

АНГЕЛИНА МИКОВА

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкиров“, София
E-mail: an15mi11@yahoo.com

Оползотворяване на растителните остатъци като почвен подобрител

Utilization of Crop Residues as Soil Amendment

A. Mikova

N. Poushkarov Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection, Sofia, Bulgaria

Abstract

Last years, the vicious practice of burning crop residues from agricultural production was observed. This practice leads to deterioration of soil fertility and destruction of some of the beneficial soil microflora and fauna. Stubble burning is interdicted by agricultural lands protection law. In this respect, a relatively new method of utilization of crop residues in the form of biochar, obtained by pyrolysis and used as soil amendment is presented.

In Bulgaria, the research in this area are scarce and insufficient. Globally, studies are made of about 10 years. Often the results are controversial, but several trends on the impact of BV on crop yield and soil properties are observed. A review of publications of foreign authors on that issue has been done.

Key words: biochar, soil amendment, soil properties, soil fertility, crop yields, microbial activity, greenhouse gas flux

Концепцията за устойчиво развитие предвижда „...развитие, което осигурява потребностите на настоящето поколение без да подкопава възможностите за задоволяване потребностите на бъдещите поколения“ (дефиниция на Световната Комисия по Околната среда и развитието (WCED) 1987.

В определението на WCED ударението се поставя върху ограниченото използване на невъзпроизводимите природни ресурси. Земеделието е един от основните замърсители на околната среда. В земеделското производство се използват и значителни количества енергия от невъзобновими източници. Терминът „устойчиво земеделие“ се появява след въвеждането на термина „устойчиво развитие“ през 1992 г. от срещата в Рио де Жанейро и е пряко свързан с него. Устойчивото земеделие интегрира три основни цели – здравословна околна среда,

икономическа рентабилност и социална и икономическа справедливост. Това означава, че подходът към цялото земеделско стопанство трябва да взема под внимание културните, социалните и природните ресурси – почвата, водата, въздуха, климата, биоразнообразието.

От 2007 година страната ни е член на ЕС и българското земеделие тръгна по нов път на развитие. Земеделските производители започнаха да получават субсидии по двата стълба на Общата селскостопанска политика (ОПС), задължавайки се да изпълняват определени дейности, свързани с опазването на околната среда. Европейското законодателство определя общите изисквания и стандарти за поддържане на земята в добро земеделско и екологично състояние (ЕС Регламент 73/2009, отменен от регламент N 1037 от 17.12.2013), които земеделските стопани

са длъжни да спазват. В съответствие с регламента в българското законодателство са разработени 5 групи национални стандарти по отношение на:

Почви: ерозия, органично вещество и структура на почвата;

Местообитания: минимално ниво на поддържане и предотвратяване на влошаването;

Води: опазване и управление.

Втората група стандарти касае запазване на органичните вещества в почвата посредством управление на стърнищата от полските култури:

Национален стандарт 2.2. Задължително е стърнищата от полски култури да се заорават в почвата за създаване на благоприятни условия за трансформиране в органично вещество и се забранява тяхното изгаряне.

В условията на 90-те години на миналия век се създадоха предпоставки (намален брой животни, прекратяване на използването на сламата в промишлеността) за възникването на сериозен проблем – по нивите остават огромни количества растителни остатъци след прибирането на културите. През последните години се разви порочната практика тези остатъци да се изгарят, което води до влошаване на почвеното плодородие и унищожаване на част от полезната почвена микрофлора и фауна. Изгарянето на стърнищата от полските култури на територията на страната е забранено със Закона за опазване на земеделските земи.

