidenziato rispettivamente un peso medio dei capolini per pianta di 606,96 e 424,56 g, mentre tale valore, relativo alle piante da *vitro* e da carducci, è stato rispettivamente di 635,27 e 545,64 g per quelle micorrizzate con il formulato sperimentale e 749,13 e 568,78 g per quelle trattate con il formulato commerciale.

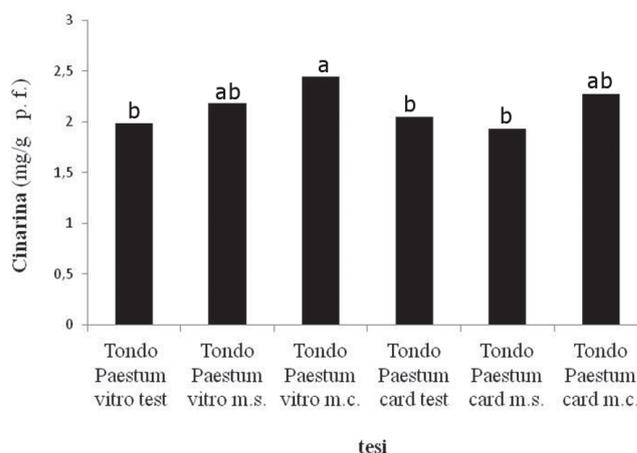


Fig. 3 - Livelli di cinarina in capolini ottenuti da piante micorrizzate e non di carciofo del genotipo Tondo di Paestum. card = carducci; m.s. = micorrizza sperimentale; m.c. = micorrizza commerciale. Per ciascuna tesi, lettere differenti indicano contenuti di cinarina significativamente differenti per $p \leq 0,05$ (test di Tukey HSD).

Fig. 3 - Cynarin contents in flower heads collected from Tondo di Paestum genotype artichoke plants derived from either in vitro culture or rooted offshoots, mycorrhizal inoculated or uninoculated. card = rooted offshoots; m.s. = experimental mycorrhizal; m.c. = commercial mycorrhizal. For each thesis, different letters indicate significantly different cynarin contents ($p \leq 0,05$, Tukey HSD test).

Una significativa correlazione negativa ($r_{xy} = -0,64$) è stata evidenziata tra il peso medio dei capolini per pianta e il contenuto in fenoli totali degli stessi; un andamento opposto è stato invece rilevato per il contenuto in cinarina dei capolini che è risultato positivamente correlato ($r_{xy} = 0,66$) con il peso medio per pianta degli stessi.

Il genotipo Rosso di Paestum non ha mostrato differenze significative tra i contenuti in fenoli totali dei capolini da piante derivate da *vitro* e da carducci, micorrizzate e non (dati non riportati).

Il contenuto in cinarina è risultato significativamente più elevato nei capolini di piante derivate da *vitro* (2,00 mg/g di p.f.) rispetto a quelle derivate da carducci (1,59 mg/g di p.f.). Inoltre, un significativo aumento di questo composto è stato osservato in capolini ottenuti da piante micorrizzate derivate da carducci (rispettivamente 2,31 e 2,12 mg/g di p.f. per m.s. e m.c.) rispetto a quelle non micorrizzate (1,59 mg/g di p.f.) (fig. 4).

Il peso medio dei capolini per pianta non è risultato significativamente differente tra piante derivate da *vitro* o da carducci; le tesi micorrizzate hanno mostrato un decremento (non significativo) del peso medio dei capolini per pianta rispetto alle tesi non micorrizzate (fig. 5). Per quanto concerne il genotipo Rosso di Paestum, il peso medio dei capolini per pianta è risultato negativamente correlato con il contenuto in fenoli totali ($r_{xy} = -0,68$) e con quello in cinarina ($r_{xy} = -0,37$).

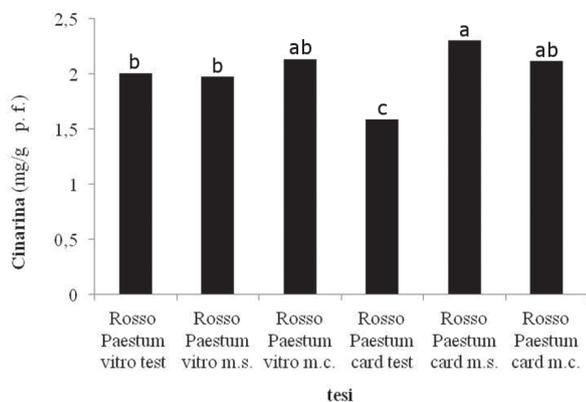


Fig. 4 - Livelli di cinarina in capolini ottenuti da piante micorrizate e non di carciofo del genotipo Rosso di Paestum. card = carducci; m.s. = micorrizza sperimentale; m.c. = micorrizza commerciale. Per ciascuna tesi, lettere differenti indicano contenuti di cinarina significativamente differenti per $p \leq 0,05$ (test di Tukey HSD).

