

Biochar menjejaskan struktur dan bukannya jumlah biojisim komuniti mikrob dalam tanah sederhana

Elena Anders^{1,2}, Andrea Watzinger^{1*}, Franziska Rempt^{1,3}, Barbara Kitzler⁴, Bernhard Wimmer¹, Franz Zehetner², Karl Stahr³, Sophie Zechmeister-Boltenstern² dan Gerhard Soja¹

¹ Sumber dan Teknologi Alam Sekitar, Jabatan Kesihatan dan Alam Sekitar, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Konrad-Lorenz-Strasse 24, 3430 Tulln, Austria

² Institut Penyelidikan Tanah, Jabatan Perhutanan dan Sains Tanah, Universiti Sumber Asli dan Sains Hayat, Peter-Jordan-Strasse 82, 1190 Vienna, Austria

³ Institut Sains Tanah dan Penilaian Tanah, Universiti Hohenheim, Emil-Wolff-Strasse 27, 70599 Stuttgart, Jerman

⁴ Institut Biologi Tanah, Pusat Penyelidikan dan Latihan Persekutuan untuk Hutan, Bahaya Semula Jadi dan Landskap, 1131 Vienna, Austria

e-mel: andrea.watzinger@ait.ac.at

Aplikasi biochar adalah strategi yang menjanjikan untuk mengasingkan karbon dalam tanah pertanian dan untuk memperbaiki tanah terdegradasi. Namun begitu, isu-isu yang bercanggah dan tidak dapat diselesaikan masih kekal. Kajian ini menyiasat sama ada biochar mempengaruhi biojisim mikrob tanah dan struktur komuniti menggunakan analisis asid lemak fosfolipid (PLFA). Kami memantau kesan empat jenis biochar yang berbeza pada komuniti mikrob tanah di tiga tanah sederhana Austria selama beberapa bulan. Satu eksperimen rumah hijau dan dua eksperimen lapangan telah dijalankan. Aplikasi biochar tidak meningkatkan atau mengurangkan biojisim mikrob dengan ketara. Hanya penambahan biochar pemangkasan ladang anggur yang dipirolisis pada 400°C menyebabkan biojisim mikrob meningkat dalam eksperimen rumah hijau. Rawatan biochar bagaimanapun menyebabkan perubahan dalam komuniti mikrob (divisualisasikan oleh analisis komponen utama). Kami membuat kesimpulan bahawa perubahan dalam struktur komuniti mikrob adalah kesan tidak langsung dan bukannya langsung dan bergantung kepada keadaan tanah dan status nutrien.

Kata kunci: biochar, PLFA, komuniti mikrob tanah, tanah sederhana

pengenalan

Biochar ialah sisa pepejal yang diperolehi selepas pirolisis bahan organik di bawah pengecualian oksigen. Bio char sebagai pindaan tanah telah menjadi topik penting dalam sains tanah sejak beberapa tahun kebelakangan ini, dan banyak kumpulan penyelidikan sedang mengkaji kesan biochar ke atas ekosistem (agro). Penyiasatan menangani isu seperti penyerapan karbon, pengurangan pelepasan gas rumah hijau, penjanaan semula tanah terdegradasi, biochar sebagai pembawa nutrien yang mungkin untuk pertumbuhan tumbuhan yang lebih baik dan peningkatan pembiakan mikrob.

Terra preta ialah bentuk tertua terdokumentasi pindaan biochar dalam tanah. Dalam Antrosol di kawasan Amazon ini, biochar didapati meningkatkan pertumbuhan mikrob berbanding dengan tanah yang sama tanpa biochar (Grossman et al. 2010). Selain itu, biojisim komuniti bakteria dalam tanah ini adalah lebih tinggi dan lebih pelbagai (O'Neill et al. 2009). Dalam tanah Australia yang sederhana, biochar (650–1600 tahun) meningkatkan kesuburan tanah (Downie et al. 2011).

Biochar tahan terhadap degradasi dalam tanah (Masek et al. 2011 dan Watzinger et al. 2013). Penambahannya ke dalam tanah boleh mempengaruhi mikroorganisma secara langsung dengan dimetabolismakan dan bertindak sebagai sumber C utama. Ameloot et al. (2013) menyenaraikan beberapa kajian yang menunjukkan asimilasi dan pengambilan N tumbuhan daripada biochar berlabel atau kadar respirasi tanah meningkat selepas pindaan biochar. Contohnya Zimmerman (2010) mendapati kadar mineralisasi berganda bagi biochar dengan kehadiran mikroorganisma.

Parameter fizikal dan kimia tanah secara tidak langsung menyebabkan perubahan dalam kelimpahan mikrob (Pietikäinen et al. 2000, Liang et al. 2010, Kolb et al. 2009) dan struktur (Lehmann et al. 2011, Glaser and Birk 2012, Watzinger et al. 2013, Farrell et al. 2013). Kolton et al. (2011) melaporkan bahawa peralihan yang disebabkan oleh biochar dalam komuniti bakteria sering berlaku pada peringkat genus (cth . *Flavobacterium* sp.) dan bahawa promosi genera bakteria tertentu sekurang-kurangnya dapat menjelaskan sebahagian besarnya fenomena pertumbuhan teraruh dan rintangan tumbuhan. Nilai pH ialah parameter tanah utama (Brewer et al. 2011). Menambah biochar segar yang tidak dirawat ke dalam tanah biasanya meningkatkan nilai pH tanah. Tahap perubahan dalam nilai ini bergantung kepada faktor seperti suhu pirolisis, bahan suapan biochar, tahap pengoksidaan dan pH semasa tanah (Lehmann et al. 2011, Lehmann et al. 2006, Chan dan Xu 2009, Cheng et al . 2006). Tidak semua mikroorganisma bertindak balas sama dengan peningkatan pH. Kulat mempunyai biojisim yang lebih tinggi dalam tanah berasid, manakala actinomycetes mengelakkan persekitaran ini dan lebih suka tanah dengan nilai pH yang tinggi (Giri et al. 2005). Adalah mungkin untuk meningkatkan kapasiti pengekal air dengan menambah biochar, sekali gus meningkatkan kesesuaian tanah yang dipinda sebagai habitat mikrob (Glaser et al. 2002). Terutamanya dalam tanah berpasir, mikropori biochar dan struktur permukaan menyebabkan kesan pengekal air yang berpotensi. Dalam kes dehidrasi tanah, biochar boleh menawarkan kawasan berundur untuk mikroorganisma (Schimel et al. 2007).

Jenis pengeluaran dan kaedah pindaan biochar juga secara tidak langsung boleh mempengaruhi hubungan mikroorganisma. Steinbeiss et al. (2009) mendapati bahawa jenis biochar menentukan kumpulan mikroorganisma yang terlibat dalam proses penguraian. Tambahan pula, liang dalam biochar boleh menjadi mikrohabitat yang berharga untuk mikroorganisma (Downie et al. 2009) dan boleh bertindak sebagai tempat perlindungan yang selamat daripada pemangsa (Pietikäinen et al. 2000). Namun begitu, tiada bukti kuantitatif untuk ciri perlindungan biochar (Lehmann et al. 2011). Perhatikan juga bahawa saiz purata liang biochar (skala nm) adalah jauh lebih kecil daripada organisma tanah terkecil (skala μm) (Ameloot et al. 2013). Namun begitu, penyerapan sebatian organik yang mudah terdegradasi, karbon organik terlarut (DOC) dan kemisorpsi ammonium (NH_4^+) (Anderson et al. 2011) pada permukaan biochar disebabkan kehadiran kumpulan berfungsi, boleh menunjukkan kesesuaiannya sebagai habitat yang menggalakkan. (Pietikäinen et al. 2000). Saiz liang dan struktur permukaan dalaman biochar bergantung kepada bahan mentah (Abit et al. 2012). Bahan suapan biochar mempunyai kesan penting ke atas tindak balas mikrob tanah terhadap pindaan dalam tanah. Ameloot et al. (2013) melaporkan bahawa semakin besar kandungan lignin, kandungan C aromatik dan nisbah C/N bahan suapan biochar yang terhasil, semakin kecil kadar mineralisasi biochar. Selain daripada bahan mentah, suhu pirolisis nampaknya menjadi faktor utama dalam memanipulasi ciri-ciri biochar. Suhu pirolisis yang tinggi meningkatkan poros mikro dan pembahagian struktur biochar. Selain itu, komponen stabil dalam biochar meningkat, manakala komponen labil berkurangan dengan suhu pirolisis yang tinggi. Bahagian yang stabil kekal di dalam tanah untuk jangka masa yang lama, manakala bahagian labil tersedia untuk mikroorganisma (Abit et al. 2012, Mašek et al. 2011, Lehmann et al. 2011). Sebatian organik meruap (VOC) juga ditemui dalam pecahan labil dan bahan ini mungkin menjejaskan isme mikroorgan (Lehmann et al. 2011, Deenik et al. 2011, Kloss et al. 2013).

Spokas et al. (2012) menyenaraikan hasil hasil daripada banyak kajian biochar: sehingga kini tiada jawapan muktamad ditemui sama ada biochar menyebabkan kesan positif atau negatif dalam tanah pertanian di luar penyerapan C. Perhatian yang semakin meningkat diberikan kepada pindaan biochar dalam tanah dan kesannya terhadap komuniti mikrob tanah. Lehmann et al. (2011) mengkaji kesan biochar terhadap komuniti tanah. Quilliam et al. (2012) menentukan tahap penjajahan mikrob biochar terbitan kayu yang telah ditanam dalam tanah pertanian selama tiga tahun. Mereka mencadangkan bahawa, dalam jangka pendek (3 tahun) biochar tidak menyediakan habitat yang ketara untuk mikrob tanah. Ameloot et al. (2013) mengkaji bagaimana mikro, meso dan makroorganisma tanah berinteraksi dengan kestabilan biochar, mereka juga menilai kandungan C, bahan suapan dan keadaan pirolisis, kadar aplikasi, kandungan SOC asli dan sifat kimia tanah sebagai faktor yang terlibat dalam interaksi ini.

Dalam eksperimen jangka pendek Farrell et al. (2013) menentukan, menggunakan dua biochar yang dipinda dalam arenosol akridik, penggabungan pesat berlabel ^{13}C dalam PLFA mikrob. Mereka menganggap bahawa peralihan dan perubahan dalam komuniti mikrob mencerminkan penggunaan biochar-C yang berbeza-beza.

Dalam kajian ini kesan biochar ke atas komuniti mikrob tanah asli dalam tanah sederhana disasarkan. Matlamatnya adalah untuk menjawab soalan berikut: Apakah pengaruh biochar terhadap komuniti mikrob dalam tanah dan apakah sebabnya? Penyiasatan telah memfokuskan pada aspek yang berbeza: jenis arang bio, tanah dan kadar penggunaan. Untuk menjawab soalan ini, kami menyediakan eksperimen rumah hijau dan eksperimen lapangan dengan jenis biochar yang berbeza pada tanah yang berbeza. Ini membolehkan kami menganalisis tindak balas komuniti mikrob terhadap persekitaran biochar-tanah yang berbeza.