Сламата и растителните остатъци в полските сеитбообороти могат да се ползват както в агротехниката на отглеждане на полските култури чрез заораване, компостиране, мулчиране и др., така и като постеля за животни, за лехи на културни растения, като фураж, за брикетирание, за директно изгаряне в специални пещи, като суровина за различни промишлени производства. Директното изгаряне на растителни остатъци чрез пиролиза (анаеробен процес) води до образуване на 3 продукта:

- биогаз, който може да се използва като обикновен природен газ за отопление и производство на енергия, да се компресира и използва като гориво в превозни средства, да се напмпва и складира. От 1 m³ биогаз могат да се произведат 2 kWh електроенергия чрез изгаряне;

- течен продукт с висока топлинна стойност (20 – 25 MJ/kg);

- твърд продукт на пиролизата (биовъглен).

Биовъглен (БВ) може да се внася в почвата с цел подобряване на нейните свойства и намаляване на емисиите на CO₂, получени от естественото разлагане на друга биомаса. Той улавя значително количество въглероден двуокис.

Основните свойства на БВ са: 1) неговата висока устойчивост на разлагане; 2) високата му способност да задържа хранителни вещества в почвата, като предотвратява както измиването им с повърхностните води, така и преминаването им в подпочвените води.

За съжаление в България почти няма проучвания, свързани със свойствата на БВ, влиянието му върху свойствата на почвата и върху количеството и качеството на добивите от земеделските култури, както и върху съдържанието на CO₂ в атмосферата.

Провеждани са изследвания за влиянието на горските пожари върху съдържанието на въглерод в почвата и почвената микрофлора (Molla I. et al., 2013). За използването на биовъглен като подобрител на почвата е изпълнен проект към ССА „Технологии за оползотворяване на растителните остатъци в земеделието“ (Обобщен отчет 2013, ИПАЗР „Н. Пушкиров“). В рамките на две години беше проведен полски експеримент с пшеница и царевица в ротация с внесен БВ в почвата. Получени са резултати за ефекта на БВ върху количество и качество на добива, почвена микрофлора, износ на хранителни елементи и някои почвени характеристики (воднофизични, агрохимични и микробиологични). Периодът на изследване обаче е крайно недостатъчен за утвърждаване или отхвърляне на някои от наблюдаваните тенденции.

В световен мащаб за обединяване на усилията на учени и производители с цел изследване, както на енергийните свойства на биомасата, така и на ефекта на БВ върху плодородието на почвите, е създадена международна организация IBI (International Biochar Initiative). Засега по тези проблеми са публикувани доста резултати от изследвания в страни като Австралия, Южна Америка, Африка, Япония и много малко (почти никакви) в Европа. Изследванията са в няколко главни насоки:

- Въздействие на биовъглена върху доби-

ва на селскостопанските култури.

– Връзка биовъглен – торове и почвено плодородие

– Въздействие на БВ върху воднофизичните свойства на почвата

– Връзката биовъглен – почвена микробиологична активност и микробиологично разнообразие

– Въздействие на биовъглена върху потока на парниковите газове.

Биовъглен – добив

Повечето полски експерименти се фокусират върху изучаване на биовъглена като почвен подобрител и в тази връзка влиянието му върху добива от културите (царевица, пшеница, ориз, ечемик, соя, бобови и фуражни, лозя и др.) в различни райони на света и при различни почвено-климатични условия.

В редица опити се проучва добивът на царевица, отглеждана върху почва с включен биовъглен като почвен подобрител. В някои от тях прилагането на биовъглен увеличава добивите на царевица в сравнение с контролата с около 2,2 t/ha (Kimetu et al., 2008; Van Zwieten et al., 2009; Sukartono et al., 2011; Islami et al., 2011). Други изследователи констатират увеличение на добивите от царевица в диапазона от 20 до 140% в сравнение с контролния вариант, дължащо се на прибавяне на биовъглен (Oguntunde et al., 2004, Major et al., 2010, Crane-Droesch and Clare, 2012). Jones et al. (2011) не отчитат значителна разлика в добивите, дължаща се на биовъглена.

