

Studio dell'effetto di un biochar pellettato sulla nutrizione minerale di basilico in un substrato di coltivazione a base di torba

Floriana Bedussi*, Patrizia Zaccheo e Laura Crippa

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Produzione, Territorio, Agroenergia (DiSAA), Università di Milano

Study on the effect of a pelleted biochar on mineral nutrition of basil in soilless substrate

Abstract. The use of biochar for potted plants has been recently proposed as a partial substitute for peat, because of its suitable physical and chemical properties. This study was to evaluate the effects of partial replacement of peat by softwood (spruce) gasification pellet biochars on nutrient release and retention and the effectiveness of biochars to neutralize peat acidity in non-planted and planted (basil) substrates. Seven pots filled with biochars+peat and seven with limed peat (control) were drenched with fertilizing solutions and watered at pF1.7. pH and nutrients content in substrate pore water were determined in Rhizon samples. The biochar improved ammonia and nitrogen removal from pore water. At the end of the test, on the plants were determined: fresh and dry weight, total nitrogen content, meso and macro nutrients. The study has revealed a high reactivity of biochar, which was found capable of modifying not only the pH of the peat, but also the dynamics of nutrients, particularly nitrogen which was removed almost entirely by the circulating solution; while biochar has proved a good source of potassium.

Key words: pore water, potassium, NH_4^+ -N, NO_3^- -N.

Introduzione

Le torbiere svolgono una importante funzione ambientale di riserva di carbonio e di acqua, e considerando che i tempi di accumulo della torba sono molto lunghi (0,5-2 mm all'anno) e che inoltre sono in aumento i costi di estrazione e trasporto, una contra-

zione del loro impiego nei substrati di coltivazione può risultare vantaggiosa dal punto di vista economico e ambientale. Molti potenziali candidati alla sostituzione, anche parziale, della torba vengono presi in considerazione nella formulazione di substrati di coltivazione, soprattutto di quelli destinati al mercato hobbistico. La possibilità di valorizzare il biochar come ammendante dei suoli agrari è stata intensamente esplorata negli ultimi anni e solo recentemente si è ipotizzato il suo impiego nel comparto ortoflorovivaistico.

Un buon substrato di coltivazione deve offrire alle radici delle piante cresciute in vaso la massima disponibilità di aria e acqua, ospitare una flora microbica benefica in grado di contenere lo sviluppo di patogeni, dimostrare elevata stabilità sia fisica che biologica e infine permettere una facile gestione della concimazione.

Alcuni studi hanno dimostrato che il biochar è potenzialmente in grado di intervenire su quasi tutti questi aspetti (Graber *et al.*, 2010; Dumroese *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2012; Vaughn *et al.*, 2013; Headlee *et al.*, 2014). Questo è possibile grazie alle sue caratteristiche tra le quali predominante è il possedere un'elevata superficie reattiva, paragonabile a quella dell'argilla, dovuta ad una estesa porosità interna del materiale e che spiega quindi la maggior ritenzione di acqua e nutrienti e l'adsorbimento di molecole organiche e inorganiche. La sua reazione alcalina, dovuta all'abbondanza di carbonati e anioni organici, lo rende idoneo per aumentare il pH delle torbe. Il biochar favorisce infine la nutrizione delle piante non solo trattenendo i nutrienti sulle sue superfici reattive e quindi limitandone la lisciviazione (Brockhoff *et al.*, 2010; Sohi *et al.*, 2010; Beck *et al.*, 2011; Altland e Locke 2012), ma anche attraverso un diretto apporto di nutrienti. Quest'ultimo è tuttavia un effetto minore, a causa della relativa scarsità di nutrienti nelle maggior parte delle biomasse che originano i biochar, a

* floriana.bedussi@unimi.it

cui fanno eccezione materiali ricchi in azoto come i letami e i compost. Inoltre si è visto in recenti studi che il biochar è in grado di trattenere nutrienti come i nitrati, di migliorare l'utilizzo dell'azoto da parte delle piante, agendo direttamente sui processi biologici di ammonificazione e nitrificazione.