Fig. 4 - Cynarin contents in flower heads collected from Rosso di Paestum genotype artichoke plants derived from either in vitro culture or rooted offshoots, mycorrhizal inoculated or uninoculated. card = rooted offshoots; m.s. = experimental mycorrhizal; m.c. = commercial mycorrhizal. For each thesis, different letters indicate significantly different cynarin contents ($p \leq 0.05$, Tukey HSD test).

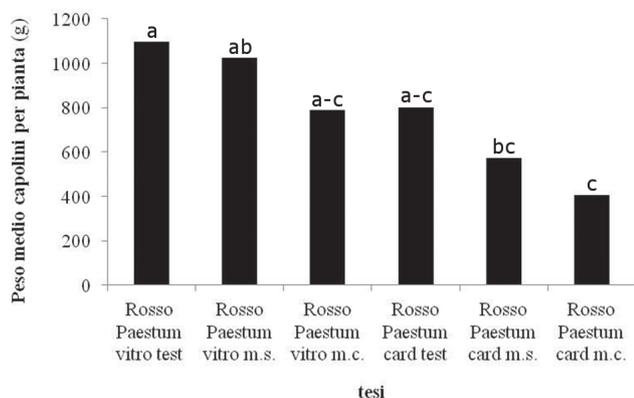


Fig. 5 - Peso medio dei capolini per pianta in carciofo del genotipo Rosso di Paestum di differente origine, micorrizzato e non. card = carducci; m.s. = micorrizza sperimentale; m.c. = micorrizza commerciale. Per ciascuna tesi, lettere differenti indicano valori del peso medio dei capolini per pianta significativamente differenti per $p \leq 0,05$ (test di Tukey HSD).

Fig. 5 - Flower heads mean weight per plant in Rosso di Paestum genotype artichoke plants derived from either in vitro culture or rooted offshoots, mycorrhizal inoculated or uninoculated. card = rooted offshoots; m.s. = experimental mycorrhizal; m.c. = commercial mycorrhizal. For each thesis, different letters indicate significantly different flower heads mean weight per plant ($p \leq 0.05$, Tukey HSD test).

Il genotipo C3 Zar ha mostrato contenuti di fenoli totali e di cinarina significativamente più elevati nel testimone e nel campione micorrizzato con micorrizza sperimentale rispetto al campione micorrizzato con formulato commerciale. Il peso medio dei capolini per pianta è risultato significativamente più elevato nel testimone rispetto ai campioni trattati con micorrizza commerciale, mentre il peso medio dei capolini ottenuti da piante trattate con il formulato sperimentale

non è risultato significativamente differente da quello di capolini ottenuti dai testimoni e/o da piante trattate con micorrizze commerciali (tab. 1).

I genotipi C3 Sms e C3 Sole hanno mostrato un comportamento analogo per quanto riguarda i fenoli totali e la cinarina. Infatti, per entrambi i genotipi, la tesi micorrizzata con formulato commerciale ha presentato valori di fenoli totali significativamente più elevati rispetto alle altre due tesi; mentre per i livelli di cinarina, la tesi m.c., nei due genotipi, ha mostrato livelli significativamente più elevati rispetto al testimone, ma non significativamente differenti dalla tesi m.s. (tab. 1). Per il genotipo C3 Sms non sono state evidenziate, tra le tre tesi, differenze significative nel peso medio dei capolini per pianta, mentre per il genotipo C3 Sole è stata rilevata una differenza significativa tra il testimone e la tesi m.c. (568,46 vs 446,45 g) (tab. 1). Nel genotipo C3 Zar, il peso medio dei capolini per pianta è risultato positivamente e significativamente correlato con il contenuto in fenoli totali ($r_{xy} = 0,72$) e con quello in cinarina ($r_{xy} = 0,64$). Al contrario, una significativa correlazione negativa è stata evidenziata, nei genotipi C3 Sms e C3 Sole, tra il peso medio dei capolini per pianta e il contenuto in fenoli totali (rispettivamente $r_{xy} = -0,95$ e $-0,99$) e quello in cinarina (rispettivamente $r_{xy} = -0,99$ e $-0,75$). Il differente comportamento del genotipo C3 Zar è da ascrivere, probabilmente, a differenze genetiche che necessitano di ulteriori studi per essere chiarite. Infatti, a parte la cinarina nel Tondo di Paestum, gli altri 5 genotipi di carciofo analizzati nel presente studio hanno sempre evidenziato una correlazione

Tab. 1 - Valori di fenoli totali, cinarina e peso medio dei capolini per pianta in tre genotipi di carciofo campano, micorrizzato e non, derivati da vitro. Per ciascun genotipo, valori seguiti da lettere differenti sono significativamente differenti per $p \leq 0,05$ (test di Tukey HSD).