Bahan dan kaedah Pencirian tanah dan biochar

Untuk persediaan eksperimen, tiga tanah pertanian Austria telah dipilih. Tanah tersebut ialah Planosol berpasir dari Eschenau, Chernozem berkapur (on loess) dari Traismauer, kedua-duanya Lower Austria, dan Cambisol gleyic dari Kaindorf/Obertiefenbach (Styria). Tanah dari Eschenau ialah tanah berpasir berasid dengan kapasiti pengekal nutrien yang rendah. Tanah Traismauer, sebaliknya, adalah tanah berkapur, berkelodak dengan kapasiti tinggi untuk mengekalkan nutrien. Cambisol gleyic Kaindorf dicirikan oleh kandungan tanah liat yang agak tinggi (Jadual 1). Bagi semua tanah, nilai pH, kekonduksian elektrik (EC) dan kapasiti pertukaran kation (CEC) ditentukan dengan kaedah standard (lihat Lampiran). Kandungan karbon karbonat (Cinorg), kandungan karbon organik tanah (Corg) dan nitrogen (N) ditentukan mengikut kaedah standard (maklumat tambahan). Saiz zarah ditentukan dengan sedigraf berdasarkan kaedah standard yang diubah suai (maklumat tambahan). Bahan tanah dari tanah atas (Ap-horizon, 0–20 cm) telah digali pada musim panas 2009. Selepas diangkut ke rumah hijau, bahan tanah telah dikeringkan di udara dan disimpan sehingga eksperimen.

Jadual 1. Ciri-ciri tanah

| | Eschenau | Traismauer | Kaindorf |
|---|---|---|---|
| Koordinat GPS | N 48 ° 46' 32.9"; E 15 ° 14' 28.6 "(± 2.4 m) | N 48°19' 52.6"; E 15 ° 44' 20.5 "(± 4 m) | N 47°13'46.0"; E 15 ° 50'40.6 "(± 4 m) |
| jenis tanah | Planosol | Chernozem | Cambisol |
| Tekstur | tanah liat berpasir | kelodak loam | tanah liat lempung |
| EC (µS cm ⁻¹) | 41.2 ± 12.3 | 173.6 ± 5.2 | 103.9 ± 0.1 |
| CEC (mmolc kg ⁻¹) | 75.1 ± 0.4 | 208.6 ± 3.6 | 209.4 ± 2.2 |
| nilai pH (CaCl ₂) | 5.4 ± 0.0 | 7.4 ± 0.1 | 6.6 ± 0.1 |
| Cinorg– kandungan (%) | 0 ± 0.0 | 1.90 ± 0.0 | 0 ± 0.0 |
| Corg (%) | 1.6 ± 0.0 | 1.5 ± 0.0 | 2.36 ± 0.0 |
| Ntot (%) | 0.11 ± 0.01 | 0.13 ± 0.01 | 0.17 ± 0.01 |
| tanaman sebelumnya 2010 | rai (<i>rai bijirin</i>) | alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) | gandum (<i>Triticum aestivum</i>) |
| ȳB (g cm ⁻³) rumah hijau | 1.22 – 1.39 | 1.14 – 1.32 | 1.24 |
| WHC (g/100g) rumah hijau | 37.1 (ȳB = 1.22 g cm ⁻³) | 38.8 (ȳB = 1.14 g cm ⁻³) | 45 (ȳB = 1.24 g cm ⁻³) |

EC = kekonduksian elektrik, CEC = kapasiti pertukaran kation, Cinorg = kandungan karbonat, Corg = kandungan karbon organik tanah, Ntot = jumlah kandungan nitrogen, ȳB = ketumpatan pukal dalam eksperimen rumah hijau, WHC = kapasiti pegangan air eksperimen rumah hijau.

Dalam eksperimen rumah hijau tiga bahan suapan berbeza telah digunakan untuk pengeluaran biochar, pemangsaan ladang anggur (525°C), jerami gandum (525°C), dan campuran serpihan kayu (525°C). Selain itu biochar pemangsaan ladang anggur dihasilkan menggunakan suhu pirolisis yang lebih rendah iaitu 400°C (Jadual 2). Bahan suapan yang berbeza untuk pirolisis telah dipilih mengikut ketersediaan setempat sebagai sisa daripada pengeluaran tanaman pertanian dan perhutanan. Perbezaan utama dijangkakan antara jerami dan bahan biojisim berkayu. Bahan berkayu yang berbeza mungkin juga menyebabkan sifat biochar yang berbeza kerana perbezaan dalam keliangan dan ciri lignoselulosa. Pemangsaan ladang anggur merupakan bahan mentah yang penting kerana ketersediaan yang banyak di kawasan salah satu eksperimen lapangan. Oleh itu perbandingan suhu pirolisis dibuat dengan bahan ini.

Untuk menjamin pirolisis yang lengkap, setiap bahan mentah diberi masa tinggal yang berbeza. Biochar pemangsaan ladang anggur telah dipirolisis pada kadar pemanasan 2°C min⁻¹ dengan masa tinggal 6 jam pada 525°C dan 8 jam pada 400°C di makmal AIT. Biochar jerami gandum dan campuran serbuk kayu dihasilkan di tanur berputar di Dürnröhr (Austria; EVN) setiap satu pada suhu pirolisis 525°C, masa tinggal lebih kurang 1 jam, dan kadar pemanasan 10–20°C min⁻¹. Argon (Ar) sentiasa disiram semasa keseluruhan proses pirolisis untuk mengekalkan persekitaran bebas oksigen di dalam relau. Biochar dikisar dan diayak kepada saiz zarah < 2 mm untuk dicampur dengan tanah (3 b/b % biochar telah ditambah ke dalam tanah). Untuk eksperimen lapangan biochar tersedia secara komersial dengan 80% kayu bic dan 20% kayu keras pelbagai (tanpa oak), yang dihasilkan oleh SCRom Char SRL, 537265 Sincraieni (Romania) telah digunakan. Biochar dihasilkan dalam keadaan tekanan atmosfera biasa. Suhu pirolisis ialah 500°C dan masa tinggal ialah 2 jam. Selepas pengkarbonan, biochar dibasahkan dengan 20% air.

Jadual 2. Ciri-ciri biochar

| | Rumah hijau | | | | Padang |
|--------------------------------|---------------|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | kayu campuran | straw | pemangkasan ladang anggur | pemangkasan ladang anggur | ROMCHAR 80%beech, 20% kayu keras lain |
| suhu pirolisis (°C) | 525 | 525 | 525 | 400 | 500 |
| kadar pemanasan (°C min-1) | 10-20 | 10-20 | 2 | 2 | |
| masa tinggal (h) | 1 | 1 | 6 | 8 | 2 |
| EC (mS cm-1) | 1.6 ± 0.0 | 5.2 ± 0.1 | 1.1 ± 0.0 | 1.5 ± 0.0 | |
| CEC(mmolc kg-1) | 93.0 ± 1.9 | 148.5 ± 0.8 | 78.8 ± 1.4 | 123.5 ± 1.3 | |
| nilai pH (CaCl2) | 8.9 ± 0.1 | 9.7 ± 0.0 | 8.8 ± 0.1 | 8.3 ± 0.0 | |
| Kapas (%) | 67.1 ± 1.3 | 56.3 ± 2.4 | 73.1 ± 0.9 | 69.3 ± 0.2 | 72.7 |
| Ntot (%) | 1.2 ± 0.03 | 0.9 ± 0.03 | 1.3 ± 0.03 | 1.3 ± 0.06 | 0.4 |
| kandungan abu (%) | 15.2 | 28.1 | 7.7 | 4.3 | 15.2 |
| BET-N2 SA (m ² g-1) | 26.41 ± 1 | 12.26 ± 1 | 4.85 ± 0 | 1.69 ± 0 | |

EC = kekonduksian elektrik, CEC= kapasiti pertukaran kation, Ctot = jumlah kandungan karbon, Ntot = jumlah kandungan nitrogen, BET-N2 SA= Luas permukaan spesifik Brunauer Emmett-Teller (penjerapan N2).

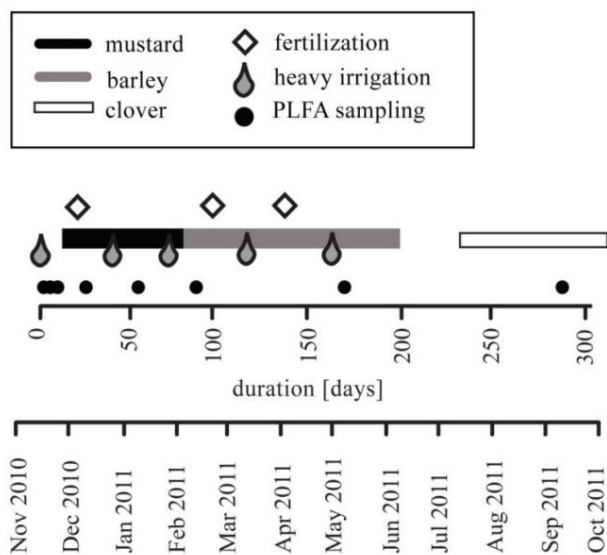
Ekspirimen rumah hijau

Percubaan rumah hijau telah dijalankan pada Oktober 2010, dengan lima ulangan setiap rawatan (Jadual 3). Pasu-pasu itu berukuran diameter 23.5 cm dan tinggi 40 cm. Untuk mengumpul air resapan, pasu mempunyai saluran keluar saluran di mana tiub seperti sifon fleksibel dipasang. Pasu diisi (dari bawah ke atas) dengan pasir kasar 15 mm (0.5ϕ2 mm), pasir halus 15 mm (0.4ϕ0.8 mm) dan campuran biochar tanah 350 mm; ketumpatan pukal adalah lebih kurang 1.3 g cm⁻³. Siasatan kelembapan tanah dipasang dalam satu pasu setiap rawatan. Kapasiti pegangan air (WHC) diukur secara gravimetri daripada sampel tanah yang terganggu. Untuk memantau kandungan lembapan dalam pasu, kami menggunakan sistem pengukuran TDR: Trase multiplex system 1 6050X1 (Soil moisture equipment corp., Santa Barbara, USA) dan Echo probe 10 HS (Decagon Devices, Inc., WA, USA).

Jadual 3. Rawatan yang digunakan dalam eksperimen rumah hijau

| kod rawatan | asal tanah | biochar | pirolisis suhu (°C) | jumlah biochar (% b/b) | Baja nitrogen (kg ha-1) |
|-------------|------------|---------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|
| E_WN | Eschenau | kayu | 525 | 3 | 100 |
| E_SN | Eschenau | straw | 525 | 3 | 100 |
| E_VN400 | Eschenau | ladang anggur pemangkasan | 400 | 3 | 100 |
| E_VN | Eschenau | ladang anggur pemangkasan | 525 | 3 | 100 |
| E_W | Eschenau | kayu | 525 | 3 | 0 |
| ... | Eschenau | tiada | - | 0 | 0 |
| E_N | Eschenau | tiada | - | 0 | 100 |
| K_WN | Kaindorf | kayu | 525 | 3 | 100 |
| K_Warita | Kaindorf | tiada | - | 0 | 100 |
| T_WN | Traismauer | kayu | 525 | 3 | 100 |
| ... | Traismauer | tiada | - | 0 | 100 |

Dalam pasu, satu putaran tanaman dengan sawi (*Sinapis alba* L.cv. 'Serval'; 50 anak pokok setiap pasu, ketumpatan 3 g m⁻²), bar ley (*Hordeum vulgare* L. cv. 'Xanadu'; sepuluh anak pokok setiap pasu) dan semanggi merah (*Trifolium pratense* L. cv. 'ReichersbergerNeu'; enam anak pokok setiap pasu) telah ditanam. Tanah diambil sebagai sampel pada hari ke 2, 4, 7, 14, 24 (2 hari selepas pembajaan), 51 (2 hari selepas pembajaan, menembak barli), 80 (matang barli) dan 109 (penuaian) dan 297 (32 hari selepas menanam semanggi). Keseluruhan garis masa pensampelan dan rawatan tanah ditunjukkan dalam Rajah 1. Sampel tanah diambil dengan gerimit tanah ($\varnothing=25$ mm) keluar pada kedalaman antara 15 dan 20 cm dengan jarak ke sisi pasu 40 mm. Sampel diisi ke dalam beg plastik dan dibekukan pada suhu -10°C. Kadar baja standard ialah 40 kg N ha⁻¹ untuk mustard dan 100 kg N ha⁻¹ (N100) untuk barli, menggunakan baja gabungan komersial (N: P2 O5 : K2 O: S = 15:15:15:3; Pengairan dijalankan mengikut kandungan air yang disukat menggunakan air hujan buatan (3 mg Ca l⁻¹: 50 % Ca ditambah sebagai CaCl₂ x2H₂ O, 50% sebagai CaSO₄ x2H₂ O). Pada selang masa tertentu, pengairan berlebihan telah dijalankan untuk mencetuskan larut lesap. Kandungan C dan N dari tanah diukur secara selari dengan pensampelan tanah PLFA pada hari 0, hari 51, hari 170 dan hari 297 oleh penganalisis unsur selepas mengisar sampel (CHNS-O EA 1108; Instrumen Carlo Erba, Milano, Itali). Rembesan dikumpul pada selang masa kira-kira empat minggu dan dianalisis untuk pH, EC, ammonium-N (NH₄⁺), nitrat-N (NO₃⁻) dan karbon organik terlarut (DOC) (Bücker 2012). Data resapan telah diuji untuk korelasi dengan data PLFA. Tumbuhan dituai dan dianalisis untuk hasil bahan kering dan komposisi emental (Kloss et al. 2013); data hasil bahan kering telah diuji untuk korelasi dengan data PLFA.