In un precedente lavoro (Bedussi *et al.*, 2015), che ha previsto l'utilizzo di una miscela biochar:torba in rapporto volumetrico 30:70, è stata dimostrata la capacità di un biochar da gassificazione di neutralizzare l'acidità della torba, il che permetterebbe di evitare l'aggiunta di correttivi minerali. Inoltre, è stato verificato un effetto del biochar sulle proprietà fisiche del substrato, che ha attenuato il suo grado di restringimento.

Il principale limite del biochar è che esso si presenta, nella maggior parte dei casi, con una granulometria molto fine e dunque polverosa. Questo inconveniente fa sì che il materiale risulti difficilmente manipolabile, polveroso e di difficile incorporazione ad altri materiali, specialmente se lo si intende usare in piccoli contenitori (Dumroese, 2011). Per questo motivo, si ritiene che il biochar in forma pellettata sia molto più facile da utilizzare e provochi meno inconvenienti, in assenza di polvere che può fuoriuscire dai vasi con l'eluato o diffondere nell'ambiente (Vaughn, 2013).

Scopo dello studio è quello di valutare se la forma pellettata consenta di mantenere le proprietà positive del biochar (potere correttivo, riserva di nutrienti, effetto positivo sulla crescita delle piante in contenitore), impiegato come parziale sostituto della torba.

Materiali e metodi

Il biochar utilizzato proviene da un processo di pirogassificazione (1100-1200 °C) di residui di conifere, prodotto da AGT (Advanced Gasification Technology s. r. l., Cremona). La torba impiegata è una torba bionda di sfagno, con grado di decomposizione H3, di granulometria 5 mm e di provenienza baltica. Entrambi i materiali sono stati caratterizzati analiticamente per quanto riguarda: sostanza organica e ceneri (UNI EN 13039, 2011), pH, conducibilità elettrica (UNI EN 13037, 2012; UNI EN 13038,

2012), porosità, ritenzione idrica, restringimento (UNI EN 13041, 2012), contenuto in nutrienti solubili con estrazione in acqua di 1:5 v/v (UNI EN 13652, 2001) e totali tramite mineralizzazione con HNO₃ in microonde (Zheljzakov and Warman 2002), determinati con spettrometro ICP-MS (Agilent Technologies, USA) (tab. 1).

La prova sperimentale si è svolta in serra, e ha previsto l'utilizzo della miscela biochar/torba in rapporto volumetrico 20:80, per l'allevamento di *Ocimum basilicum* L. (basilico comune) in contenitore (durata 55 giorni). Sono stati preparati 7 vasi (1L) contenenti la miscela biochar/torba (tesi biochar), e 7 vasi (1L) contenenti la sola torba impiegata nella miscela, previamente calcinata con carbonato di calcio (2,3g/L) fino a raggiungere valori di pH intorno alla neutralità (tesi Controllo). Quattro vasi/substrato sono stati coltivati con basilico (3 piante/vaso), mentre i restanti sono stati incubati in assenza di copertura vegetale. In serra la temperatura è rimasta costante a 20-25°C di giorno e 18-20°C di notte; i vasi sono stati pesati ogni settimana e riportati al peso originale con acqua deionizzata al fine di mantenerli alla stessa umidità (pF 1.7). Allo scopo di valutare le interazioni del biochar con il fertilizzante, apportato in una sola somministrazione all'inizio della sperimentazione (1 g/L), sono stati utilizzati dei campionatori Rhizon per prelevare la soluzione circolante, una volta a settimana, per tutta la durata dell'esperimento in serra (fig. 1).

Nella soluzione circolante sono stati determinati: pH, concentrazione di azoto ammoniacale e nitrico per via spettrofotometrica (ISO 2005, 1996), potassio e fosforo determinati con ICP-MS (Agilent Technologies, USA).