Спад в добивите от царевица в сравнение с контролните варианти през първата година на експеримента, а през втората – липса на статистически доказана разлика между контролните и вариантите с биовъглен отчитат Gaskin et al. (2010). Изследвания за влиянието на биовъглена върху добивите на пшеницата показват, че в зависимост от различните дози на биовъглена и на минералните торове, употребени съвместно с него, добивът се увеличава от 18% в сравнение с контролата (при прилагане на 6 t/ha биовъглен и половината от препоръчителните разтворими торове) до 48% – при доза 1,5 t/ha биовъглен и минерални торове (Solaiman et al., 2010). Според Blackwell et al. (2010) лентовото прилагане на биовъглен е най-ефективно по отношение

на повишаване добива на зърно от пшеница в сравнение с контролата, когато се прилага при норма от 1 t/ha заедно с 50 kg/ha фосфорен тор. В едно проучване на Genesio et al. (2012) се докладва за повишена почвена температура, дължаща се на намалени стойности на албедото на повърхността на почвата в резултат на прилагане на биовъглен. Това има положителен ефект върху покълването на семената, поникването и ранните фази на развитие на културите. Соята е друга култура, която е тествана с биовъглен в полски условия. Биовъглен, произведен чрез бърза пиролиза е бил приложен в доза 3,9 t/ha през първата година на мащабно проучване в Квебек, Канада (Husk and Major, 2011). През втората и третата година са засявани смесени фуражни видове. Добивът на растителна биомаса от соя в парцела с биовъглен се оказва с 20% по-голям от контролната площ. Фуражната биомаса се увеличава със 17% през втората година на парцела с биовъглен в сравнение с контролата, а на следващата година (третата) втората фуражна култура върху подобрена с биовъглен почва показва увеличение на добива от 4,1% спрямо контролните фуражни култури същата година.

Проучван е също и ефектът на биовъглена върху добива на някои бобови култури, както и на лозата. В смесено насаждение на шест вида бобови растения, тези от парцелите, торени с NPK и биовъглен от оризови люспи имали по-голям диаметър на стъблата, отколкото контролата след четвъртата година (Sovi et al., 2011). Въпреки това растежът на растенията не се е различавал значително с или без прилагане на биологични въглища. При изследване, проведено в шест различни лозарски района (Швейцария, Испания, Франция и Италия) авторите получават широк спектър от резултати с различни модели на реакции по отношение на подобренията с биологични въглища почви (Niggli and Schmidt, 2012). Установена е ясна, положителна тенденция в усвояването на основните хранителните вещества (P и K) от лозата в парцелите с биологичен въглен в сравнение с контролата.

Връзката Биовъглен – Торове – Почвено плодородие

В редица полски експерименти с приложен в

почвата биовъглен се изучава ефектът му върху почвеното плодородие когато е комбиниран с торове, като се проучват химичните промени в почвата, взаимодействието му с почвата, както и ефектът му върху растенията.

Така например в полски опит с ориз използването на биовъглен като почвен подобрител повишава рН, почвения органичен С, общия азот и намалява обемната плътност на почвата (Zhang et al., 2010). В опит с производство на пшеница е установено, че прилагането на биовъглен на ивици води да ранното развитие на кореновата система на растенията, което смекчава нарушенията на повърхностния слой на почвата и загуба от ветрова ерозия (Blackwell et al., 2010). В друго проучване, свързано с използване на дървени биовъглища при производство на царевица, и трева в Уелс, рН на почвата се покачва с 0,32 за две години (Jones et al., 2011).

Електропроводимостта, почвената влажност, общият N, разтворимият С, разтворимият N, наличният P, обменните Na и Ca, както и плътността на почвата не са повлияни значително от биовъглена в сравнение с контролата, където той не е прилаган. В двугодишно проучване на Petter et al. (2012), при което се изследва въздействието на биовъглена върху плодородието на почвата се установява, че след първата година торовете показват по-голям ефект в това отношение от биологичния въглен, тъй като БВ се прилага само веднъж през първата година, докато торът се добавя ежегодно. От гледна точка на износа на хранителни вещества при един опит в Западна Кения (Kimetu et al., 2008) се доказва, че концентрацията на азот в растенията е по-висока във вариантите с биовъглен независимо от деградацията на почвата (царевицата е отглеждана като монокултура в продължение на 85 години).