Rajah 1. Garis masa skematik persampelan, pembajaan dan hari pengairan bagi eksperimen rumah hijau (pengairan berat dilakukan pada masa tertentu untuk menjana air resapan). Tumbuhan yang ditanam ialah sawi (*Sinapis alba* L.cv. 'Serval'; 50 anak pokok setiap pasu, ketumpatan 3 g m⁻²), barli (*Hordeum vulgare* L. cv. 'Xanadu'; sepuluh anak pokok setiap pasu) dan semanggi merah (*Trifolium pratense* L. cv. 'ReichersbergerNeu', enam anak pokok setiap pasu); jurang antara penanaman barli dan semanggi menunjukkan keadaan tempoh terbiar.

Eksperimen lapangan

Untuk mengkaji tingkah laku dan penyerapan karbon biochar di bawah keadaan lapangan, kami menubuhkan eksperimen lapangan di dua tapak. Kami memilih lokasi "Traismauer" dan "Kaindorf" sebagai tapak percubaan kerana lokasi tersebut bersebelahan dengan tempat kami mengumpul sampel tanah untuk eksperimen rumah hijau. Aplikasi biochar telah dijalankan pada Mac 2011. Di kedua-dua tapak ladang, 3 rawatan biochar dan plot kawalan dengan empat ulangan setiap satu (16 plot setiap lokasi) telah diwujudkan. Empat rawatan tersebut terdiri daripada tanah yang dipinda dengan (i) 3% biochar tanpa sebarang baja (BC3), (ii) 1% biochar dengan pembajaan NPK (BC1NPK), (iii) 3% biochar dengan penanaman NPK-fer (BC3NPK) dan (iv) tiada biochar tetapi pembajaan NPK (NPK). Jumlah baja telah disesuaikan untuk setiap tanaman. Jagung telah ditanam di Traismauer pada tahun 2011 dan gandum musim sejuk adalah tanaman berikutnya dalam tahun persampelan PLFA 2012. Pada hari persampelan tanah PLFA, gandum hampir matang sepenuhnya (Jun 2012). Di Kaindorf penanaman pada tahun 2011 adalah barli musim bunga dan pada tahun persampelan PLFA 2012 bunga matahari; pada hari persampelan PLFA bunga matahari berada dalam fasa pertumbuhan juvana (Mei 2012). Setiap plot berbentuk bulat dengan diameter 6.5 m. Sampel tanah diambil dari tengah plot, sepadan dengan bulatan dengan diameter 3.5 m. Petak-petak itu disusun mengikut segi empat sama Latin dengan n=4.

Jadual 4. Rawatan eksperimen di lapangan. Tahap baja P dan K adalah sama untuk semua plot.

| rawatan kod | lokasi | aplikasi biochar | putaran tanaman (2011 / 2012) | N kadar permohonan (NH4 NO3 kg ha ⁻¹) |
|-------------|-----------|------------------------|-------------------------------|---|
| BC3 | Kaindorf | 72 Mg ha ⁻¹ | jagung/gandum | 0 / 0 |
| BC1NPK | Kaindorf | 24 Mg ha ⁻¹ | jagung/gandum | 150 / 120 |
| BC3NPK | Kaindorf | 72 Mg ha ⁻¹ | jagung/gandum | 150 / 120 |
| NPK | Kaindorf | - | jagung/gandum | 150 / 120 |
| BC3 | Trismauer | 72 Mg ha ⁻¹ | barli/bunga matahari | 0 / 0 |
| BC1NPK | Trismauer | 24 Mg ha ⁻¹ | barli/bunga matahari | 120 / 100 |
| BC3NPK | Trismauer | 72 Mg ha ⁻¹ | barli/bunga matahari | 120 / 100 |
| NPK | Trismauer | - | barli/bunga matahari | 120 / 100 |

Analisis asid lemak fosfolipid (PLFA)

Mikroorganisma telah disiasat menggunakan analisis asid lemak fosfolipid (PLFA). PLFA diekstrak daripada sampel tanah mengikut prosedur Bligh dan Dyer (1959) seperti yang diterangkan oleh Frostegård et al. (1991). Kami menggunakan 2±0.2 g tanah untuk setiap pengekstrakan pensampelan. Butiran mengenai kaedah pengekstrakan dan pengukuran yang digunakan disediakan dalam Watzinger et al. (2013). Kami menganalisis 25 PLFA yang kami susun dalam lima kumpulan PLFA. Tafsiran biomarker PLFA telah diubah suai selepas Paul dan Clark (1996): Bakteria Gram positif (i14:0, i15:0, a15:0, i16:0, a17:0, i17:0 (Brennan 1988)), actinomycetes (Moss dan Danesh var 1992, Waldrop et al. 2000)), kulat (16:1 \dot{y} 5c, 18:2 \dot{y} 6.9, 18:1 \dot{y} 9c (Zak et al. 1994, Frostegård dan Bååth 1996, Olsson et al.) dan 1995). asid lemak (14:0, 15:0, 16:1 \dot{y} 6c, 16:0, 17:0, 18:0, 19:1). Pengenalpastian kumpulan bial mikro berdasarkan asid lemak yang berbeza adalah bermasalah seperti yang ditunjukkan oleh Frostegård et al. (2011). Pengelompokan PLFA dalam kajian ini lebih merupakan instrumen teori berbanding pengkategorian tetap kumpulan mikroorganisma. Atas sebab ini kami menggunakan satu wakil PLFA daripada setiap kumpulan dan bukan jumlah banyak PLFA, ini juga membolehkan tafsiran tanpa sambungan kepada kumpulan mikro yang diberikan.

Analisis statistik

Semua keputusan analisis dikira berdasarkan berat tanah kering ketuhar (105°C). Penilaian statistik telah dibentuk dengan SPSS 19.0 untuk Windows; pemasangan lengkung diperoleh oleh SigmaPlot 10.0 untuk Windows. Data telah diuji dengan Ujian Q Dixon untuk outlier, outlier yang dikesan telah dipadamkan. Data menunjukkan taburan normal PLFA dalam rawatan yang berbeza. Analisis Komponen Utama (PCA) telah dilakukan ke atas data untuk mengurangkan PLFA daripada 25 kepada beberapa faktor utama; outlier yang dipadam telah digantikan dengan SPSS melalui cara. PCA dianalisis secara berasingan untuk setiap hari persampelan. Berdasarkan faktor komponen utama satu MANOVA telah dilakukan untuk setiap hari persampelan. Ujian Post-Hoc Turki telah dilakukan, kepentingan telah diterima pada p < 0.05. Dalam Jadual 5 huruf yang berbeza menunjukkan perbezaan yang signifikan dalam satu lajur (p < 0.05 ujian Turki). PCA juga digunakan untuk menggambarkan pemisahan rawatan atau tanah. Dalam rajah kami menggambarkan faktor komponen utama yang terjejas dengan ketara untuk menggambarkan pemisahan rawatan. Dalam eksperimen rumah kaca kami menganalisis perbezaan tujuh rawatan dalam tanah Eschenau. Selain itu, perlakuan biochar kayu dengan baja (WN) dan tanah dengan baja tetapi tanpa biochar (N) dibandingkan daripada tanah Eschenau, Kaindorf dan Trismauer. Untuk eksperimen lapangan, empat rawatan berbeza telah dianalisis dan dibandingkan (Kaindorf dan Trismauer).

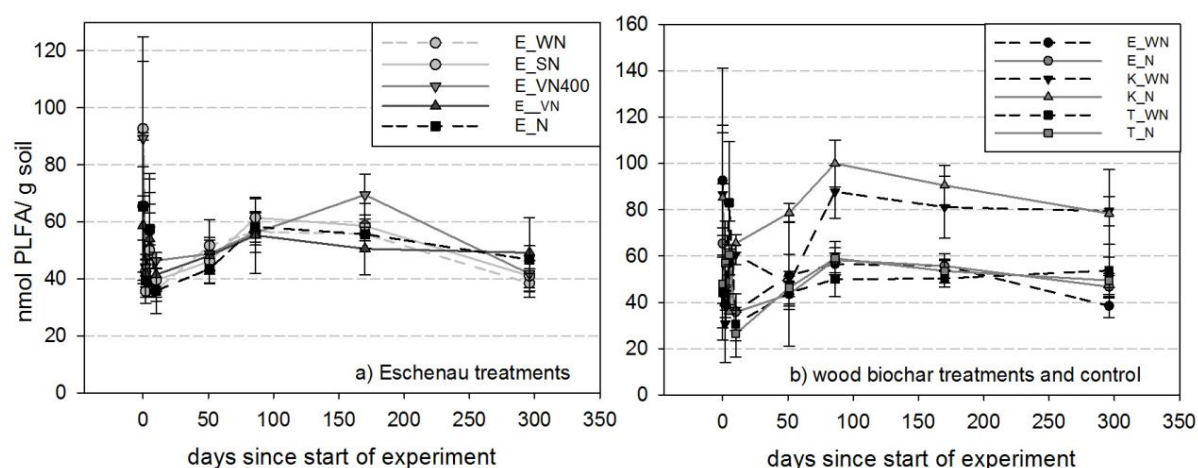
Akhirnya, korelasi untuk eksperimen rumah kaca dilakukan secara berasingan untuk setiap tanah dengan biochar dan tanpa biochar. Kami mengira jumlah purata PLFA daripada setiap rawatan dan menganalisis PLFA individu dengan faktor ciri tanah (kandungan N, kandungan C, nisbah C/N, kandungan air), komposisi resapan (nilai pH, DOC, ammonium, nitrat, kekonduksian elektrik, sulfat) dan prestasi loji (berat bahan tumbuhan kering) dengan korelasi Spearman (=Sc). PLFA yang dipertimbangkan ialah: i14:0, 14:0, i15:0, a15:0, 15:0, i16:0, 16:1 \dot{y} 7c, 16:1 \dot{y} 6c, 16:1 \dot{y} 5c, 16:0, 10Me16:0, i17:0, a17:0, 17:1 \dot{y} 8c, cy17:0, 17:0, 10Me17:0, 18:2 \dot{y} 6.9, 18:1 \dot{y} 9c, 18:1 \dot{y} 7c, 18:0, 10Me18:0, 12Me18:0, cy19:0, 19:1.

