

Terra Preta und Vorteile von Biokohle für die Umwelt

Ein kurzer Überblick der Literatur

Terra Preta

Beschreibt eine „sehr dunkle, von Menschen gemachte, vollwertige, dichte Erde, die im Amazonas-Becken gefunden wurde“, auch „schwarze Erde“ genannt. Diese Erde beinhaltet hohe Konzentrationen von Holzkohle (woher Terra Preta seinen Namen hat), Knochen und Dung. Sie ist sehr stabil und bleibt für Tausende von Jahren erhalten. Sie beinhaltet hohe Konzentrationen an Kohlenstoff und Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor, Kalzium, Zink und Mangan. Sie zeigt ein hohes Maß an mikroorganischen Aktivitäten und anderen spezifischen Charakteristika, was verspricht, auf Dauer das „Nährstoffauswaschungs-Problem“ der Regenwälder zu lösen. ⁽¹⁾

Neben der „Nährstoffauswaschung“ ist die Umweltverbesserung durch die Reduzierung der Bio-Verfügbarkeit von Schadstoffen, durch die Absonderung von Kohlenstoff, der Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen und der Förderung der Ernteproduktivität unser gegenwärtiges Ziel, wenn Biokohle verwendet wird. ⁽²⁾

Durch die Umwandlung von unterschiedlicher Biomasse (Holz-Biomasse, pflanzliche Biomasse sowie landwirtschaftliche Nebenprodukte oder landwirtschaftlicher Abfall) in Biokohle kann ein „natürlicher“ Bodenconditionierer produziert werden, was viele Vorteile bringt.

Vorteile von Biokohle in der Landwirtschaft

Am interessantesten ist die Verbesserung der Produktivität des Bodens um bessere Ernte-Erträge zu bekommen. Dieser Effekt von Biokohle auf den Boden ist ein allgemein bekannter Vorteil und es gibt viele Forschungsergebnisse, die diese Tatsache unterstützen. Die Durchsicht einiger Studien zeigt bedeutende aber unterschiedliche positive Effekte bei der Getreideproduktion von ca. 10% bis 39%, als Antwort auf die Beigabe von Biokohle zur Erde, siehe ein Beispiel einer Zusammenfassung in Abbildung 1. Gründe für diesen positiven Effekt werden nachstehend angeführt. ⁽³⁾

Positive Effekte der Anwendung von Biokohle in der Erde um die Ernte zu verbessern:

- pH-Wert

Die Zugabe von Biokohle zum Boden verstärkt die Produktivität von Getreide mittels eines hohen Düngerpotenzials, das den pH-Wert des Bodens erhöht.. Besonders der pH-Wert von stark verwitterter Erde kann positiv verändert werden. ⁽³⁾

- Bodentextur

Besonders mittlere und grobe Texturen an beigemengter Biokohle erhöhen die Ernte-Produktivität. Die Textur beeinflusst auch die Wasserspeicher-Kapazität. ⁽³⁾.

- Pflanzliche Biomasse und Ernte-Ertrag

Die Zugabe von Biokohle führt zu einer statistisch signifikanten Erhöhung sowohl der Biomasse-Produktion und als auch des Ernte-Ertrags (Früchte und Getreide, d.h. ca. dreimal höher). ⁽⁴⁾

- Nützliche Mikroben in der Erde

Die Zugabe von Biokohle verstärkt die mikrobiell herbeigeführte Nährstoff-Mobilisierung von S und P, das führt zu einem erhöhten Pflanzenwachstum. Die Pflanzen sind angewiesen auf die Mikroorganismen um organisch und anorganisch gebundenen Schwefel (S) und Phosphor (P) zu mobilisieren, die die Pflanze dann leicht verwerten kann. ⁽⁵⁾

- Wasserspeicherungskapazität (WHC)

Feldversuche zeigen, dass die Anwendung von Biokohle die Fähigkeit der Wasserspeicherung der Erde um 11% steigert. ⁽⁶⁾

Labortests bezüglich der Kapazität zur Wasserspeicherung gemäß DIN ISO 14238-2011 zeigen, dass sich bei bis zu 10% Biokohle-Konzentration die Fähigkeit der Wasserspeicherung einer lehmigen, sandigen Erde um ca. 1,7% Masse für jeweils 1% zugegebener Biokohle erhöht. ⁽⁷⁾. Die Fähigkeit Wasser zu speichern ist wichtig, denn es erhöht den Ernteertrag und verringert die Notwendigkeit der Bewässerung. ⁽⁸⁾.