A due tempi di incubazione, dopo 7 e 34 giorni, è stato eseguito il biosaggio di germinazione con *Lepidium sativum* L. (crescione) su tutti i campioni estratti (UNI EN 16086-2, 2012). Al termine della prova in serra, sulle piante di basilico sono stati determinati i seguenti parametri: peso fresco e secco di steli e foglie, altezza e numero di internodi, contenuto di azoto totale, macro e meso nutrienti.

I risultati delle determinazioni analitiche e dei rilievi sulle piante sono medie di tre o quattro deter-

Tab. 1 - Principali caratteristiche chimiche del biochar e della torba impiegati nella prova.
Tab. 1 - Main chemical parameters of biochar and peat.

Parametri	pH	EC dS/m	Ceneri %	N minerale (NH ₄ +NO ₃)		K		Ca		Mg	
				H ₂ O sol.	H ₂ O sol.	tot	H ₂ O sol.	tot	H ₂ O sol.	tot	
				mg/kg	mg/kg	g/kg	mg/kg	g/kg	mg/kg	g/kg	
Biochar	10,5	0,41	5,06	35	1762	6,75	116	18,7	37	2,89	
Torba	4,3	0,05	1,51	47	0,65	0,22	3,77	2,77	1,3	0,72	

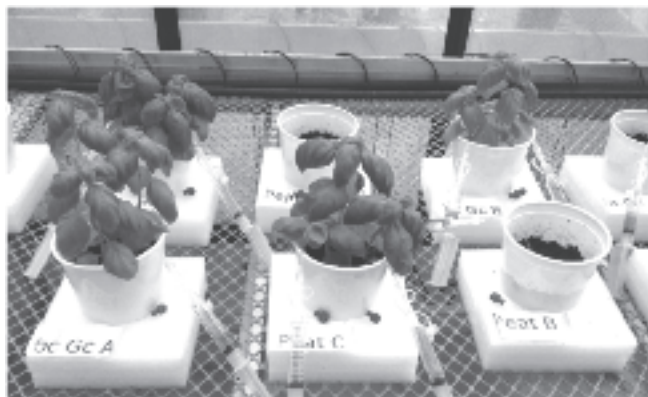


Fig. 1 - Vasi con e senza pianta muniti di campionatori Rhizon durante l'incubazione in serra.

Fig. 1 - Planted and non-planted pots with syringes connected to Rhizon samplers during greenhouse incubation.

minazioni. Le elaborazioni statistiche sono state effettuate utilizzando il programma SPSS 21.0; i dati sono stati sottoposti ad ANOVA univariata, e le differenze tra le medie sono state confrontate applicando il test b-Tukey. Nel caso di confronti tra due medie, è stato calcolato il t-Student ($p=0.05$).

Risultati e discussione

Come mostrato in tabella 1, il biochar ha reazione fortemente alcalina, elevata presenza di nutrienti tra i quali ben rappresentati sono potassio, magnesio e cal-

cio; la quota di elementi idrosolubili è risultata del 26% per il potassio, 0,6% per il calcio e del 1,3% per il magnesio. L'aggiunta di biochar alla torba ha comportato un innalzamento del pH superiore rispetto a quello osservato nella torba calcitata, una riduzione del restringimento e una leggera diminuzione del volume occupato dall'aria (tab. 2).

Analizzando la soluzione circolante, si è osservato come l'incubazione abbia profondamente modificato le quantità e i rapporti fra azoto ammoniacale e azoto nitrico, con tempi e modalità diversi nelle due tesi. A differenza della torba calcitata il biochar ha infatti indotto una quasi completa rimozione dell'azoto dalla soluzione con un effetto rapido e che prosegue nel tempo (tabb. 3 e 4). Già dopo sette giorni di incubazione si osserva una forte riduzione della quota di azoto ammoniacale apportata con il fertilizzante (dal 66% al 70% dell'azoto ammoniacale apportato non si ritrova più in forma solubile nella torba calcitata, mentre in presenza di biochar la quota non ritrovata è pari al 82-86%). In assenza di piante, nella soluzione estratta dalla torba calcitata l'azoto nitrico aumenta nel corso della prova, fino a raggiungere valori lievemente superiori al valore iniziale dopo aggiunta di fertilizzante. Il biochar invece sottrae gradualmente l'azoto nitrico, fino a valori non determinabili analiticamente. Nella prova con pianta non si sono osservate differenze significative nel trend di nitrato della tesi

Tab. 2 - Principali caratteristiche chimico, fisiche dei substrati impiegati nella prova di vegetazione.