Keputusan

Eksperimen rumah hijau

Perkembangan temporal jumlah kepekatan PLFA, penunjuk biojisim mikrob ditunjukkan dalam Rajah 2.

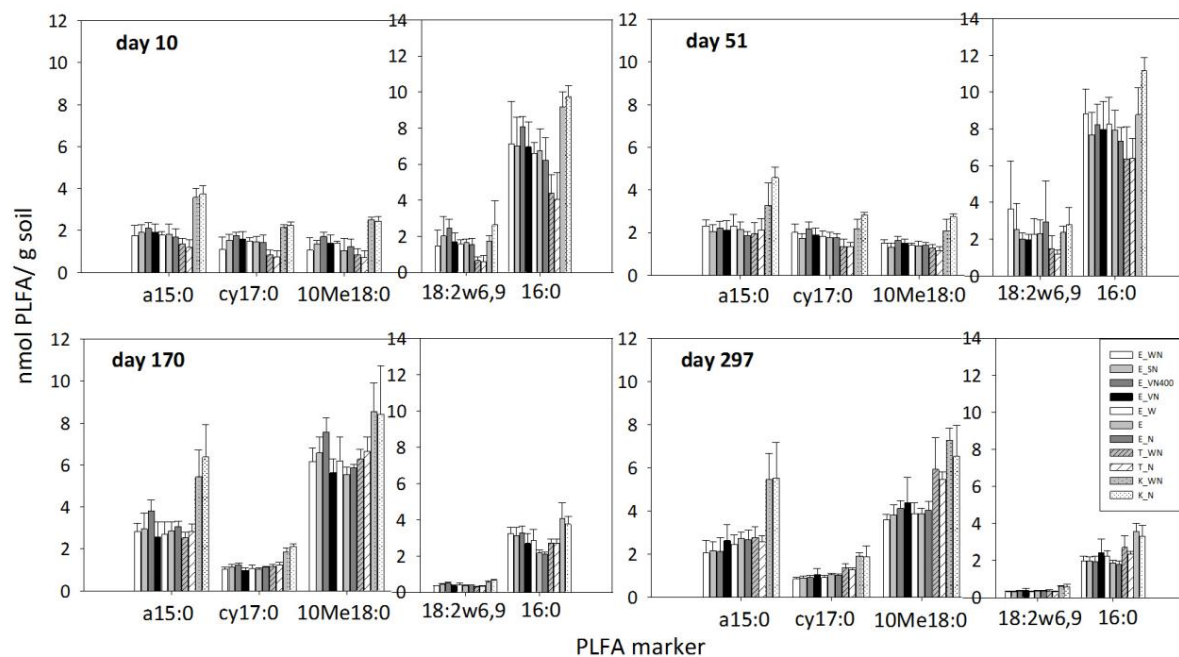
Jumlah PLFA tidak menunjukkan perbezaan yang ketara, tetapi perbezaan berlaku antara tanah. Sepuluh hari pertama termasuk 4 hari persampelan (hari 0, 2, 5 dan 10). Dalam fasa awal ini, komuniti mikrob menunjukkan jumlah yang tinggi tetapi trend huru-hara. Selepas tarikh persampelan keempat, selang persampelan dilanjutkan kepada satu bulan atau lebih. Komuniti mikrob di tanah Eschenau menunjukkan trend peningkatan dalam kepekatan PLFA sehingga hari ke 86. Rawatan E_VN400 malah menunjukkan peningkatan sehingga hari ke 170, manakala dalam rawatan lain jumlah PLFA perlahan-lahan menurun dari hari ke 86. Kepekatan dalam tanah dari Kaindorf dan Traismauer berkembang sama, tetapi dengan julat yang lebih luas. Dalam kedua-dua tanah, jumlah PLFA rawatan dengan biochar adalah lebih rendah sedikit berbanding dengan kawalan.



Rajah 2. Kepekatan PLFA tanah daripada eksperimen rumah hijau bagi a) rawatan berbeza untuk Eschenau (E) dan b) perbandingan rawatan biochar kayu kepada kawalan dalam tanah Eschenau (E), Kaindorf (K) dan Traismauer (T). WN= biochar kayu dengan nitrogen; SN= biochar jerami dengan nitrogen, VN400= biochar pemangsaan ladang anggur dengan suhu pirolisis 400°C dengan nitrogen; VN= biochar pemangsaan ladang anggur dengan nitrogen, N= tanpa biochar dengan nitrogen. Bar ralat menunjukkan sisihan piawai; n = 5.

Kami menumpukan pada PLFA individu tetapi turut menyiasat lima kumpulan mikrob: bakteria Gram positif, actinomycetes, bakteria Gram negatif, PLFA kulat dan tidak spesifik. Dalam Rajah 3, kejadian satu asid lemak wakil terpilih untuk setiap kumpulan mikrob tanah: bakteria Gram positif, actinomycetes, bakteria Gram negatif, kulat dan PLFA tidak spesifik, ditunjukkan untuk rawatan tanah yang berbeza. PLFA bakteria Gram positif a15:0 dan PLFA bakteria Gram negatif cy17:0 kekal sebahagian besarnya tidak berubah sepanjang keseluruhan eksperimen. Actinomycete PLFA 10Me18:0 meningkat pada hari 170 dan 297. Biomarker kulat saprofitik PLFA 18:2y6,9 menurun dari semasa ke semasa. PLFA yang tidak ditentukan (iaitu 16:0) juga berkurangan mengikut masa.

Analisis PLFA menunjukkan sedikit trend yang ketara. MANOVA bagi kedua-dua rawatan, biochar kayu dengan baja baja (WN) dan tanah dengan baja tetapi tanpa biochar (N) daripada tanah Eschenau, Kaindorf dan Traismauer, menunjukkan perbezaan antara ketiga-tiga tanah tetapi tiada perbezaan antara rawatan. Dalam MANOVA untuk tujuh rawatan yang berbeza daripada tanah Eschnau, rawatan E_VN400 dan E_VN berbeza dengan ketara daripada semua rawatan bio char lain dan rawatan kawalan; sebaliknya E_WN dan E_W hanya berbeza daripada rawatan kawalan tanpa biochar. Rawatan E_VN400 menunjukkan peningkatan ketara dalam kepekatan PLFA individu (Rajah 2 dan 3). Secara amnya, kepekatan PLFA Kaindorf adalah tertinggi dan kepekatan Traismauer terendah.



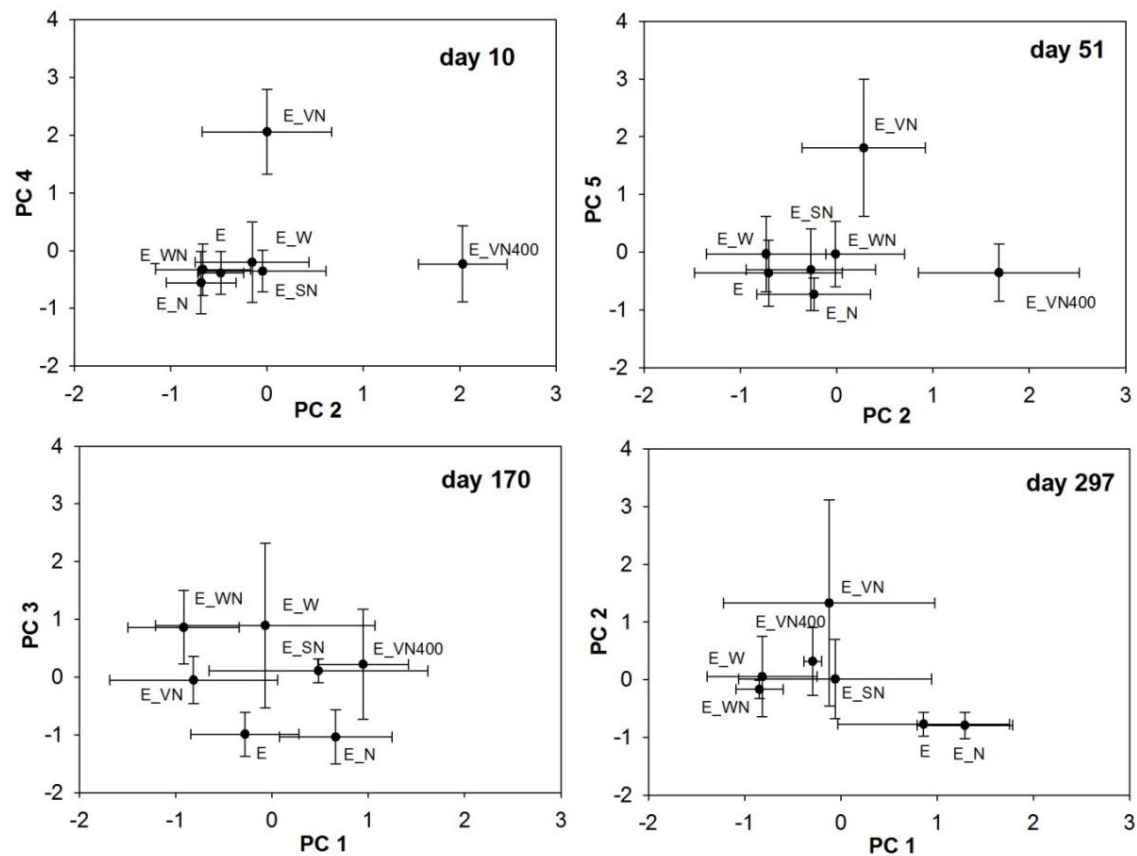
Rajah 3. Lima PLFA (a15:0, cy17:0, 10Me18:0, 18:2w6,9 dan 16:0) daripada rawatan yang dikaji daripada eksperimen rumah hijau pada empat hari pensampelan yang berbeza. E= Eschenau; T=Traismauer; K=Kaindorf; WN= biochar kayu dengan nitrogen; SN= biochar jerami dengan nitrogen; VN400= biochar pemangkasan ladang anggur dengan suhu pirolisis 400°C dengan nitrogen; VN= biochar pemangkasan ladang anggur dengan nitrogen; W= biochar kayu tanpa nitrogen; E= tanpa biochar tanpa nitrogen; N= tanpa biochar dengan nitrogen. Bar ralat menunjukkan sisihan piawai; n = 5.

Untuk analisis komponen utama kami memilih empat hari persampelan. Ini memberikan gambaran tentang anjakan komuniti mikrob dan pemacu dominan yang berpotensi (PLFA atau kumpulan organisma tertentu) bagi anjakan ini. Analisis komponen utama eksperimen rumah hijau menunjukkan kumpulan rawatan yang signifikan dan menjelaskan keputusan analisis PLFA. Rawatan Eschenau menunjukkan pemisahan antara kumpulan rawatan dengan biochar dan yang tanpa; terutamanya rawatan biochar yang dinyatakan di atas E_VN400 dan E_VN menunjukkan pemisahan yang besar pada hari 10 dan hari 51. Kemudian, pada hari 170 dan hari 297, hanya rawatan E_WN dan E_W menunjukkan sedikit pemisahan daripada rawatan kawalan (Rajah 4). Rawatan Kaindorf dan Traismauer tidak menunjukkan pemisahan antara rawatan dengan dan tanpa biochar (Rajah 5). Kekurangan pemisahan ini adalah serupa dengan keputusan daripada eksperimen lapangan (Rajah 7). Pada asasnya, dalam pemisahan rawatan di tanah Eschenau, pengaruh tertinggi terhadap pengelompokan rawatan ditunjukkan oleh PLFA yang tergolong dalam kumpulan bakteria Gram positif (i14:0), PLFA tidak spesifik (16:1w6, 19:1) dan kulat (18:2w6,9), bakteria Gram negatif (16:1w5, 18:1w7) (maklumat tambahan).