- **Verbesserte Verfügbarkeit von Nährstoffen**

Mit der SEM-EDS-Methode konnten Nährstoffe auf der Oberfläche von Biokohle identifiziert werden. N, P, K, S und Mg, die Bestandteile eines konventionellen Düngers sind, verbleiben überwiegend während der Biokohle-Produktion in der Biokohle. Zum Beispiel, die gesamte Menge von Stickstoff in unterschiedlicher Biokohle variierte zwischen 1,8 und 56,4 g/kg. Die Gesamtmenge von P und K variierte jeweils zwischen 2,7 – 480 und 1,0 – 58,30 g/kg. Biokohle ist ein vielversprechender Zusatz zur Erde um den Verlust von Stickstoff zu reduzieren und die Fruchtbarkeit des Bodens zu verbessern. ⁽⁹⁾

- **Kationenaustauschkapazität CEC**

Pflanzen können Nährstoffe nur als Mineralsalze aufnehmen, die in einer Lösung als elektrisch geladene Ionen vorhanden sind. Die Zugabe von Biokohle zur Erde verursachte eine signifikante Zunahme bei der CEC und bei der Menge an austauschbaren Kationen (reversible gebundene positiv aufgeladene Nährstoffe, z.B. Ca, K, Mg) in der veränderten Erde, das zeigt eine Verbesserung der Fruchtbarkeit des Bodens und der Erhaltung von Nährstoffen. Biokohle beinhaltet auch bioverfügbare Elemente, die die handelsüblichen Dünger nicht beinhalten, z.B. Selen, das dabei hilft, das Wachstum des Getreides zu verstärken. Die Verbesserung der CEC kann der hohen spezifischen Oberflächen von Biokohle (bis zu 340m²/g) zugeschrieben werden, das aus seiner porösen Struktur resultiert. Die langsame Oxidation der Biokohle vermehrt zusätzlich die Anzahl von Carbonsäure-Gruppen, die umgekehrt die CEC der veränderten Erde erhöhen. ^(10x11)

- **Reduzierung von Schwermetall-Verunreinigung**

Die Gründe für die Schwermetall-Verunreinigung von landwirtschaftlichen Böden sind oft nicht klar, stellen aber ein Risiko für die Gesundheit des Menschen dar, denn die Pflanzen nehmen die Schwermetalle des Bodens auf. Es ist anzunehmen, dass die hochspezifische Oberfläche (SSA), Porosität und CEC (mit organisch funktionellen Gruppen) von Biokohle eine wichtige Rolle in der Adsorption und der Fixierung von Schwermetallen und der Bildung von Spurenelement-Komplexen spielt. ⁽¹²⁾

Biokohle kann nahezu jede Erde verbessern. Diese Tatsache verringert den Bedarf an Dünger, verringert den Wasserverbrauch, verbessert die Wasserwirtschaft, erhöht die landwirtschaftliche Produktivität, reduziert den benötigten Platz für die Lebensmittelproduktion und hat die Tendenz zur Reduzierung von Schwermetall-Kontaminierung von landwirtschaftlichen Produkten. Bestimmte Gebiete mit geringer Niederschlagsmenge oder nährstoffarme Erde werden von der Anwendung der Biokohle besonders profitieren.