Концентрациите на P, K, Ca и Mg не са повлияни нито са намалели във вариантите с най-продължително отглеждане на културата, където е приложен биовъглен като почвен подобрител. В отделно проучване (Gaskin et al., 2010), изучаващо ефекта от БВ от борови стърготини и БВ от фъстъчени шушулки, по-значително, макар и краткотрайно въздействие върху рН на почвата, както и повишаване съдържанието на почвен K, Ca, и Mg е наблюдавано

в парцелите с БВ от фъстъчени шушулки.

Прибавянето на БВ от борови стърготини предизвиква увеличение на K в тъканите на царевицата. Друго изследване в Ланос Ориен-талис, Колумбия (Major et al., 2010) доказва, че съдържанието на Ca и Mg в почвата се увеличава със 77 – 320% в сравнение с контролите. Почвената реакция (рН) също е завишена във вариантите с БВ, което допринася и за подобряване на добива поради факта, че обикновено киселите тропически почви се алкализират. В изследването на Husk and Major (2011) върху фуражни растения и соя в Квебек, Канада, авторите наблюдават повишен износ на хранителни вещества в парцелите с биовъглен. При фуражните растения (райграс, червена детелина, тимотейка и овес) в парцелите с БВ съдържанието на протеини, мазнини, скорбяла и общи минерали – измерени като TDN (обща лесномилаема хранителна вещества) е по-високо в сравнение с контролите. Съдържанието на биофибри при същите растения обаче е понижено. Използването на дървени въглища като почвен подобрител в един експеримент в Ejura – Гана, увеличава рН на почвата, наситеността ѝ с бази, електропроводимостта и обменните Ca, Mg, K, Na, и P (Oguntunde et al., 2004). Почвената структура в парцелите с въглен е станала по-песъклива и е съдържала по-малко глина. Проучването постулира, че по-голямото съдържание на хранителни вещества вследствие на използвания БВ е довело до подобряване на добива от царевица с 91% (зърно) и с 44% (биомаса) в сравнение с контролата. Solaiman et al. (2010) доказват, че при почвите, подобрени с БВ се наблюдава ранен износ на хранителни вещества, което отчасти се дължи на по-големите количества биомаса и съответно по-високите им концентрации в тъканите на културите. Този факт се обяснява с по-високата норма на БВ (6 t/ha) – фактор, който би могъл да обясни и увеличението на добива от пшеница. Някои изследователи (Sun et al., 2012) са установили, че общото съдържание на С в почвата е увеличено значително пропорционално на нормата на БВ, варираща от 0 до 6 t/ha. Съдържанието на общият N в почвата леко се увеличава към края на изследването, докато промени в общия P и K не са отчетени. Съдържанието на N, и рН се увеличават в парцелите

с БВ в сравнение с контролата.

През първата година в друго изследване (Petter et al., 2012) почвите, на които е прилаган БВ показват определено увеличение на съдържанието на Ca, P, Al, рН, и общ органичен C. Според Sukartono et al. (2011) прилагането на БВ повишава нивото на наличния P, обменния K, Mg и Ca в сравнение с контролата, което е еквивалентно на наблюдаваните промени при прилагане на говежда тор. Castaldi et al. (2011) докладват за увеличение на обменния капацитет на почвата вследствие прилагане на БВ и подобряване на способността ѝ да задържа хранителните вещества.