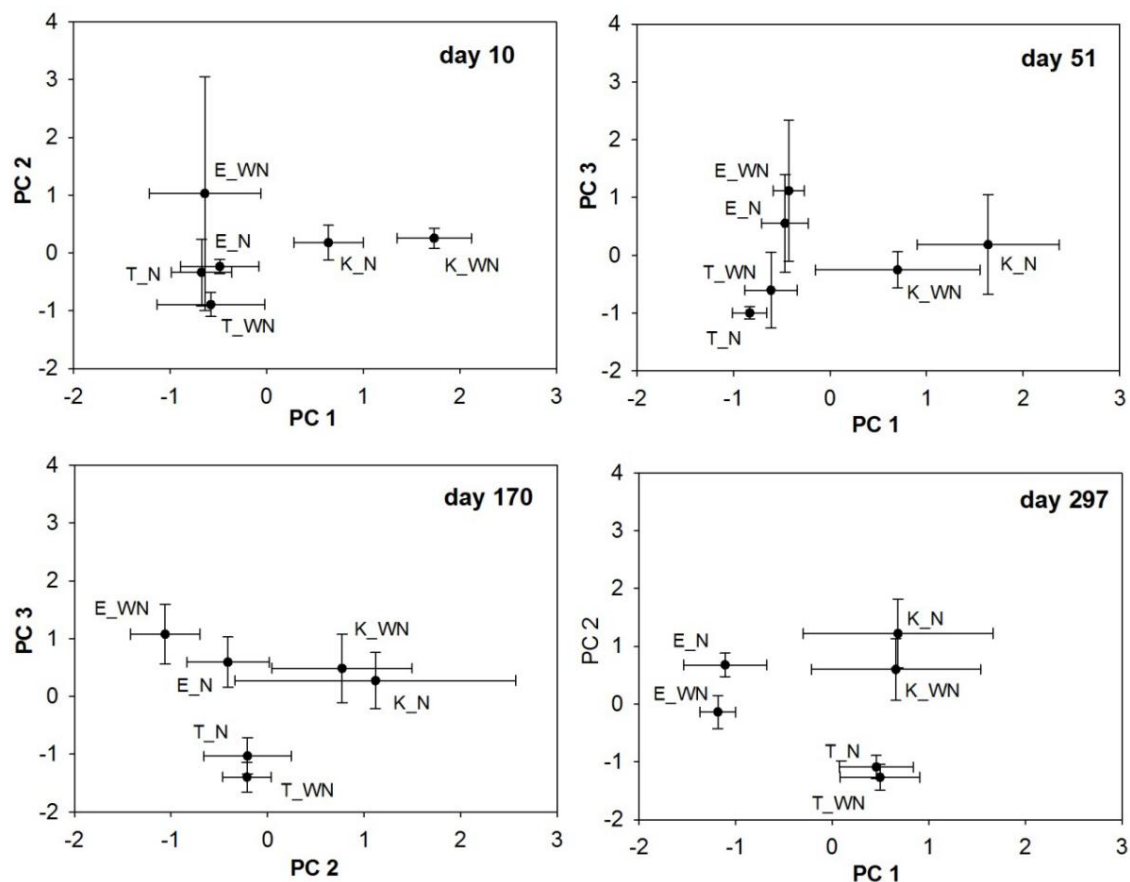
Pengaruh tertinggi terhadap pengelompokan rawatan biochar kayu dan rawatan kawalan ketiga-tiga tanah ditunjukkan oleh kulat (16:1w5, 18:2w6,9, 18:1w7) dan actinomycete PLFA (10Me18:0, 12Me18:0). Walau bagaimanapun, keputusan menunjukkan tiada PLFA atau kumpulan organisma tertentu yang beroperasi sebagai pendorong utama peralihan. Oleh itu, pemisahan nampaknya tidak didorong oleh kumpulan mikrob tertentu atau PLFA tunggal.

Analisis korelasi daripada eksperimen rumah hijau menunjukkan banyak korelasi yang ketara antara PLFA dan sifat tanah, pencirian air resapan dan biojisim tumbuhan (maklumat tambahan, Jadual I - III).

Nisbah C/N dalam tanah meningkat selepas menambah biochar (Jadual 5). Purata nisbah C/N daripada rawatan biochar Eschenau meningkat dari hari ke-2 (18) antara hari 51 dan 170, apabila nilainya antara 33 dan 37. Nisbah C/N daripada rawatan Kaindorf dan Traismauer dengan biochar meningkat daripada 16 kepada lebih 20. Kandungan C dan N juga merupakan satu-satunya parameter yang ditentukan untuk sampel tanah yang digunakan untuk analisis PLFA. Semua parameter lain dilaporkan daripada sampel yang berbeza dan pada masa yang berbeza-beza (Kloss et al. 2013, Bucker 2012).



Rajah 4. Analisis komponen utama dari eksperimen rumah hijau dengan mengumpulkan pelbagai biochar dan rawatan pembaikan untuk tanah dari Eschenau pada empat hari pensampelan yang berbeza. Bar ralat menunjukkan sisihan piawai. E= Eschenau; WN= biochar kayu dengan nitrogen; SN= biochar jerami dengan nitrogen; VN400= biochar pemangsaan ladang anggur dengan suhu pirolisis 400°C dengan nitrogen; VN= biochar pemangsaan ladang anggur dengan nitrogen; W= biochar kayu tanpa nitrogen; E= tanpa biochar tanpa nitrogen; N= tanpa biochar dengan nitrogen. Untuk lebih banyak data tentang nilai eigen dan varians lihat maklumat tambahan.



Rajah 5. Analisis komponen utama daripada eksperimen rumah hijau dengan pengelompokan rawatan biochar untuk tanah dari Kaindorf dan Traismauer pada empat hari persampelan berbeza Bar ralat menunjukkan sisihan piawai. E=Eschenau; T=Traismauer; K=Kaindorf; WN= biochar kayu dengan nitrogen; N= tanpa biochar dengan nitrogen. Untuk lebih banyak data tentang nilai eigen dan varians lihat maklumat tambahan.

Korelasi antara PLFA dan kandungan N tanah adalah biasa, tetapi berbeza mengikut jenis tanah. PLFA dalam tanah Es chenau berkorelasi secara positif dan negatif dengan kandungan N tanah, lebih negatif korelasi untuk ammonium boleh didapati dalam tanah dengan biochar, juga korelasi dengan nitrat dan DOC hanya terdapat dalam tanah Es chenau dengan biochar. Di tanah Kaendorf secara amnya beberapa korelasi dengan PLFA ditemui. Tiada korelasi PLFA dan N-kandungan tanah ditemui. Selain itu, beberapa korelasi ditemui mengenai kandungan DOC, nitrat, C tanah dan nisbah C/N tanah. Dalam tanah Traismauer kandungan N berkorelasi dengan PLFA dalam tanah dengan arang bio dan tanpa; tambahan positif korelasi dengan ammonium didapati hanya dalam tanah dengan biochar. Banyak korelasi positif antara pH dan PLFA terdapat dalam tanah Traismauer dan dalam tanah Eschenau. Pembolehubah lain (sulfat, kandungan air, EC) berkorelasi dengan pelbagai PLFA, tetapi tiada corak umum yang jelas. Rawatan tanah Eschenau tanpa biochar menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan semua PLFA dan dengan pertumbuhan mustard, barli dan semanggi. Dalam rawatan dengan biochar hanya tanaman pertama (sawi) berkorelasi dengan PLFA tertentu daripada kumpulan mikrob yang berbeza.

Jadual 5. Min dan sisihan piawai Corg dan Ntot dalam tanah pada empat hari terpilih semasa eksperimen rumah hijau (n=5). Huruf yang berbeza menunjukkan perbezaan yang ketara dalam satu lajur ($p < 0.05$ ujian Tukey, n=55), unit = (g/100g tanah kering).

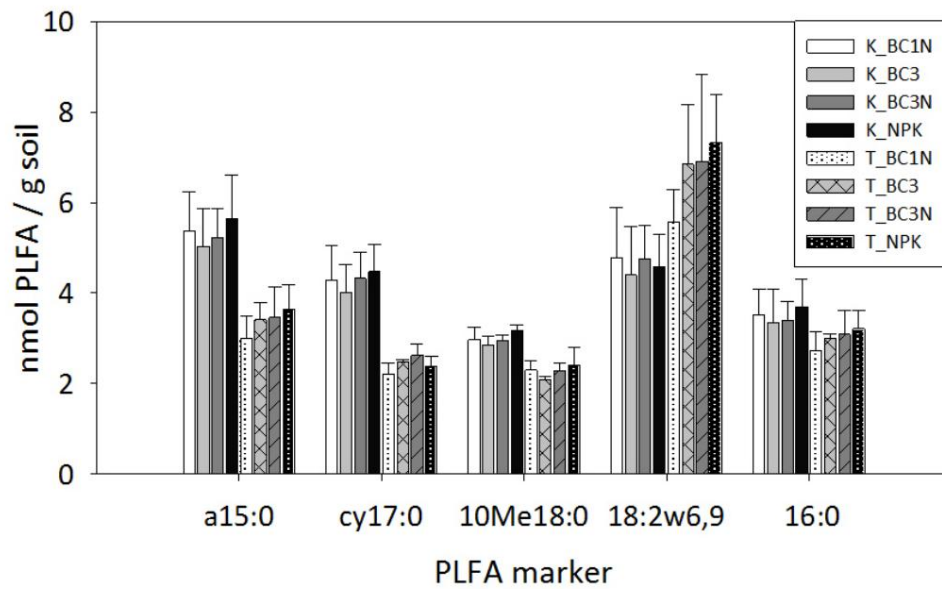
| | Hari 0 | | Hari ke 51 | | Hari ke 170 | | Hari ke 297 | |
|---------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| | Corg | Ntot | Corg | Ntot | Corg | Ntot | Corg | Ntot |
| E_WN | 2.8 ± 0.6 ^b | 0.14 ± 0.01 ^{juh} | 3.1 ± 0.3 ^{abc} | 0.20 ± 0.04 ^{cd} | 2.8 ± 0.4 ^{bc} | 0.08 ± 0.03 ^{bc} | 2.8 ± 0.4 ^{juh} | 0.1 ± 10.01 ^{bc} |
| E_SN | 2.6 ± 0.2 ^b | 0.15 ± 0.01 ^{juh} | 2.9 ± 0.3 ^{juh} | 0.18 ± 0.02 ^{bcd} | 2.8 ± 0.5 ^{bc} | 0.08 ± 0.01 ^{bc} | 2.6 ± 0.4 ^{juh} | 0.09 ± 0.01 ^{abc} |
| E_VN400 | 3.3 ± 0.4 ^b | 0.17 ± 0.01 ^{abc} | 3.2 ± 0.3 ^{abc} | 0.20 ± 0.02 ^{cd} | 3.2 ± 0.3 [—] | 0.09 ± 0.01 ^{cde} | 3.1 ± 0.2 ^{juh} | 0.11 ± 0.01 ^{bc} |
| E_VN | 3.1 ± 0.5 ^b | 0.16 ± 0.01 ^{abc} | 3.4 ± 0.2 ^{abc} | 0.17 ± 0.00 ^{bcd} | 3.5 ± 0.2 [—] | 0.09 ± 0.00 [—] | 3.5 ± 0.2 ^{juh} | 0.11 ± 0.00 ^c |
| E_W | 2.5 ± 0.1 ^b | 0.15 ± 0.01 ^{abc} | 3.1 ± 0.8 ^{juh} | 0.16 ± 0.00 ^{abc} | 3.0 ± 0.3 ^{bcd} | 0.08 ± 0.01 ^{bcd} | 2.8 ± 0.4 ^{juh} | 0.10 ± 0.01 ^{bc} |
| — | ab 1.1 ± 0.1 ^a | 0.14 ± 0.01 | 1.1 ± 0.1 ^a | daripada 0.14 ± 0.00 | 1.1 ± 0.1 ^a | 0.05 ± 0.01 ^a | 1.4 ± 0.9 ^a | 0.08 ± 0.01 ^a |
| E_N | 1.0 ± 0.1 ^b | d 0.13 ± 0.00 | cd 1.1 ± 0.2 | f 0.13 ± 0.00 | f 1.0 ± 0.3 | f 0.07 ± 0.00 | b 0.9 ± 0.2 | 0.09 ± 0.02 ^f |
| K_WN | 3.6 ± 0.1 ^c | 0.25 ± 0.00 ^c | 4.3 ± 0.1 ^d | d 0.27 ± 0.01 | 4.4 ± 0.1 ^g | 0.21 ± 0.02 ^g | daripada 4.3 ± 0.0 | 0.25 ± 0.00 ^d |
| K_Wanda | 2.4 ± 1.5 ^a | 0.25 ± 0.06 ^a | 2.4 ± 0.7 ^a | 0.25 ± 0.05 ^a | 2.3 ± 0.4 ^a | 0.22 ± 0.01 ^a | 2.0 ± 0.3 ^a | 0.19 ± 0.01 ^{juh} |
| T_WN | 3.3 ± 0.3 ^b | bc 0.20 ± 0.00 | abc 3.4 ± 0.5 | bcd 0.21 ± 0.02 | 3.3 ± 0.2 ^{cde} | 0.13 ± 0.00 ^e | daripada 3.1 ± 0.1 | 0.17 ± 0.00 ^c |
| — | b 1.6 ± 0.2 | d 0.18 ± 0.01 | cd 1.6 ± 0.1 | 0.17 ± 0.01 ^e | b 1.6 ± 0.1 | b 0.13 ± 0.01 | 1.4 ± 0.4 ^a | 0.12 ± 0.05 ^e |