Autoren	Übersicht der Studien	Zusammenfassung der Resultate
Iswaran et al (1980)*	Erbsen, Indien	0,5 Mgha-1 Kohle vermehrt Biomasse 160%
Iswaran et al (1980)*	Mungbohne	0,5 Mgha-1 Kohle vermehrt Biomasse 122%
Kishimoto & Sugiura (1985)*	Sojabohnen aus Vulkanasche Lehm, Japan	0,5 Mgha-1 Kohle vermehrt Ernte 151% 5 Mgha-1 Kohle verringert den Ertrag auf 63% 15 Mgha-1 Kohle verringert Ernte auf 29%
Kishimoto & Sugiura (1985)*	Zuckerbäume auf Lehm , Japan	0,5 Mgha-1 Holz-Holzkohle vermehrt Biomasse 249% 0,5 Mgha-1 Rinde Holzkohle vermehrt Biomasse 324% 0,5 Mgha-1 aktivierte Holzkohle vermehrt Biomasse 244%
Chidumayo, (1994)*	Orchideenbäume auf Affisol (Ultisol)	Holzkohle vermehrt Biomasse um 13% und die Höhe um 24%
Glaser (2002)	Langbohne auf Xanthic Ferralsol	67 Mgha-1 Kohle vermehrt Biomasse 150% 135 Mgha-1 Kohle vermehrt Biomasse 200%
Lehmann (2003)	Boden-Fruchtbarkeit und Nährstoff-Speicherung; Langbohnen wurden in Töpfen gepflanzt und Reispflanzen in Lysimetern in Embrapa Amazonia Ocidental, Manaus, Brasilien	Die Zugabe von Biokohle vermehrte die Biomasse-Produktion bedeutend auf 38 bis 45% (es wurde kein Ertrag angegeben)
Oguntunde (2004)	Vergleich von Maisernte zwischen stillgelegten Holzkohle-Produktionsstätten und benachbarten Feldern. Kotokosu Waterhed. Ghana	Kornertrag 91% höher und Biomasse Ertrag 44% höher an Holzkohle-Stätten als kontrollierte
Yamato (2006)	Mais, Langbohne und Erdnuss-Versuche in Gebieten mit niedriger Fruchtbarkeit der Erde	Acacia Rinde-Holzkohle plus Dünger erhöht den Mais- und Erdnuss-Ertrag (aber nicht Langbohne)
Chan (2007)	Topf-Versuch mit Rettichen in schwerem Boden mit Verwendung von handelsübliche Biokohle aus grünem Abfall (3 Stufen) mit und ohne N	100 t ha ⁻¹ erhöhter Ertrag x3, lineare Erhöhung 10 bis 50 t ha ⁻¹ – aber keine Auswirkung ohne den Zusatz von N
Rondon (2007)	Verstärkte biologische N-2 Fixierung (BNF) durch übliche Bohnen durch Biokohle-Zugaben. Columbien	Bohnen-Ertrag erhöht um 46% und die Biomasse-Produktion 39% bei der Kontrolle bei 90 und 60 g kg(-1) Biokohle, entsprechend
Steiner (2007)	Vier Erntezyklen mit Reis (Oriza sativa L.) und Sorghum (Sorghum bicolor L.)	Holzkohle vermischt mit Hühnermist , die Mischungen ergaben den höchsten kumulativen Ernteertrag (12,4 Mgha ⁻¹
Kimetu et al. (2008)	Verringerung der Erd-Abtragung mit Biokohle. Vergleich von Mais-Erträgen in degradiertem kultiviertem Boden mit Gefälle	Verdoppelung der Getreideernte in stark degradiertem Boden von ca. 3 bis 6 Tonnen/ha Mais-Getreide-Ertrag

Tabelle 1: Auswahl an Biokohle-Studien/Experimenten und von erreichtem Ernteertrag.
Quelle: Biokohle als Boden-Veränderung: Ein Überblick der Umwelt-Einflüsse, D. Woolf (2008) ⁽¹³⁾

Vorteile von Biokohle zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen

Es gibt viele positive Eigenschaften von Biokohle um die Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren. Sie erstrecken sich von der direkten Treibhausgas-Emissions-Reduktion aufgrund der Kombination der Bioenergie-Gewinnung aus Pyrolyse-Gas (das selbst CO₂-neutral ist) und der Speicherung von bis zu 50% von Biomasse-Kohlenstoff in fester Biokohle. Es gibt indirekte Auswirkungen aufgrund des Einflusses von Biokohle auf Bodenemissionen im Hinblick auf N₂O und CH₄.. Das hat sogar einen Effekt auf die Treibhausgas-Emissionen durch die Reduzierung der Auswaschung von Stickstoff in das Grundwasser, wenn man Biokohle als Bodenkonditionierer verwendet.

Biokohle hat eine Sorptions-Fähigkeit für eine große Palette an organischen und anorganischen Nährstoffelementen (z.B. NH₄⁺, HPO₄ und H₂PO₄), löst organischen Kohlenstoff sowie sorbiert CO₂ und O₂.