Водни свойства на почвата

Изследване на Asai et al. (2009) в северен Лаос доказва, че по-високите норми на БВ подобряват водопропускливостта на почвата и водозадържащата ѝ способност, което повишава количеството на общодостъпната за растенията вода. Според Liu et al. (2012) прилагането на смес от компост и БВ в почва от Североизточна Германия оказва по-добър ефект върху достъпната вода в сравнение с прилагането само на компост особено по отношение на задържането ѝ. Blackwell et al. (2010) наблюдават, че ниските норми на БВ (около 1 t/ha прилаган лентовидно) повишават добива от царевица, което се дължи на по-добро водоснабдяване.

Микробна активност и микоризна колонизация

Няколко независими източника потвърждават положителния ефект на БВ върху микоризната коренова колонизация и полезната микробна активност в почвата. Добавянето към почвата на БВ, комбиниран с инокулирани минерални торове при производство на пшеница в Австралия е причина за повишена микоризна колонизация през втората половина на вегетационния период (Solaiman et al., 2010). Проучването доказва, че допълнителната маса от колонизацията с гъбни хифи от *Arbuscular mycorrhiza* (AM) може да допринесе за толерантност на пшеницата към стрес от засушаване и за повишаване на добива. БВ директно стимулира микоризната коренова колонизация, което има положителен ефект върху растежа и добивите от зърнените кул-

тури в условията на експеримента. Хифите на AM могат да подобрят водните запаси, което смекчава стреса от засушаване и подобрява устойчивостта на растенията.

Подобни резултати получават и Blackwell et al. (2010). Според тях по-добри водни запаси през сухите сезони и при почви с ниско съдържание на фосфор се наблюдават в парцелите с БВ поради увеличена AM гъбна колонизация. В друго проучване за оценка на въздействието на БВ при производството на царевица в Западна Кения се постулира, че едно от възможните обяснения за повишаване на продуктивността на растенията вследствие прилагане на БВ като почвен подобрител е ефектът му върху достъпната за растенията почвена влага и върху микробните популации и тяхната динамика (Kimetu et al., 2008). В едно полско проучване в Абергингегин, Уелс, е наблюдавано увеличение на нормата на растеж при гъби и бактерии през втората година след прилагането на БВ (Jones et al., 2011). Освен това микробната колония е напълно установена на третата година. Значително нарастване на бактериите, сравнено с актиномицетите за сметка на драматичен спад в количеството на гъбите в почви с БВ докладват Sun et al. (2012).

Биовъглен и парникови газове

Анализи за емисиите на парникови газове, свързани с използването на БВ като почвен подобрител показват променливост по отношение на ефекта на БВ върху способността на почвата да намалява тези емисии. Някои от променливите и противоречиви доказателства може да се дължат на липса на данни за състава на БВ, използван в полските опити. Едно изследване, свързано с ефекта на БВ като почвен подобрител върху обмена на парникови газове (N_2O , CH_4 , и CO_2) между почва и атмосфера в интензивно пасище в New South Wales, Австралия, отчита значителни емисии на N_2O и CO_2 за сметка на нетната редукция на CH_4 , сравнено с контролата (Scheer et al., 2011). Според същото изследване емисиите на N_2O са епизодични – в частност имало е един основен импулс, който следва период на силен дъжд. Като цяло няма значителна разлика в нетния поток на парникови газове при почви, подобрени с БВ и такива без БВ. Доказано е,

че БВ, приложен в доза 40 t/ha значително увеличава емисиите на CH₄ в оризища, които се обработват, в сравнение с контролните парцелки с и без азотно торене (Zhang et al., 2010). В същото време е отчетено драматично намаление на директните емисии на N₂O, както и на непреките емисии на CO₂, дължащо се на факта, че БВ намалява нуждата от торене с азот.