Tab. 2 - Chemical and physical parameters of biochar/peat and peat.

Parametri	Unità di misura	Biochar/torba	Torba calcitata (controllo)
pH	H ₂ O	7,6	5,9
EC	dS/m	0,07	0,03
Densità apparente secca	kg/m ³	163,3	85,41
Porosità totale	% vol	89,6	94,5
Aria pF1	% vol	24,5	28,55
Acqua pF1	% vol	65,2	65,97
Aria pF1.5	% vol	38,3	44,07
Acqua pF1.5	% vol	51,3	50,45
Aria pF1.7	% vol	40,3	46,38
Acqua pF1.7	% vol	49,3	48,14
Grado di restringimento	% vol	22,7	28,4

Tab. 3 - Andamento dell'azoto ammoniacale nella soluzione circolante delle tesi con e senza pianta (mg/L).

Tab. 3 - Time course of ammonia in the pore water of not planted and planted pots.

Parametri		7 gg	13 gg	20 gg	26 gg	34 gg	41 gg	48 gg	55 gg
Con pianta	Biochar/torba	52 b	26 a	13 a	0,58 a	0,24 a	0,73 a	1,32 a	0,54 a
	Controllo	111 b	80 ab	102 ab	102 ab	101 ab	115 ab	93 ab	70 a
Senza pianta	Biochar/torba	39 b	11:00	1,20 a	0,68 a	0,42 a	0,47 a	0,55 b	0,57 a
	Controllo	76 ac	83 bc	114 c	111 bc	92 bc	90 bc	65 ab	37 a

Medie sulla riga seguite da lettere uguali non differiscono significativamente per $p=0.05$

Tab. 4 - Andamento dell'azoto nitrico nella soluzione circolante delle tesi con e senza pianta (mg/L).

Tab. 4 - Time course of nitrate in the pore water of not planted and planted pots.

Parametri		7 gg	13 gg	20 gg	26 gg	34 gg	41 gg	48 gg	55 gg
Con pianta	Biochar/torba	92 c	84 c	81 c	65 bc	21 ab	6,41 a	1,49 a	0,43 a
	Controllo	103 ns	100	117	125	120	121	107	97
Senza pianta	Biochar/torba	59 a	63 ab	69 ac	35 ac	26 bd	18 cd	7,52 d	3,55 d
	Controllo	92 a	103 ab	124 ac	123 ac	139 bd	151 cd	172 d	168 d

Medie sulla riga seguite da lettere uguali non differiscono significativamente per $p=0,05$

con torba calcitata, mentre nella tesi con biochar si conferma quanto osservato in assenza di piante. L'andamento cumulativo delle due forme di azoto minerale conferma che la torba calcitata è in grado di ridurre la quota di azoto minerale già dopo 7 giorni, e non interagisce ulteriormente con l'azoto minerale durante il corso dell'esperimento. Il biochar, di contro, ha un effetto rapido, che si prolunga poi nel tempo e porta alla quasi totale rimozione dell'azoto dalla soluzione.

Esistono informazioni dettagliate in letteratura sull'alterazione, nel suolo, del ciclo dell'azoto dovuto all'utilizzo di biochar (Nelissen *et al.*, 2012; Clough *et al.*, 2013), attraverso meccanismi diretti (NH_4^+ -N adsorbimento, NO_3^- -N immobilizzazione) e meccanismi indiretti (stimolazione dell'attività microbica, effetti fisici sulla ritenzione idrica). In particolare, il potere di adsorbimento dell'azoto ammoniacale da parte del biochar è stato ampiamente riportato, con possibili meccanismi che coinvolgono non solo la capacità di scambio cationico, ma anche l'intrappolamento fisico nei pori. L'azoto ammoniacale adsorbito dal biochar è stato dimostrato essere disponibile per le piante (Taghizadeh-Toosi *et al.*, 2012).