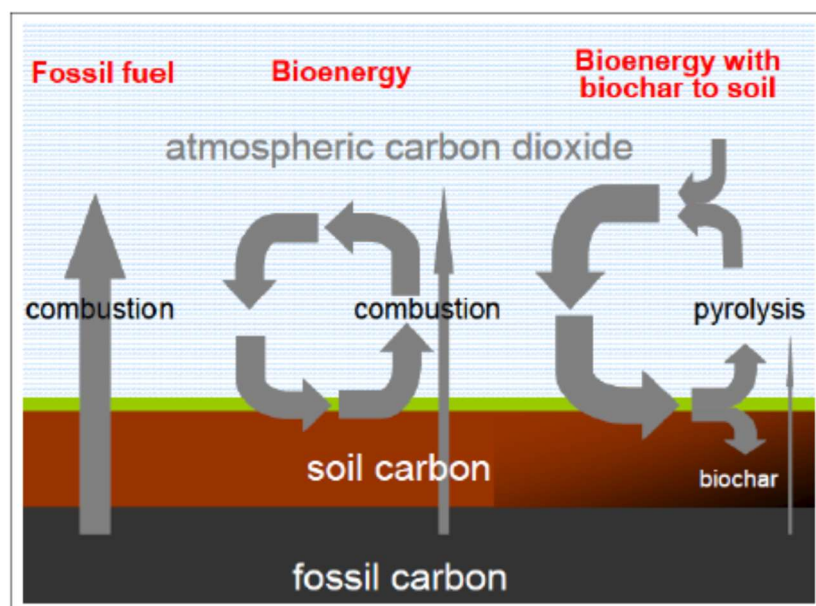


Abbildung 1: Kohlenstoff (Dioxide)-Zyklus ⁽⁸⁾

Biokohle-Anwendung und die Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen:

- Kohlenstoffbindung (langfristige Lagerung) in der Erde

Biokohle ist pyrolysierte Biomasse, die sonst durch biologische oder chemothermische Zersetzung in Kohlenstoffdioxid umgewandelt wird (z.B. Kompostierung oder Verbrennung). Wenn Biokohle als Kohlenstoff-reiches Material als Bodendünger verwendet wird, ist der Kohlenstoff langfristig resistent gegen Oxidation und gelangt nicht als Treibhausgas in die Atmosphäre. Der Teil des Kohlenstoffs, der als Treibgas während der Pyrolyse (Pyrolyse-Gas) freigesetzt wird, wird für die Energieproduktion verwendet und könnte fossile Brennstoffe ersetzen. ^{(13), (18)}. Obwohl Kohlenstoff letztlich als CO₂ frei gesetzt wird, wird der Kohlenstoff im Pyrolyse-Gas als CO₂ – neutral angesehen, da er wiederum im Pflanzenwachstum gebunden wird. Die Kombination von Bioenergie-Produktion und Biokohle-Verwendung in der Pyrolyse kann als Kohlenstoff-Senkung angesehen werden, da im

Lebenszyklus einer Pflanze mehr Kohlenstoff gebunden wird als in die Atmosphäre geleitet wird.

- **Fixierung von N₂ durch Bodenbakterien**

Atmosphärisches N₂ kann mittels diazotrophe Bakterien fixiert werden. Diese Bodenbakterien nützen die Porosität von Holzkohle und verwenden die feinen Poren als Lebensraum. Wenn auch Fe und Mo zur Verfügung stehen und der N-Gehalt von Biokohle niedrig ist, wie das normalerweise der Fall ist, wird die Bildung von diazotrophen Kolonien in der Biokohle verstärkt und mehr atmosphärisches N₂ wird fixiert. ⁽¹⁴⁾

- **Mit Biokohle verbesserte Böden setzen weniger Methan und salpeterhaltige Oxide frei**