Tab. 1 - Total phenol and cynarin contents and flower heads mean weight per plant in three genotypes from Campania region, mycorrhizal inoculated or uninoculated, derived from in vitro culture. For each genotype, the means followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$, Tukey HSD test).

Genotipo	Fenoli totali (mg/g p.f.)	Cinarina (mg/g p.f.)	Peso medio capolini per pianta (g)
C3 Zar test	7,16 a	1,79 a	1310,35 a
C3 Zar m.s.	7,58 a	1,92 a	934,24 ab
C3 Zar m.c.	5,48 b	1,48 b	627,95 b
C3 Sms test	6,29 b	2,18 b	727,50 a
C3 Sms m.s.	6,08 b	2,48 ab	804,16 a
C3 Sms m.c.	11,12 a	2,81 a	451,39 a
C3 Sole test	6,63 b	2,03 b	568,46 a
C3 Sole m.s.	6,73 b	2,15 ab	525,33 ab
C3 Sole m.c.	8,88 a	2,52 a	446,45 b

negativa tra peso medio dei capolini per pianta e contenuti di fenoli totali e cinarina.

Per quanto riguarda i fenoli totali, la micorrizzazione con formulato commerciale ha determinato un significativo aumento rispetto al testimone per i seguenti genotipi derivati da *vitro*: C3, C3 Sms e C3 Sole; una significativa riduzione si è evidenziata invece per C3 Zar. La micorrizzazione con *Glomus viscosum* (m.s.) ha determinato un significativo aumento solo per C3 derivato da *vitro*.

La micorrizzazione con formulato commerciale ha determinato un significativo aumento di cinarina, rispetto al testimone, per i genotipi C3, Tondo di Paestum, C3 Sms e C3 Sole derivati da *vitro*, nonché per C3 e Rosso di Paestum derivati da carducci; una significativa riduzione si è evidenziata invece per C3 Zar. La micorrizzazione con *Glomus viscosum* (m.s.) ha determinato un significativo aumento per C3 e Rosso di Paestum derivati da *vitro* e per C3 da carducci.

La micorrizzazione con formulato commerciale ha indotto una riduzione significativa del peso medio dei capolini per pianta rispetto al testimone per C3 Zar e C3 Sole; tutte le altre tesi micorrizzate, sia da *vitro* che da carducci, non hanno mostrato differenze significative con il rispettivo testimone.

Conclusioni

Il carciofo rappresenta un alimento importante nella dieta mediterranea per la presenza sia di diversi nutrienti sia di sostanze ad attività antiossidante ascrivibili al gruppo dei fenoli. Nuovi genotipi di carciofo ad elevato contenuto di sostanze a valenza nutraceutica e salutistica sono stati ottenuti mediante tecniche di ingegneria genetica e programmi di breeding *ad hoc* (Niggeweg *et al.*, 2004). A questo proposito, l'inoculazione con funghi responsabili di micorrize arbuscolari è stata utilizzata come strategia efficiente e naturale per migliorare la qualità e la produttività di questa coltura ortiva. Tuttavia, ulteriori studi con nuove varietà di carciofo sono necessari per confermare l'influenza della micorrizzazione sui contenuti di sostanze fenoliche della parte edule.

Ringraziamenti

Si ringrazia i Sig. Giovanna Festa, Giovanni De Vivo, Pasquale Tedesco, Antonio Vivone del CRA-ORT e l'azienda Spazioverde S.r.l. (Eboli) per la conduzione della prova agronomica; la Prof.ssa Irene Morone-Fortunato e la Dr.ssa Anna Tagarelli, Università di Bari, per aver gentilmente fornito il *G. viscosum* Nicolson.