Per contro, si è osservato un incremento dei livelli di potassio, nei primi tempi superiori alla quantità apportata con il fertilizzante indicato, (tab. 5); come già riportato in altri studi dove si evidenzia la capacità di biochar vegetali di apportare potassio in soluzione (Chan e Xu, 2009).

La soluzione circolante prelevata dopo sette e trentaquattro giorni è stata sottoposta ad un test di germinazione con crescita, per valutare se durante l'incubazione potessero liberarsi dal biochar molecole organiche ad effetto stimolante o inibitorio lo sviluppo

radicale; i risultati, riportati in figura 2, mostrano come il biochar abbia indotto una maggiore crescita delle radichette non solo rispetto alla torba, ma anche al controllo (acqua), e quest'effetto è maggiore nelle soluzioni estratte dai vasi in assenza della pianta.

Al termine della prova di serra, la crescita delle piante di basilico è risultata statisticamente inferiore nelle tesi con biochar, che ha anche indotto una diversa composizione minerale di foglie e steli.

Dall'analisi della produzione (tab. 6) è possibile notare che, se si confrontano i pesi freschi, la differenza tra le tesi sui due substrati utilizzati è consistente. Nelle tesi su torba calcitata il peso fresco risulta essere quasi il 70% in più rispetto alle tesi in Biochar/torba. Di fatto, all'apparenza le piantine coltivate su torba calcitata avevano un aspetto più sano e

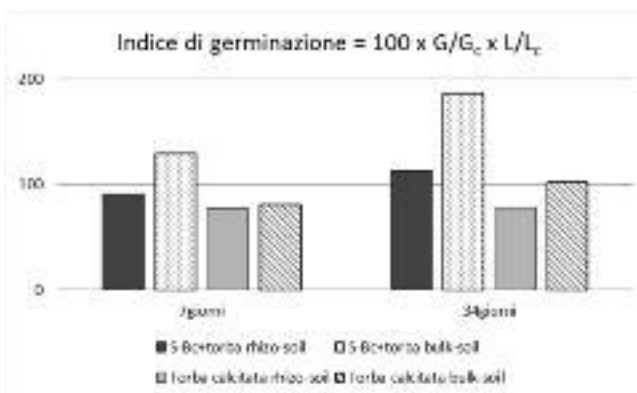


Fig. 2 - Risultati del test di germinazione al tempo 1 (7gg) e tempo 5 (34gg) espressi con l'indice di germinazione ($G = n$. semi germinati campione, $G_c = n$. semi germinati controllo, $L =$ lunghezza media radice campione, $L_c =$ lunghezza media radice controllo).

Fig. 2 - Germination test results at day 7 and day 34 expressed germination indexes ($G =$ germinated seeds of the sample, $G_c =$ germinated seeds of the control, $L =$ root growth of the sample, $L_c =$ root growth of the control).

Tab. 5 - Andamento del potassio nella soluzione circolante delle tesi con e senza pianta (mg/L).

Tab. 5 - Time course of potassium in the pore waters of not planted and planted pots.

Parametri		7 gg	13 gg	20 gg	26 gg	34 gg	41 gg	48 gg	55 gg
Con pianta	Biochar/torba	547 b	527 b	472 ab	475 ab	426 ab	430 ab	409 ab	374 a
	Controllo	199 ns	125	149	147	146	167	148	121
Senza pianta	Biochar/torba	503 b	512 b	500 b	439b	417 b	402 b	381 a	356 a
	Controllo	121 ns	114	169	164	154	174	191	167

Medie sulla riga seguite da lettere uguali non differiscono significativamente per $p=0,05$

Tab. 6 - Peso fresco e secco delle piante ed altezza del basilico al termine della sperimentazione.