Bodenkultivierung, Feuchtigkeitsregulierung und physikalische Präsenz des Wassers im Boden sind verantwortlich für natürliche salpeterhaltige Oxid-Emissionen. Die Mechanismen der N₂O-Produktion sind die biologische Umwandlung, wie Nitrifikation, Nitrifikationsdenitrifikation und Denitrifikation, die den physikalischen Eigenschaften des Bodens ähnlich sind, wie Wasserresistenz, Sauerstoffsättigung und Porosität. Studien zeigten, dass Biokohle durch Kationenaustausch effizient Ammonium (NH₄⁺) speichert und auch Anionen wie Nitrate (NO₃⁻) speichert, aufgrund von erhöhter Durchlüftung des Bodens, aber auch aufgrund des Vorkommens an mikrobiischen Hemmstoff-Anteilen. Diese Formen an Stickstoff können von Anlagen aufgenommen werden und können die Menge an N reduzieren, die für die Verringerung der Denitrifikation wie N₂O verfügbar ist.

Aufgrund des positiven Einflusses von Biokohle auf die Fruchtbarkeit des Bodens kann die Menge an synthetischen Düngern reduziert werden. Die internationale Kommission zum Thema Klimawandel schätzt, dass 1,3% der verwendeten synthetischen N-Dünger durch Nitrifikation und Denitrifikation in N₂O umgewandelt wird, direkt oder indirekt, mittels Verdampfung oder Auswaschung ⁽¹⁷⁾.

Studien zeigen, dass ca. 12% der globalen Methan-Emissionen vom landwirtschaftlichen Boden produziert werden, der für die Kultivierung von Reis verwendet wird. Einige Studien beschreiben, dass Biokohle im Boden Methan-Emissionen unterbinden kann. Die erhöhte Boden-Belüftung aufgrund der erhöhten Porosität könnte die CH₄-Produktion verringern. ^{(15) (17)}

- **Reduktion von CO₂**

Emissionen von CO₂ könnten durch die Adsorption von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) auf der Oberfläche der Biokohle oder durch die Förderung der Bildung von Bodenaggregaten durch Biokohle reduziert werden, in diesem Boden können organische Stoffe (SOM) vor der Zersetzung geschützt werden. Die Verwendung von Biokohle als Bodenconditionierer kann auch die Emissionen von CO₂ (und N₂O) reduzieren, indem der Bedarf an synthetischen Düngern ersetzt oder reduziert wird. Synthetische Stickstoff-Dünger haben einen bedeutenden Kohlenstoff-Footprint, mit geschätzt über 4 t CO₂ Emissionen pro t an produziertem Stickstoff-Dünger. ⁽¹⁶⁾

Vorteile von Biokohle zur Reduzierung von fossiler Brennstoff-Energie

Die Nebenprodukte der Biokohle-Produktion sind abhängig von der angewendeten Pyrolyse-Technik. Sie beinhalten unterschiedliche Mengen und Qualitäten an Kohle, flüssige Bio-Öle und Teere und gasförmiges Syngas.

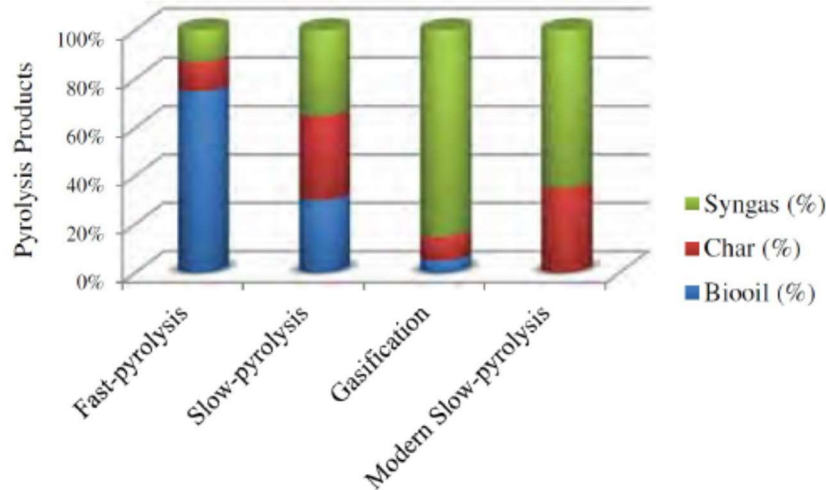


Abbildung 2: Produkte und Nebenprodukte bei unterschiedlicher Technologie der Biokohle-Produktion. ⁽¹⁶⁾

Bei Anwendung von moderner langsamer Pyrolyse kann Biokohle als Bodenkonditionierer oder als Brennstoff mit einer hohen Energiedichte verwendet werden und das Syngas kann für die Energiegewinnung statt fossiler Brennstoffe verwendet werden. Diese Art der Energie ist „erneuerbare“ Energie und ist oft verbunden mit steuerlichen Vorteilen oder anderem Nutzen, da sie auch mit der Reduzierung von Treibhausgasen verbunden ist.