От няколко по-скорошни изследвания са публикувани констатациите по отношение на емисиите на парникови газове. Авторите на полски опит с биологични въглища наблюдават увеличение на стабилния почвен органичен С в третираните с БВ почви, което дава основание да се смята, че БВ притежава потенциал за „улавяне“ на С от атмосферата (Sukartono et al., 2011). Според други автори

(Castaldi et al., 2011) прилагането на БВ води до минимални промени в потоците на парникови газове в сравнение с контролите през първите 14 месеца. Двугодишно проучване на ориз, отглеждан върху почва с БВ установява, че прилагането на биологични въглища намалява емисиите на N₂O и повишава емисиите на CH₄ по време на вегетационния период и за двете години на опита в сравнение с контролните варианти без значима разлика в С интензитет при различни норми на БВ – 10 t/ha и 40 t/ha (Zhang et al., 2012).

В проучване за връзката между албедото на почвата и БВ е установено, че прилагането на БВ в почвата намалява албедото по време на цялата вегетация с 40% (в сравнение с контролите), което води до повишаване на почвената температура (Genesio et al., 2012).

Заклучение

От направения преглед става е ясно, че БВ е обект на доста научни изследвания през последните десет години. Различните аспекти на влияние на биовъглена върху почвените свойства и добива от селскостопанските култури, както и върху емисиите на парникови газове в атмосферата са проучвани за различни почвено-климатични условия и технологии на земеделско производство. Резултатите са много разнообразни, понякога и доста противоречиви. Очертават се няколко тенденции за доказването на които е необходимо още експериментално време. В България проучванията са малко и недостатъчни. Нуждата от алтернативно оползотворяване на растителните остатъци е повод да се започнат сериозни изследвания в тази област. Биовъгленът може да се окаже добро решение за подобряване на някои почвени свойства, за намаляване на торовите норми и повишение на добивите.

Литература

Asai, H., B. Samson, H. Stephan, K. Songyikhangsuthor, K. Homma, Y. Kiyono, Y. Inoue, T. Shiraiwa and T. Horie. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. Soil Physical Properties, Leaf SPAD and Grain Yield. *Field Crops Research*, 111.1-2: 81-84

Blackwell, P., E. Krull, G. Butler, A. Herbert and Z. Solaiman. 2010. Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in South-Western Australia: An agronomic and economic perspective. *Australian Journal of Soil Research*, 48, 7: 531-45

Council Regulation (EC) No. 73/2009 establishing common rules for direct support schemes for farmers under the common agricultural policy and establishing certain support schemes for farmers, amending Regulations (EC) No. 1290/2005, (EC) No. 247/2006, (EC) No. 378/2007 and repealing Regulation (EC) No. 1782/2003.

Crane-Droesch, A., and A. Clare. 2012. Biochar increases maize yields and smallholder profitability: Evidence from Western Kenya. University of California, Berkeley. In Review.

Gaskin, J. W., R. A. Speir, K. Harris, K. C. Das, R. D. Lee, L. A. Morris and D. S. Fisher. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102.2: 623-33

Castaldi, S., M. Riondino, S. Baronti, F. R. Esposito, R. Marzaioli, F. A. Rutigliano, F. P. Vaccari and F. Miglietta. 2011. Impact of biochar application to a mediterranean wheat crop on soil microbial activity and greenhouse gas fluxes. *Chemosphere*, 85, 1464-471

Genesio, L., F. Miglietta, E. Lugato, S. Baronti, M. Pieri, and F. P. Vaccari. Surface albedo following biochar application in durum wheat. 2012. *Environmental Research Letters*, (7) 1.