Tab. 6 - *Fresh and dry matter of basil and total height.*

Substrato	Peso fresco (g)	Peso secco (g)	Altezza (cm)
Biochar/torba	9,1	0,71	12,3*
Torba calcitata	15	1	9,9

* differenze significative in colonna per $p < 0,05$ (t-Student).

vigoroso rispetto a quelle coltivate in Biochar/torba, che al contrario avevano un aspetto clorotico. Di contro, quando le tesi sono state confrontate per sostanza secca, le differenze si sono attenuate. È risultato infatti che le tesi coltivate su torba calcitata superassero quelle coltivate su Biochar/torba del 30% in più del peso secco, meno della metà rispetto al confronto con il peso fresco. Per questo motivo è lecito supporre che la differenza in peso fosse data principalmente dall'aumento di acqua nei tessuti epigei.

Come mostrato dalle figure 3 e 4 gli steli delle tesi coltivate su Biochar/torba sono risultati essere più lunghi di quelli coltivati su torba calcitata. Anche Vaughn *et al.* (2013) segnalano un simile effetto del biochar sulla crescita, in questo caso di pomodoro.

Il tenore in azoto rilevato nelle piantine di basilico cresciute su torba, comparabile con quanto riportato per piante di basilico allevate su terra, è risultato nettamente superiore a quello delle piante cresciute su Biochar/torba; lo stesso fenomeno si è verificato per quanto riguarda il fosforo. Contrariamente ad azoto e fosforo, il potassio nelle foglie e negli steli delle piante cresciute in presenza di biochar è risultato statisticamente superiore a quello delle piante cresciute in torba calcitata, a conferma del contributo del biochar al tenore di potassio nella soluzione circolante (fig. 5). La maggior concentrazione di potassio negli steli sug-

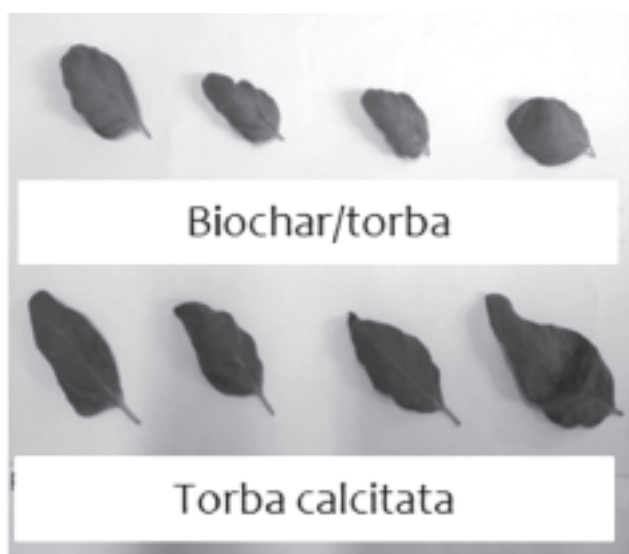


Fig. 3 - Foglia di basilico per ogni tesi.
Fig. 3 - *Basil leaves for each thesis.*