Zusätzliche Vorteile von Biokohle sind im Vergleich zu Biomasse billigerer Transport aufgrund von verringerter Masse, Volumen und Wassergehalt. Biokohle kann aus unterschiedlichen Rohstoffen produziert werden. Abhängig von der Qualität der Biomasse wird der Transport zum Endverbraucher variieren. Der Transport von nasser Biomasse mit geringerer Qualität verbraucht mehr fossile Brennstoffe als der Transport von pyrolysierte Biomasse (Biokohle) mit allen beschriebenen Vorteilen. Auch die Verwendung von fossilen Brennstoffen für intensive Bodenbearbeitung ist nicht notwendig, wenn man Biokohle als Bodenkonditionierer anwendet. Zusätzliche Einsparung von Energiekosten entsteht bei einem durch Biokohle verbessertem Boden, aufgrund der höheren Wasserspeicher-Fähigkeit von Biokohle und die dadurch verringerte Bewässerungshäufigkeit bzw. -Intensität. ⁽⁸⁾

Vorteile von Biokohle in der Abfallwirtschaft

Für die Produktion von Biokohle kann jede Art von Biomasse verwendet werden. Auch Biomasse mit „geringer Qualität“ oder spezifischer, organischer Abfall kann für die Produktion von Biokohle verwendet werden.

Beispiel, Papierschlamm:

Weltweit werden jährlich ca. 300 Millionen Tonnen an Papier und Karton produziert. Ca. 2 – 4% (Trockengewicht) an Papierschlamm ist Abfall oder ein Abfallprodukt der

Papierproduktion. Die Abfallbeseitigung des Papierschlammes ist weltweit eine bedeutende Herausforderung für die Papier- und Zellstoffindustrie. ⁽¹⁶⁾ Dieser Schlamm-Abfall wird generell auf Deponien abgelagert, wo er sich zersetzt und das starke Treibhausgas Methan entsteht. Die thermische Verwertung wird auch für einen Teil des Schlammes durchgeführt, das kann aber sehr hohen Energieverbrauch bedeuten, da zuerst das nasse Material getrocknet werden muss und der Papierschlamm unerwünschte Substanzen beinhalten kann, wie ein hoher Gehalt von Chlor, was eine sehr intensive Rauchgasreinigung bedeutet. Die Bedeutung der Beseitigung von Abfall in der Papierindustrie, der in den Deponien lagert, wurde in Europa hervorgehoben, wo die Gesetzgebung und erhöhte Steuern die Wiederverwertung des Abfalls durch Energierückgewinnungs-Projekte oder Aufbringung auf den Boden fördert. ⁽⁴⁾

Beispiel Biokohle tierischen Ursprungs unter Verwendung von „Hühnereinstreu“:

Hühnereinstreu ist Abfall, der auch oft auf Deponien abgelagert wird. Die Verwendung als Dünger ist oft aufgrund von möglichen schädlichen Substanzen nicht offiziell genehmigt. Eine thermische Verwertung ist in Abfall-Verbrennungs-Anlagen möglich, ist aber teuer. Die Pyrolyse von Hühnereinstreu ist eine Alternative. Biokohle aus Hühnereinstreu ist sehr reich an Stickstoff und Nährstoffen und ein sehr guter natürlicher Dünger, wenn der Schwermetall-Gehalt kontrolliert werden kann. Die Gesamt-Entsorgungskosten werden reduziert, Energie kann teilweise rückgewonnen werden und die Schädigung der Umwelt wird minimiert. ⁽¹⁶⁾

Papierschlamm und Hühnereinstreu sind nur 2 Beispiele für ein Abfall-Management, wo Umwelt-Vorteile zusätzlich Kostenersparnis bedeuten und die produzierte Biokohle eine gute Qualität zeigt.