E= Eschenau; T=Traismauer; K=Kaendorf; WN= biochar kayu dengan nitrogen; SN= biochar jerami dengan nitrogen; VN400= biochar pemangkas ladang anggur dengan suhu pirolisis 400°C dengan nitrogen; VN= biochar pemangkas ladang anggur dengan nitrogen; W= biochar kayu tanpa nitrogen; E= tanpa biochar tanpa nitrogen; N= tanpa biochar dengan nitrogen; Corg = kandungan karbon organik tanah, Ntot = jumlah kandungan nitrogen.

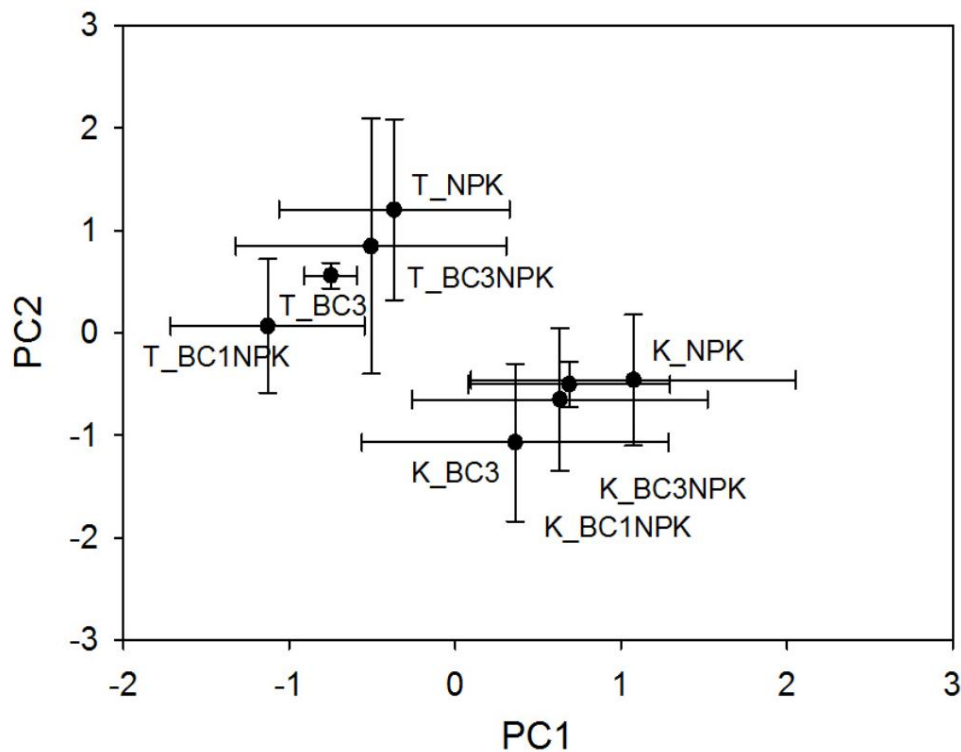
Ekspirimen lapangan

Rawatan yang berbeza, termasuk pelbagai jumlah pembajaan biochar dan nitrogen, tidak mengubah kepekatan PLFA dengan ketara (Rajah 6). Hanya lokasi (iklim, tanah, penanaman) membuat perbezaan yang ketara. Jumlah PLFA individu dari Kaendorf adalah lebih tinggi daripada PLFA dari Traismauer, kecuali PLFA untuk kulat.

Ekspirimen lapangan menunjukkan beberapa trend yang ketara dalam PLFA individu, dan pemisahan kumpulan yang jelas adalah jelas dalam analisis komponen utama (Rajah 7). Analisis komponen utama dan MANOVA tidak menunjukkan perbezaan dalam rawatan dalam tanah. Pemisahan dari tanah daripada eksperimen lapangan (PC 2) disebabkan oleh PLFA daripada kumpulan mikrob kulat (18:1y7, 18:2 y6,9, 18:1y5), manakala pemisahan rawatan (PC 1) adalah mungkin disebabkan oleh rejim persenyawaan. Pembolehubah yang bertanggungjawab ialah bakteria Gram positif, bakteria Gram negatif, actinomycete dan PLFA tidak spesifik (maklumat tambahan).



Rajah 6. Cara PLFA individu daripada eksperimen lapangan di lokasi Kaindorf (K) dan Traismauer (T). T=Traismauer; K=Kaindorf; BC1NPK= 1% biochar dengan nitrogen, BC3NPK= 3% biochar dengan nitrogen, BC3= 3% biochar tanpa nitrogen, NPK= hanya baja; bar ralat menunjukkan sisihan piawai; n = 5.



Rajah 7. Analisis komponen utama dengan pengelompokan pelbagai biochar dan rawatan pembajaan daripada eksperimen lapangan. Bar ralat menunjukkan sisihan piawai T=Traismauer; K=Kaindorf; BC1NPK= 1% biochar dengan nitrogen, BC3NPK= 3% biochar dengan nitrogen, BC3= 3% biochar tanpa nitrogen, NPK= sahaja baja. Untuk lebih banyak data tentang nilai eigen dan varians lihat maklumat tambahan.

Perbincangan

Kajian ini menyiasat kesan biochar ke atas komuniti mikrob di bawah keadaan rumah hijau dan ladang. Ia direka bentuk untuk mengenal pasti (1) pengaruh biochar ke atas komuniti mikrob tanah, (2) sebab pengaruh ini, dan (3) perbezaan dalam kesan biochar yang disebabkan oleh kadar penggunaan yang berbeza dalam tanah, suhu pirolisis yang berbeza dan bahan mentah biochar.

Kesan biochar pada biojisim mikrob tanah dan struktur komuniti

Analisis PLFA bagi eksperimen rumah hijau menunjukkan sedikit bukti penting untuk kesan positif biochar ke atas jumlah biojisim mikrob. Ketiadaan kesan biochar pada mikroorganisma tanah telah didokumenkan oleh Castaldi et al. (2011) dan Watzinger et al. (2013). Walau bagaimanapun, pada masa yang sama, tiada kesan negatif ketara pindaan biochar ke atas jumlah biojisim mikrob diperhatikan dalam kajian semasa. Walau bagaimanapun, analisis komponen utama kami bagi kedua-dua eksperimen menunjukkan perubahan dalam komuniti mikrob. Jika sumber karbon yang tersedia secara mikrob (contohnya sisa tumbuhan atau minyak sayuran) ditambah ke dalam tanah, maka mikroorganisma tanah cenderung untuk bertindak balas dengan meningkatkan biojisimnya (Stemmer et al. 2007, Mellendorf et al. 2010). Oleh kerana kami secara amnya tidak melihat peningkatan sedemikian, kami menganggap bahawa perubahan dalam komuniti mikrob sebahagian besarnya disebabkan oleh ciri tanah yang diubah, seperti yang dicadangkan oleh Watzinger et al. (2013), Mašek et al. (2011) dan Lehmann et al. (2011). Tingkah laku corak PLFA juga menyokong penemuan O'Neil et al. (2009) dan Anderson et al. (2011), bahawa peralihan biojisim nampaknya berlaku pada peringkat keluarga tunggal, genera dan spesies, dan bukan dalam jumlah biojisim mikrob. Selain itu, kami membuat hipotesis bahawa pengeringan tanah dan penyediaan pasu telah memberi kesan kuat kepada mikroorganisma tanah dan menyebabkan kematian mikrob utama, diikuti dengan peningkatan besar biojisim mikrob.

Menghubungkan perubahan komuniti mikrob tanah kepada sifat tanah dalam eksperimen rumah hijau

Perubahan yang disebabkan oleh biochar dalam nisbah C/N, kapasiti pegangan air, nilai pH dan ketersediaan nutrien mempengaruhi kesuburan tanah dan komuniti mikrob (Mao et al. 2012, Pietikäinen et al. 2000, Liang et al. 2010, Kolb et al. 2009). Sampel tanah daripada eksperimen rumah hijau dikumpul dan dianalisis pada permulaan eksperimen dan selepas tujuh bulan (Kloss et al. 2013). Menambah biochar ke dalam tanah meningkatkan nilai pH, EC, CEC, nisbah C/N dan Corg dalam tanah eksperimen ini. Dalam tempoh tujuh bulan pertama, EC tanah yang dirawat biochar menurun, manakala CEC meningkat. Nisbah C/N meningkat selepas 51 dan 170 hari. Kami menganggap peningkatan ini disebabkan ketiadaan penyuburan, yang telah ditinggalkan sebagai pengurusan persediaan untuk penanaman semanggi. Reaksi PLFA terhadap faktor yang diuji berbeza dari tanah ke tanah, dan korelasi mengenai rawatan dengan biochar berbeza daripada yang tanpa biochar. Ini menyokong kesan biochar yang terutamanya tidak langsung dan kompleks ke atas komuniti mikrob, yang melibatkan kesan berlipat ganda biochar pada faktor fizikal dan kimia tanah dan bukannya interaksi langsung seperti degradasi biochar oleh mikroorganisma seperti yang dicadangkan oleh Mašek et al. (2011) dan Lehmann et al. (2011).