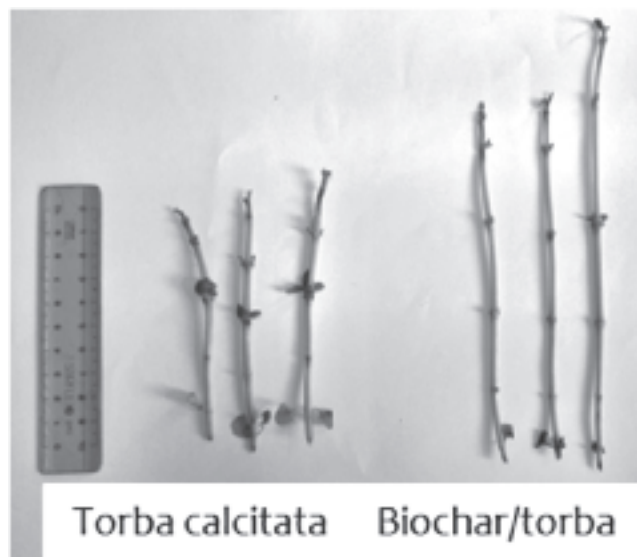


Fig. 4 - Steli di basilico per ogni tesi.
Fig. 4 - *Basil stem for each thesis.*

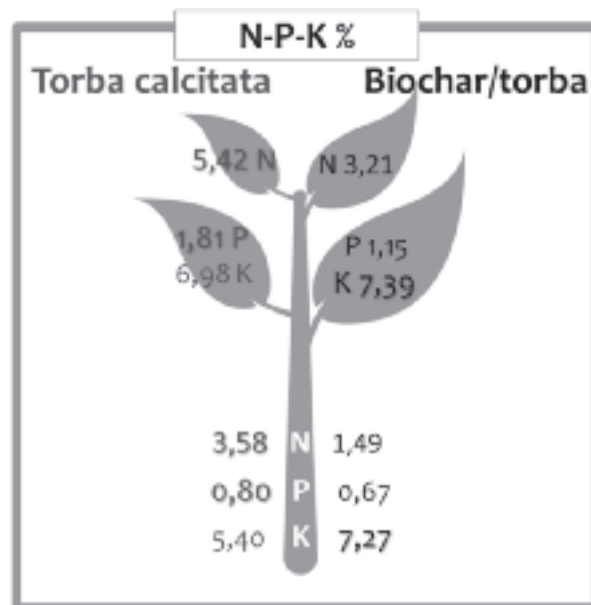


Fig. 5 - Contenuto in azoto, fosforo e potassio (% s.s.) in foglie e steli di basilico cresciuto su Controllo (a sinistra) e Biochar/torba (a destra).

Fig. 5 - *Nitrogen content, phosphorus and potassium (% SS) in leaves and stems of basil grown on control (left) and Biochar/peat (right).*

gerisce che il biochar rifornisce continuamente la soluzione circolante di potassio, assorbito e trasportato floematicamente fino ad accumularsi nelle foglie.

Conclusioni

Lo studio ha messo in luce come il biochar pellettato modifichi la composizione della soluzione circolante, interagendo con il fertilizzante e fornendo esso stesso elementi nutritivi. In particolare è emersa una forte influenza del biochar studiato sulla dinamica

dell'azoto nella soluzione circolante: la temporanea sottrazione dalla soluzione potrebbe essere considerata come un effetto di lento rilascio, utile per cicli più lunghi di coltivazione, che necessita la conduzione di uno studio specifico per una idonea messa a punto dei dosaggi iniziali dei fertilizzanti. Altrettanto interessante risulta l'interazione tra potassio e biochar, poiché quest'ultimo è in grado di rifornire la soluzione circolante di potassio disponibile e consentire così una migliore nutrizione potassica delle piante ed un possibile risparmio di fertilizzante.

Riassunto

Il biochar può essere considerato un potenziale sostituto della torba nella formulazione dei substrati di coltivazione.

Nella sperimentazione è stato saggiato un biochar da conifera pellettato, miscelato a torba 20:80 vol/vol, utilizzato in una prova di incubazione ed in una di coltivazione con *Ocimum basilicum* L. Sono stati preparati 7 vasi per trattamento, settimanalmente la soluzione circolante è stata estratta dai vasi ed analizzata. Al termine della prova sulle piante sono stati determinati: peso fresco e secco, contenuto di azoto totale, macro e meso nutrienti. Lo studio ha evidenziato una elevata reattività del biochar, in particolare nel confronto dei nutrienti.

Parole chiave: Soluzione circolante, Potassio, NH_4^+ -N, NO_3^- -N.