Literatur:

- (1) <http://www.pronatura.org/wp-content/uploads/2013/02/History-of-biochar.pdf>
Conquistadors, cannibals and climate change A brief history of biochar; ProNatura International (2012)
- (2) <http://www.extension.uidaho.edu/nutrient/culturalpractices/PDF/Environmental%20Benefits%20of%20Biochar.pdf>
Environmental Benefits of Biochar; James A. Ippolito, David A. Laird, and Warren J. Busscher
- (3) https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjL5pPN_erdAhXM3KQKHxjDBbsQFjABegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FAnoop_Srivastava7%2Fpost%2FExplain_the_role_of_biochar_in_trace_metal_inactivation_and_nutrient_management%2Fattachment%2F59d645f379197b80779a102c%2FAS%253A455415487045637%25401485590921816%2Fdownload%2FA_quantitative_review_of_the_effects_of.pdf&usq=AOVvaw2sux5SjmaSEFqAh4X2n4zd
A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis; S. Jeffery a, F.G.A. Verheijena,d, M. van der Veldea,b, A.C. Bastosc (2010)
- (4) https://www.researchgate.net/publication/202860917_Effects_of_biochar_from_slow_pyrolysis_of_paper_mill_waste_on_agronomic_performance_and_soil_fertility

- Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility; L. Van Zwieten, S. Kimber, S. Morris, K.Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph, A. Cowie
- (5) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1574-6941.12374>
The role of sulfur- and phosphorus-mobilizing bacteria in biochar-induced growth promotion of *Lolium perenne*, Aaron Fox, Witold Kwapinski, Bryan S. Griffiths, Achim Schmalenberger (2014)
- (6) https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjJtcfToOvdAhUkqYsKHRBEATwQFjABegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FAnoop_Srivastava7%2Fpost%2FWhich_specific_experiments_should_be_done_in_lab_to_test_water_holding_capacity_of_biochar_before_I_go_for_field_application_at_larger_scale%2Fattachment%2F59d6335679197b8077991035%2FAS%253A374231952052224%25401466235258039%2Fdownload%2FBiochar2011.pdf&usq=AOvVaw26Gam_qPwv2YgYxE4XlzlV
Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study, Kristiina Karhua, Tuomas Mattilab, Irina Bergströma, Kristiina Reginac (2010)
- (7) <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-4-44>
Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil; Ok-Youn Yu, Brian Raichle, Sam Sink (2013)
- (8) https://www.researchgate.net/profile/Elisa_Lopez-Capel/publication/228656328_Biochar_Climate_Change_and_Soil_A_Review_to_Guide_Future_Research/links/09e41509952dfa118c000000/Biochar-Climate-Change-and-Soil-A-Review-to-Guide-Future-Research.pdf
Biochar, climate change and soil: A review to guide future research; Saran Sohi, Elisa Lopez-Capel, Evelyn Krull, and Roland Bol (2009)
- (9) https://www.researchgate.net/publication/309630931_Effects_of_biochar_on_soil_available_inorganic_nitrogen_A_review_and_meta-analysis
Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis; Thi Thu Nhan Nguyen, Cheng-Yuan Xu, Iman Tahmasbian, Rongxiao Che, Zhihong Xu, Xuhui Zhou, Helen M. Wallace, Shahla Hosseini Bai (2016)
- (10) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816213001604>
Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil; Chien-Sheng Wang (2013)
- (11) https://books.google.co.in/books?id=81aaCwAAQBAJ&pg=PT119&lpg=PT119&dq=does+Biochar+application++increases+the+water+holding+capacity+of+the+soil&source=bl&ots=VHXtci4mmb&sig=Pooq3miQE1TMbxivt2yYhhLpJZw&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwj2qfG6_N3MAhWlKo8KHb9EADwQ6AEIUjAH#v=onepage&q=does%20Biochar%20application%20%20increases%20the%20water%20holding%20capacity%20of%20the%20soil&f=false
The role of biochar in agricultural soils; Simon Shackley, Greet Ruyschaert, Kor Zwart, Bruno Glaser
- (12) <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/biochar>
Soil Contamination with Metals: Sources, Types and Implications; Waqar Ahmad, Ullah Najeeb, Munir Hussain Zia
- (13) http://orgprints.org/13268/1/Biochar_as_a_soil_amendment_-_a_review.pdf
Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications; D.Woolf (2008)
- (14) https://www.researchgate.net/publication/284041311_Characteristics_of_biochar_biological_properties
Characteristics of Biochar: Biological Properties; Janice E.Thies, Matthias C. Rillig (2009)
- (15) <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjPgoLK3fLdAhW>

[Rt4sKHeVbAIAQFjABegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FAnoop_Srivastava7%2Fpost%2FWhich-specific-experiments-should-be-done-in-lab-to-test-water-holding-capacity-of-biochar-before-I-go-for-field-application-at-larger-scale%2Fattachment%2F59d6335679197b8077991035%2FAS%253A374231952052224%25401466235258039%2Fdownload%2FBiochar2011.pdf&usg=AOvVaw26Gam_qPwv2YgYxE4XlZlV](https://www.researchgate.net/profile/Anoop_Srivastava7/post/Which-specific-experiments-should-be-done-in-lab-to-test-water-holding-capacity-of-biochar-before-I-go-for-field-application-at-larger-scale?attachment=59d6335679197b8077991035&as=253A374231952052224%25401466235258039&download=2FBiochar2011.pdf&usg=AOvVaw26Gam_qPwv2YgYxE4XlZlV)

Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study; Kristiina Karhua, Tuomas Mattilab, Irina Bergströma, Kristiina Reginac (2010)

- (16) https://www.researchgate.net/profile/Christoph_Steiner3/publication/221899780_Biochar_effects_on_nutrient_leaching/links/5485c7720cf268d28f003925/Biochar-effects-on-nutrient-leaching.pdf?origin=publication_detail

Biochar production and use: Environmental risks and rewards; Adriana Downie (2011)

- (17) https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwi8_uTKhPXdAhVhoYsKHQoDDEEQFjABegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F20734395%2F3%2F2%2F313%2Fpdf&usg=AOvVaw0ERhFGwVdTeV3m4eQcIUvK

Biochar Impacts on Soil Physical Properties and Greenhouse Gas Emissions, Atanu Mukherjee, Rattan Lal (2013)

- (18) https://www.researchgate.net/publication/306323311_Biochar_Carbon_Sequestration_in_Soil_-_A_myth_or_Reality

Biochar Carbon Sequestration in Soil - A myth or Reality?; T. J. Purakayastha, Savita Kumari, Subodh Sasmal and H. Pathak (2014)

Remark: a goal of this review was to primarily use reliable literature which is accessible for the public free of charge.

Additional literature:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816213001604#0010>

https://books.google.at/books?id=gOKECgAAQBAJ&pg=PA113&lpg=PA113&dq=Kim,+Sparovek,+Longo,+DeMelo,+Crowley,+2007&source=bl&ots=GACIOs8xk&sig=IA5IPGS1TA6iDYW6C8bSJVruPeY&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwi2z8XV0oPcAhUHCZoKHdp_B24Q6AEIOzAI#v=onepage&q=Kim%2C%20Sparovek%2C%20Longo%2C%20DeMelo%2C%20%26%20Crowley%2C%202007&f=false

Impact of Biochar on Soil Health

www.researchgate.net/publication/274712806_Impact_of_Biochar_on_Soil_Health?_sg=1n49QgBGAh5Mjke_g_fR5no_9XgL4leGuLxLnHYTpYDnUMUnzCBily2kqmqyc3-HyBA21UPI7w

S. Krishnakumar*, A.G. Rajalakshmi, B. Balaganesh, P. Manikandan, C. Vinoth and V. Rajendran
Department of Soil Science and Agricultural chemistry, Vanavarayar Institute of Agriculture, Manakkadavu,

Characteristics of Biochar: Biological Properties Janice E.Thies and Matthias C. Rillig

https://www.researchgate.net/publication/284041311_Characteristics_of_biochar_biological_properties

Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment

K. Y. Chan^{A,E}, L. Van Zwieten^B, I. Meszaros^A, A. Downie^{C,D}, and S. Joseph

https://www.researchgate.net/publication/237079599_Agronomic_Values_of_Green_Waste_Biochar_as_a_Soil_Amendment