- Husk, B. and J. Major.** 2011. Biochar commercial agriculture field trial in Québec, Canada – Year Three: Effects of biochar on forage plant biomass quantity, quality and milk production.
- Islami, T., B. Guritno, N. Basuki and A. Suryanto.** 2011. Maize yield and associated soil quality changes in cassava + maize intercropping system after 3 years of biochar application. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 1.7: 112-15
- Jones, D. L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T. H., Murphy, D. V.** 2011. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. Environment Centre Wales, Bangor, UK.
- Kimetu, J. M., J. Lehmann, S. O. Ngoze, D. N. Mugendi, J. M. Kinyangi, S. Riha, L. Verchot, J. W. Recha and A. N. Pell.** 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems*, 11.5: 726-39. Print
- Liu, J., H. Schulz, S. Brandl, H. Miehtke, B. Huwe and B. Glaser.** 2012. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 1-10
- Major, J., M. Rondon, D. Molina, S. J. Riha and J. Lehmann.** 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian Savanna Oxisol. *Plant Soil*, 333: 117-28
- Molla, I., E. Velizarova, B. Malcheva, V. Bogoev, Y. Hadzhieva.** 2013. Forest fire impact on the soil carbon content and stock on the north slopes of Rila mountain. Second anniversary scientific conference on ecology, SACE 2013, Plovdiv, Bulgaria.
- Niggli, C. and H.-P. Schmidt.** 2012. Biochar in European viticulture: Results of the 2011 season. *Ithaka Journal* n. pag.
- Oguntunde, Ph. G., M. Fosu, A. E. Ajayi and N. Van De Giesen.** 2004. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 39, 4: 295-99
- Petter, F. A., B. E. Madari, M. A. Soler Da Silva, M. Carneiro, M. T. De Melo Carvalho, B. Junior and L. P. Pacheco.** 2012. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 5: 699-706
- Report of the World Commission on Environment and Development, Our Common Future. 1987. United Nations.
- Regulation EU No 1307/2013** of the European Parliament and of the Council, 2013. Official Newspaper of EU, 20.12.2013, 347/608
- Scheer, C., P. R. Grace, D. W. Rowlings, S. Kimber and L. V. Zwieten.** 2011. Effect of biochar amendment on the soil-atmosphere exchange of greenhouse gases from an intensive subtropical pasture in Northern New South Wales, Australia. *Plant Soil*, Springer Science.
- Solaiman, Z. M., P. Blackwell, L. K. Abbott and P. Storer.** 2010. Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonisation, growth and nutrition of wheat. *Australian Journal of Soil Research*, 48, 7: 546-54
- Sovu, M. T., P. Savadogo and P. Ch. Oden.** 2012. Facilitation of forest landscape restoration on abandoned swidden fallows in Laos using mixed-species planting and biochar application. *Silva Fennica*, 46, 1: 39-51
- Sukartono, W., H. Utomo, Z. Kusuma and W. H. Nugroho.** 2011. Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar and cattle manure application on Sandy Soils of Lombok, Indonesia. *J. of Tropical Agriculture*, 49, 1-2 (2011): 47-52
- Sun, D., M. Jun, W. Zhang, X. Guan, Y. Huang, Yu Lan, J. Gao and W. Chen.** 2012. Implication of temporal dynamics of microbial abundance and nutrients to soil fertility under biochar application – field experiments conducted in a Brown Soil cultivated with soybean, North China. *Advanced Res. Materials*, 518-523
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Orr, L., Morris, S., Downie, A., Sinclair, K., Joseph, S. D., Chan, K. Y.** 2009. Agro-economic valuation of biochar using field-derived data. Proc. 1st Asia Pacific Biochar Conference, Gold Coast Australia; ISBN 978 0 7347 1973 7.
- Zhang, A., L. Cui, G. Pan, L. Li, Q. Hussain, X. Zhang, J. Zheng and D. Crowley.** 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake Plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139.4: 469-75
- Zhang, A., Rongjun, B., G. Pan, L. Cui, Q. Hussain, L. Li, J. Zheng, J. Zheng, X. Zhang, X. Han and X. Yu.** 2012. Effects of Biochar Amendment on Soil Quality, Crop Yield and Greenhouse Gas Emission in a Chinese Rice Paddy: A Field Study of 2 Consecutive Rice Growing Cycles. *Field Crops Research*, 127: 153-60