Satu penjelasan untuk korelasi kuat yang diperhatikan antara PLFA dan kandungan C- dan N tanah ialah ia adalah satu-satunya parameter seperti yang ditentukan dalam sampel yang sama seperti analisis PLFA. Di luar ini, diketahui bahawa nisbah C/N yang semakin meningkat mengubah komuniti mikrob tanah, contohnya menggalakkan pertumbuhan kulat tetapi mengehadkan kelimpahan bakteria (Eiland et al. 2001). Berbeza dengan model umum ini, kami mendapati bukan sahaja korelasi negatif antara PLFA dan C/N, tetapi juga meningkatkan biojisim mikrob dengan peningkatan nisbah C/N. Ketidakpadanan ini adalah kerana nisbah C/N tidak menggambarkan ketersediaan C- atau N, dan mungkin disebabkan oleh korelasi daripada PLFA dengan kandungan N. Kami mendapati hanya sedikit korelasi antara PLFA dan kandungan C tanah. Ini membawa kepada kesimpulan bahawa kebanyakan C tidak tersedia secara bio. Selain itu, kami mendapati banyak korelasi antara PLFA dan kandungan N tanah di Eschenau dan Traismauer. Kaindorf menunjukkan korelasi hanya dengan kandungan C dan beberapa korelasi dengan nitrat. Nelissen et al. (2012) dan Anderson et al. (2011) mendapati, bergantung kepada tanah dan status dan dinamik nutriennya, proses penyerapan, imobilisasi, nitrifikasi dan mineralisasi akan menjejaskan ketersediaan nutrien dan seterusnya mikroorganisma tanah. Tafsiran kami ialah tanah yang kaya dengan nutrien (Kaindorf) tidak menunjukkan korelasi dengan kandungan N dan hanya sedikit dengan nitrat kerana mikroorganisma telah sedia dibekalkan dengan nutrien. Tanah miskin nutrien dengan biochar daripada Traismauer dan Eschenau menunjukkan banyak korelasi positif dengan kandungan N, nitrat dan DOC; ini boleh menunjukkan bahawa biochar meningkatkan bekalan nutrien dalam rawatan ini. Kolb et al. (2009) dan Steinbeiss et al. (2009) juga melaporkan bahawa peningkatan biojisim mikrob dan respirasi adalah lebih tinggi dengan tahap SOM asli (bahan organik tanah) yang rendah dalam tanah biochar amended. Mereka juga menentukan bahawa peningkatan dalam habitat mikrob dan tersedia C dalam tanah miskin SOM adalah pemacu utama pembangunan ini. Ambil perhatian bahawa, bakteria tanah ini lebih baik disesuaikan dengan persekitaran terhadap nutrien daripada di dalam tanah dengan SOM yang lebih besar. Ketiadaan biojisim mikrob dipertingkatkan dalam tanah Kaindorf yang kaya dengan nutrien juga boleh mencerminkan tahap biojisim mikrob sedia ada yang tinggi (Ameloot et al. 2013).

Korelasi juga menunjukkan bahawa dalam Planosol (Eschenau) banyak mikroorganisma mendapat manfaat daripada nilai pH yang lebih tinggi. Seperti Watzinger et al. (2013), kami mendapati peningkatan kuat actinomycetes di tengah-tengah percubaan. Ini mungkin sebahagiannya mencerminkan sensitiviti mereka terhadap nilai pH yang rendah (Giri et al. 2013). Penurunan dan jumlah PLFA kulat yang rendah juga boleh menjadi akibat daripada pH yang lebih tinggi, kerana kulat biasanya tumbuh secara optimum dalam tanah berasid (Aciego Pietri dan Brookes 2009). Peningkatan nilai pH yang sederhana dalam Cambisol (Kaindorf) dan Chernozem (Traismauer) tidak menunjukkan kesan yang baik terhadap mikroorganisma. Dalam kedua-dua tanah, nilai pH adalah hampir neutral dan peningkatannya selepas penggunaan biochar agak kecil yang mungkin menjelaskan kekurangan tindak balas mikroorganisma tanah.

Suhu pirolisis yang tinggi meningkatkan keliangan mikro dalam biochar dan pecahan zarah biochar yang lebih halus (Abit et al. 2012) dan mengurangkan kapasiti pertukaran kation (CEC) biochar (Lehmann et al. 2011). Suhu proses juga menentukan berapa banyak arang, cecair boleh kondensasi dan gas akhirnya akan terhasil daripada sis pyroly. Dengan peningkatan suhu pirolisis, pecahan sebatian biochar stabil meningkat; ini menghasilkan biochar dengan masa tinggal yang lebih lama di dalam tanah, tetapi dengan sebatian yang kurang labil untuk menggalakkan mikroorganisma (Mašek et al.

2011, Lehmann et al. 2011). Ada kemungkinan bahawa suhu pirolisis yang rendah dalam rawatan E_VN400 menghasilkan pecahan C labil yang lebih besar; ini, seterusnya, mungkin telah meningkatkan PLFA mikrob manakala rawatan biochar lain yang disiasat menunjukkan kesan neutral atau berkurangan untuk biojisim mikrob. Nelissen et al. (2012) juga melaporkan dalam aktiviti kedutan mikroorganisma tanah dalam biochar terpirolisis pada 350°C berbanding 550°C. Mereka mengaitkan ini kepada pecahan karbon labil yang lebih besar dalam biochar suhu yang lebih rendah. Kami melihat peningkatan sebahagian daripada PLFA yang sama yang telah diterangkan oleh Watzinger et al. (2013) sebagai mengambil bahagian dalam degradasi biochar. Percubaan rumah hijau kami, bagaimanapun, tidak memberikan bukti bahawa mereka terlibat dalam degradasi biochar. Satu contoh peningkatan PLFA ialah 10Me18:0, actinomycetes. Pembiakan actinomycetes adalah perlahan dan mereka berkembang biak dalam tanah terhad nutrisi. Actinomycetes juga boleh merendahkan substrat yang berterusan dan kompleks dan cenderung membina populasi yang stabil dalam komuniti mikrob (Metting 1993). Selain itu, *Rhodococcus* dan *Mycobacterium*, ahli actin omycetes dikenali sebagai pengurai sebatian aromatik (Johnsen et al. 2002, Ringelberg et al. 2001). Namun begitu, beberapa sebatian organik yang meruap boleh menjadi toksik; lebih-lebih lagi paras garam yang tinggi daripada pecahan biochar labil boleh mengurangkan biojisim mikrob (Lehmann et al. 2011, Spokas et al. 2011). Taghizadeh-Toosi et al. (2011) menyifatkan VOC daripada biochar sebagai perencat nitrifikasi yang mungkin. Kloss et al. (2013) dan Deenik et al. (2011) mendapati bahawa kesan buruk VOC dalam tanah yang diperkayakan biochar adalah sementara. Dalam eksperimen kami, kestabilan jumlah biojisim mikrob selepas pindaan biochar mengesahkan bahawa ketoksikan biochar memainkan peranan kecil. Analisis komponen utama komuniti mikroorganisma, bagaimanapun, menunjukkan pemisahan rawatan yang berbeza pada hari 0 dan hari 51. Pada hari 170 rawatan biochar tidak menunjukkan pemisahan dan hari persampelan terakhir menunjukkan pemisahan antara rawatan dengan biochar dan tanpa. Ini mungkin disebabkan oleh kehilangan / larut lesap garam dan pecahan karbon labil biochar.

Perbandingan pertumbuhan komuniti mikrob tanah dan pertumbuhan tumbuhan dalam eksperimen rumah hijau

Tanaman pertama (sawi) Eschenau menunjukkan perbezaan yang jelas antara rawatan biochar dan kawalan, tetapi perbezaan ini berkurangan dan tidak ketara dalam tanaman kedua (barli) dan ketiga (semanggi) (Kloss et al. 2013). Corak ini juga sebahagiannya dicerminkan dalam analisis komponen utama dan MANOVA komuniti organisma mikro. Rawatan dengan pemangkasan ladang anggur menunjukkan, pada hari 10, 51 dan 86 perbezaan yang kuat dan pada hari 170 dan 297 tiada perbezaan, sebaliknya kami mendapati pada hari 170 dan hari 297 perbezaan antara rawatan tanpa biochar dan rawatan dengan biochar kayu. Secara amnya, penggunaan biochar mengurangkan biojisim tumbuhan dua tanaman pertama (sawi dan barli) dalam semua tanah. Ini mungkin berkaitan dengan perubahan dalam ketersediaan mikronutrien, atau kepada kesan toksik VOC dan/atau hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) (Kloss et al. 2013). Kami mendapati tiada pengurangan ketara biojisim mikrob. Kloss et al. (2013) menentukan bahawa interaksi penggunaan biochar dan pembajaan N hanya mempunyai kepentingan kecil untuk pertumbuhan tumbuhan. Analisis PLFA kami juga menunjukkan tiada atau sedikit pengaruh biochar pada proses pertumbuhan mikrob yang berkaitan dengan N. Dalam Planosol (Eschenau) tanpa biochar, PLFA berkorelasi dengan ketiga-tiga tanaman, manakala rawatan dengan biochar hanya berkorelasi dengan tanaman sawi. Satu tafsiran ialah, dalam Planosol berpasir tanpa biochar, interaksi antara tumbuhan dan mikroorganisma tertutup dan mempunyai kesan yang lebih kuat. Sambungan langsung ini nampaknya dipisahkan melalui pindaan biochar.

Kesan biochar terhadap mikroorganisma tanah di ladang

Dalam eksperimen lapangan, nisbah C/N meningkat dengan ketara selepas penambahan biochar, manakala nilai pH parameter tanah, EC dan CEC tidak dipengaruhi oleh penambahan ini dalam tempoh tumbuh-tumbuhan kedua, apabila sampel PLFA dikumpul. Di Kaindorf, hasil gandum (biojisim kering) jatuh dengan ketara di bawah rawatan BC3 berbanding tiga rawatan lain. Hasil bunga matahari dalam Traismauer menunjukkan perbezaan yang lebih kecil antara BC3 dan rawatan NPK (data tidak diterbitkan). Faktor komponen PCA yang dikurangkan daripada mikroorganisma PL FAs tidak menunjukkan corak pengedaran yang sama seperti hasil tanaman rawatan yang sepadan. Tiada kelemahan rawatan BC3 ditemui. Pemisahan rawatan kepada dua kumpulan tanah disebabkan oleh faktor komponen utama 2, yang sebahagian besarnya ditakrifkan melalui PLFA daripada kumpulan mikroorganisma kulat. Pengasingan ini mungkin berasal daripada kandungan kulat yang lebih tinggi secara semula jadi dalam komuniti mikroorganisma tanah Traismauer. Trend dan pemisahan rawatan dalam eksperimen lapangan adalah setanding dengan eksperimen rumah hijau.

Kesimpulan

Pindaan biochar kepada tanah pertanian sederhana tidak meningkatkan atau mengurangkan jumlah biojisim mikrob tanah tetapi menyebabkan perubahan kecil dalam komuniti mikrob menggunakan analisis asid lemak fosfolipid. Hanya tanah Eschenau yang dirawat biochar dengan pemangkas ladang anggur yang dipirolisis pada 400°C menunjukkan peningkatan ketara biojisim mikrob dalam eksperimen rumah hijau yang mungkin berkaitan dengan pecahan labil yang lebih besar dalam biochar yang dipirolisis pada suhu yang lebih rendah. Eksperimen pasu rumah hijau dan eksperimen lapangan menunjukkan hasil yang konsisten. Penggunaan biochar menjejaskan kimia dan fizik tanah dan akibatnya komuniti mikrob secara berbeza dalam tiga tanah pertanian pertanian yang berbeza. Dalam konteks kerumitan ini kita boleh mengenal pasti nilai pH adalah penting, terutamanya selepas penambahan biochar pada tanah yang sedikit berasid (tanah Eschenau). Selain itu, status nutrien dan -ketersediaan (kandungan N tanah pukal; nitrat, ammonium dan DOC larutan tanah) menjejaskan komuniti mikrob. Kami mendapati bahawa biochar meningkatkan korelasi positif antara nutrien dan mikroorganisma dalam tanah miskin nutrien Eschenau dan Traismauer lebih daripada tanah kaya nutrien Kaindorf. Dalam tanah pertanian berkualiti tinggi kami, kepentingan penambahan biochar adalah lebih kepada penyerapan karbon daripada pemulihan tanah.