Riassunto

Scopo di questo lavoro è stato la valutazione dell'influenza della micorrizzazione sulle caratteristiche produttive e sul contenuto fenolico della parte edule di sei genotipi campani di carciofo. È stata valutata l'efficacia della colonizzazione ad opera di un formulato commerciale e di uno sperimentale su materiale di propagazione proveniente da *vitro* e da carducci. I risultati ottenuti in questo studio hanno evidenziato che l'effetto sul contenuto di fenoli totali e cinarina dipende dalle specie di funghi micorrizici impiegati come inoculo, dal genotipo e dall'origine del carciofo utilizzato. Il genotipo che ha evidenziato il miglior comportamento in seguito a micorrizzazione (sia con formulato commerciale che con *Glomus viscosum* Nicolson) è stato il C3, sia derivato da *vitro* che da carduccio.

Parole chiave: micorrize commerciali, micorrize sperimentali, capolino, fenoli totali, cinarina.

Bibliografia

- ANCORA G., 1986. *Globe artichoke (Cynara scolymus L.)*. In: Biotechnology in Agriculture and Forestry Crops, Bajai, Y.P.S. (Ed.), Springer-Verlag (Berlin - Heidelberg), (vol. 2 Crops I): 471-484.
- ANCORA G., SACCARDO F., 1987. *Carciofo: nuove tecniche di propagazione*. L'Informatore Agrario 4: 53-55.
- CECCARELLI N., CURADI M., MARTELLONI L., SBRANA C., PICCIARELLI P., GIOVANNETTI M., 2010. *Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after field transplant*. Plant Soil 335: 311-323.
- CURADI M., PICCIARELLI P., LORENZI R., GRAIFENBERG A., CECCARELLI N., 2005. *Antioxidant activity and phenolic compounds in the edible parts of early and late Italian artichoke (Cynara scolymus L.) varieties*. Ital J Food Sci 17: 33-43.
- FORTUNA P., CITERNESI S., MORINI S., GIOVANNETTI M., LORETI F., 1992. *Infectivity and effectiveness of different species of arbuscular mycorrhizal fungi in micropropagated plants of Mr S2/5 plum rootstock*. Agronomie 12: 825-829.
- GEBHARDT R., 1997. *Antioxidative and protective properties of extracts from leaves of the artichoke (Cynara scolymus L.) against hydroperoxide-induced oxidative stress in cultured hepatocytes*. Toxicol Appl Pharm 144: 279-286.
- GIANINAZZI S., TROUVELOT A., GIANINAZZI-PEARSON V., 1990. *Role and use of mycorrhizas in horticultural crop production*. Adv. Hort. Sci. 4: 25-30.
- GIOVANNETTI M., 1990. *Le micorrize come agenti di lotta biologica contro i patogeni delle piante agrarie*. Informatore Fitopatologico 10: 17-20.
- GIOVANNETTI M., AVIO L., 2002. *Biotechnology of arbuscular mycorrhizas*. Agriculture and Food Production 2: 275-310.
- GRIBAUDO R., ZANETTI R., MORTE E., PREVIATI A., SCHUBERT A., 1996. *Development of mycorrhizal infection in vitro and in vivo-formed roots of woody fruit plant*. Agron. 16: 621-624.
- KRAFT K., 1997. *Artichoke leaf extracts - Recent findings reflecting effects on lipid metabolism. Liver and gastrointestinal tracts*. Phytomedicine 4: 369-378.

- MORONE-FORTUNATO I., RUTA C., CASTRIGNANÒ A., SACCARDO F., 2005. *The effect of mycorrhizal symbiosis on the development of micropropagated artichokes*. *Sci. Hort.* 106: 472-483.
- MORONE-FORTUNATO I., TAVAZZA R., CADINU M., IERNA A., CARDARELLI M., NERVO G., 2006. *Micropropagazione e vivaismo*. In: *Convegno conclusivo progetto MiPAF "Carciofo" (2003-2006) - Il carciofo: dal laboratorio al mercato*. Roma 19-21 aprile 2006. pp. 35-36.
- NIGGEWEG R., MICHAEL A., MARTIN C., 2004. *Engineering plants with increased levels of the antioxidant chlorogenic acid*. *Nature Biotechnol* 22: 746-754
- RUTA C., MORONE FORTUNATO I., TAGARELLI A., MARZI V., 2004. *Primi risultati sulla valutazione in campo di carciofo precoce micorrizzato proveniente da vitro*. *Italus Hortus* 11 (5): 49-52.
- SINGLETON V.L., ORTHOFER R., LAMUELA-RAVENTOS R.M., 1974. *Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidant by means of Folin-Ciocalteu reagent*. *Methods Enzymol.* 299: 152-178.
- WANG M., SIMON L.E., AVILES I.F., HE K., ZHENG Q., TADMOR Y., 2003. *Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (Cynara scolymus L.)*. *J Agr Food Chem* 51:601-608.