Bibliografia

- ATTLAND J.E., LOCKE J.C. 2012. *Biochar affects macronutrient leaching from a soilless substrate*. Hort.Sci., 47:1136–1140
- BECK D.A., JOHNSON G.R., SPOLEK G.A. 2011. Amending green-roof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality. Environ. Pollut., 159:2111–2118
- BROCKHOFF S.R., CHRISTIANS N.E., KILLORN R.J et al. 2010. *Physical and mineral-nutrition properties of sand-based turf grass root zones amended with biochar*. Agron. J., 102:1627–1631
- CHAN K.Y., XU Z. 2009. *Biochar: nutrient properties and their enhancement*. In: Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management science and technology*. Edited Earthscan, (London): 67–84
- CLOUGH T.J., CONDRON L.M., KAMMANN C., MÜLLER C. 2013. *A review of biochar and soil nitrogen dynamics*. Agronomy, 3:275–293. DOI:10.3390/agronomy3020275
- DUMROESE R.K., HEISKANEN J., ENGLUND K., TERVAHAUTA A. 2011. *Pelleted biochar: chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries*.

- Biomass Bioenerg.*, 35:2018–2027. DOI:10.1016/j.biombioe.2011.01.053
- BEDUSSI F., ZACCHEO P., CRIPPA L., 2015, *Pattern of pore water nutrients in planted and non-planted soilless substrates as affected by the addition of biochars from wood gasification*. Biology and fertility, 51 (5): 625-635. DOI 10.1007/s00374-015-1011-6
- GRABER E.R., HAREL Y.M., KOLTON M., CYTRYN E., SILBER A., DAVID D.R., TSECHANSKY L., BORENSHTEIN M., ELAD Y. 2010. *Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media*. Plant Soil, 337:481–496. DOI:10.1007/s11104-010-0544-6
- HEADLEE W.L., BREWER C.E., HALL R.B. 2014. *Biochar as a substitute for vermiculite in potting mix for hybrid poplar*. Bioenergy Res., 7:120–131. DOI:10.1007/s12155-013-9355-y
- ISO 13395 (1996) *Water quality - determination of nitrite nitrogen, nitrate nitrogen and the sum of both by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection*
- ISO 11732 (2005) *Water quality - determination of ammonium nitrogen - method by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection*
- LEHMANN J., 2007. *A handful of carbon*, Nature Publishing Group, Vol 447.
- NELISSEN V., RÜTTING T., HUYGENS D., STAELENS J., RUYSSCHAERT G. et al 2012. *Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil*. Soil Biol. Biochem., 55:20–22
- SOHI S.P., KRULL E., LOPEZ-CAPEL E., BOL R., 2010. *A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil*, Advances in Agronomy, 105: 47-82. Elsevier international.
- TAGHIZADEH-TOOSI A., CLOUGH T.J., SHERLOCK R.R., CONDRON L.M. 2012. *Biochar adsorbed ammonia is bioavailable*. Plant Soil, 350:57–69. DOI:10.1007/s11104-011-0870-3
- TIAN Y., SUN X., LI S., WANG H., WANG L., CAO J., ZHANG L. 2012. *Biochar made from green waste as peat substitute in growth media for Calathea rotundifolia cv Fasciata*. Sci. Hortic., 143:15–18. DOI:10.1016/j.scienta.2012.05.018
- UNI EN 13037 (2012) Soil improvers and growing media. Determination of pH
- UNI EN 13038 (2012) Soil improvers and growing media. Determination of electrical conductivity
- UNI EN 13039 (2011) Soil improvers and growing media. Determination of organic matter content and ash
- UNI EN 13041 (2012) Soil improvers and growing media. Determination of physical properties. Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space
- UNI EN 13652 (2001) Soil improvers and growing media. Extraction of water soluble nutrients and elements
- UNI EN 16086-2 (2012) Soil improvers and growing media. Determination of plant response - Part 2: Petri dish test using cress
- VALAGUSSA M., POZZI A., 2011. *Il biochar: "black revolution". Uno stato dell'arte per comprendere potenzialità e criticità*. Regione Lombardia.
- VAUGHN S.F., KENAR J.A., THOMPSON A.R., PETERSON S.C., 2013. *Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates*. Elsevier international.
- ZHELJAZKOV V.D., WARMAN P.R., 2002. *Comparison of three digestion methods for the recovery of 17 plant essential nutrients and trace elements from six composts*. Compos. Sci. Util., 10:197–203. DOI:10.1080/1065657X.2002.10702081.