Pengakuan

Kajian ini dibiayai oleh FFG Austria, projek nr. 825438, melalui program dana KLI.EN "Neue Energien 2020".

Rujukan

- Abit, SM, Bolster, CH, Cai, P. & Walker, SL 2012. Pengaruh Bahan Suapan dan Suhu Pirolisis Pindaan Biochar terhadap Pengangkutan *Escherichia coli* dalam Tanah Tepu dan Tak Tepu. *Sains & Teknologi Alam Sekitar* 46: 8097–8105.
- Aciego Pietri, JC & Brookes, PC 2009. Input substrat dan pH sebagai faktor yang mengawal biojisim mikrob, aktiviti dan struktur komuniti dalam tanah yang boleh ditanam. *Biologi Tanah & Biokimia* 41: 1396–1405.
- Anderson, CR, Condrón, LM, Clough, TJ, Fiers, M., Stewart, A., Hill, RA & Sherlock, RR 2011. Perubahan komuniti mikrob tanah yang disebabkan oleh biochar: Implikasi untuk kitaran biogeokimia karbon, nitrogen dan fosforus. *Pedobiologia – Jurnal Antarabangsa Biologi Tanah*, 54: 309–320.
- Ameloot, N., Graber, E., Verheijen, F. & De Neve, S. 2013. Interaksi antara kestabilan biochar dan organisma tanah: kajian semula dan keperluan penyelidikan. *European Journal of Soil Science*, 64: 379–390.
- Bligh E. & Dyer W. 1959. Kaedah pantas pengekstrakan dan penulenan lipid total. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology* 37: 911–917.
- Bücker, J. 2012. Kesan biochar pada ciri larut lesap dan pengeluaran tanaman sawi (*Sinapis alba*) dan barli (*Hordeum vulgare*) dalam eksperimen mikro-lisimeter pada tiga tanah pertanian di Austria. Tesis diploma, BTU Cottbus.
- Brennan, PJ 1988. Mycobacterium dan actinomycetes lain. Dalam: Ratledge, C. dan Wilkinson, SG (eds.). *Lipid mikrob*. Lon don: Akhbar Akademik. hlm. 204–298.
- Brewer, CE, Unger, R., Schmidt-Rohr, K. & Brown, RC 2011. Kriteria untuk Memilih Biochar untuk Kajian Lapangan berdasarkan Sifat Kimia Biochar. *Penyelidikan Biotenaga* 4: 312–323.
- Castaldi, S., Rioldino, M., Baronti, S., Esposito, FR, Marzaioli, R., Rutigliano, FA, Vaccari, FP & Miglietta, F. 2011. Kesan penggunaan biochar kepada tanaman gandum Mediterranean pada tanah aktiviti mikrob dan fluks gas rumah hijau. *Chemosfera* 85: 1464–1471.
- Chan, KY & Xu, Z. 2009. Biochar: sifat nutrien dan peningkatannya. Dalam: Lehmann, J. dan Joseph, S. (eds.). *Biochar untuk Pengurusan Alam Sekitar*. Earthscan, London: Sains dan Teknologi. hlm. 67–84.

- Cheng, CH, Lehmann, J., Thies, JE, Burton, SD & Engelhard, MH 2006. Pengoksidaan karbon hitam oleh proses biotik dan abiotik. *Geokimia Organik* 37: 1477 - 1488.
- Deenik, JL, Diarra, A., Uehara, G., Campbell, S., Sumiyoshi, Y., & Antal, MJ, 2011. Kesan Abu Arang dan Bahan Meruap pada Sifat Tanah dan Pertumbuhan Tumbuhan dalam Ultisol Asid. *Sains Tanah* 176: 336–345.
- Downie, A., Crosky, A. & Munroe, P. 2009. Sifat fizikal biochar. Dalam: Lehmann, J. & Joseph, S. (eds.). *Biochar untuk Pengurusan mental Alam Sekitar*. Earthscan, London: Sains dan Teknologi. hlm. 13y29.
- Downie, AE, Van Zwieten, L., Smernik, RJ, Morris, S. & Munroe, PR 2011. Terra Preta Australis: Menilai semula kapasiti penyimpanan karbon bagi tanah sederhana. *Pertanian, Ekosistem & Alam Sekitar* 140: 137–147.
- Eiland, F., Klamer, M. Lind, AM, Leth, M. & Bååth, E. 2001. Pengaruh nisbah C/N awal pada komposisi kimia dan mikrob semasa pengkomposan jangka panjang jerami. *Ekologi Mikrob* 41: 272y280.
- Farrell, M., Kuhn,TK, Macdonald, LM, Maddern, TM, Murphy, DV, Hall, PA, Pal Singh, B., Baumann, K., Krull, ES & Baldock, JA 2013. Penggunaan mikrob biochar- karbon terbitan. *Science of the Total Environment*, 465: 288–297.
- Frostegård, Å. & Bååth, E. 1996. Penggunaan analisis asid lemak fosfolipid untuk menganggar biojisim bakteria dan kulat dalam tanah. *Biologi dan Kesuburan Tanah* 22: 59y65.
- Frostegård, Å., Tunlid, A. & Bååth, E. 1991. Biojisim mikrob diukur sebagai jumlah fosfat lipid dalam tanah dengan kandungan organik yang berbeza. *Jurnal Kaedah Mikrobiologi* 14: 151–163.
- Frostegård, Å., Tunlid, A. & Bååth, E., 2011. Penggunaan dan penyalahgunaan ukuran PLFA dalam tanah. *Biologi Tanah dan Biokimia* 43: 1621–1625.
- Giri, B., Giang, PH, Kumari, R., Prasad, R. & Varma, A. 2005. Kepelbagaian mikrob dalam tanah. Dalam: Buscot, F. & Varma, A. (eds.). Peranan dalam Kejadian dan Fungsi. Berlin Heidelberg: Springer. *Mikroorganisma dalam Tanah*. hlm.19y55.
- Glaser, B., Lehmann, J. & Zech, W. 2002. Memperbaiki sifat fizikal dan kimia tanah yang sangat terluluhawa di kawasan tropika dengan arang - ulasan. *Biologi dan Kesuburan Tanah* 35: 219–230.
- Glaser, B. & Birk, JJ 2012. Keadaan pengetahuan saintifik tentang sifat dan genesis Bumi Gelap Antropogenik di Amazonia Tengah (terra preta de Indio). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82: 39–51.
- Grossman, JM, O'Neill, BE, Tsai, SM, Liang, B., Neves, E., Lehmann, J. & Thies, JE 2010. Antrosol Amazon Menyokong Komuniti Mikrob Serupa yang Berbeza Secara Jelas daripada Yang Ada di Bersebelahan, Tanah Tidak Diubahsuaikan dari Mineralogi yang Sama. *Mikrobiologi Ekologi* 60: 192–205.
- Johnsen, AR, Penggulungan, A., Karlson, U. & Roselev, P. 2002. Menghubungkan mikroorganisma kepada metabolisme phenanthrene dalam tanah oleh ysis dubur (13) lipid sel berlabel C. *Mikrobiologi Alam Sekitar Gunaan* 68: 6106y6113.
- Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Bücken, J. & Soja, G. 2013. Aplikasi biochar untuk tanah sederhana: Kesan ke atas kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman di bawah keadaan rumah hijau. *Pemakanan Tumbuhan dan Sains Tanah* 000:1-13.
- Kolb, SE, Fermanich, KJ & Dornbush, ME 2009. Kesan Kuantiti Arang terhadap Biojisim Mikrob dan Aktiviti dalam Tanah Sederhana. *Soil Science Society of America Journal* 73:1173.
- Kolton, M., Meller Harel, Y., Pasternak, Z., Graber, ER, Elad, Y. & Cytryn, E. 2011. Kesan Aplikasi Biochar ke Tanah terhadap Struktur Komuniti Bakteria Berkaitan Akar Lada Rumah Hijau yang Dibangunkan Sepenuhnya Tumbuhan. *Applied and Environmental Microbiology* 77: 4924–4930.
- Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. 2006. Penyerapan Bio-char dalam Ekosistem Terrestrial - Satu Tinjauan. *Strategi Mitigasi dan Penyesuaian untuk Perubahan Global* 11: 395–419.
- Lehmann, J., Rillig, MC, Thies, J., Masiello, CA, Hockaday, WC & Crowley, D. 2011. Kesan biochar pada biota tanah - Kajian semula. *Biologi Tanah dan Biokimia* 43: 1812–1836.
- Liang, B., Lehmann, J., Sohi, SP, Thies, J., O'Neill, B., Trujillo, L., Gaunt, J., Solomon, D., Grossman, J., Neves, E. G & Luizão, FJ 2010. Karbon hitam menjejaskan kitaran karbon bukan hitam dalam tanah. *Geokimia Organik* 41: 206 – 213.
- Mao, J.-D., Johnson, RL, Lehmann, J., Olk, DC, Neves, EG, Thompson, ML & Schmidt-Rohr, K. 2012. Abundant and Stabil Char Residues in Soils: Implikasi untuk Kesuburan Tanah dan Penyerapan Karbon. *Sains & Teknologi Alam Sekitar* 46: 9571–9576.
- Mašek, O., Brownsort, P., Cross, A. & Sohi, S. 2011. Pengaruh keadaan pengeluaran terhadap hasil dan kestabilan alam sekitar biochar. *Bahan api* 103: 151y155.
- Mellendorf, M., Soja, G., Gerzabek, MH & Watzinger, A. 2010. Dinamika komuniti mikrob tanah dan degradasi phenanthrene yang terjejas oleh penggunaan minyak rogol. *Ekologi Tanah Gunaan* 46: 329y334.
- Metting, FB 1993. Struktur dan ekologi fisiologi komuniti mikrob tanah. Dalam: Metting, FB (ed.). *Ekologi mikrob tanah – aplikasi dalam pengurusan pertanian dan alam sekitar*. New York: Perpustakaan Kongres. hlm. 3–26.
- Moss, CW & Daneshvar, MI 1992. Pengenalpastian beberapa asid lemak tak tepu tak tepu yang tidak biasa bakteria. *Jurnal Mikrobiologi Klinik* 30: 2511y2512.
- Nelissen, V., Rütting, T., Huygens, D., Staelens, J., Ruyschaert, G. & Boeckx, P. 2012. Biochar jagung mempercepatkan dinamik tanah ni trogen jangka pendek dalam tanah pasir berlempung. *Biologi Tanah dan Biokimia* 55: 20–27.
- Olsson, PA, BÅÅth, E., Jakobsen, I. & Söderström, B. 1995. Penggunaan fosfolipid dan asid lemak lipid neutral untuk menganggarkan jisim bio kulat mikoriza arbuskular dalam tanah. *Penyelidikan Mikologi* 99: 623y629.
- O'Neill, B., Grossman, J., Tsai, MT, Gomes, JE, Lehmann, J., Peterson, J., Neves, E. & Thies, JE 2009. Kedudukan Komuniti Bakteria dalam Anthrosols Brazil dan Tanah Bersebelahan Dicitikan Menggunakan Pengkultur dan Pengenalpastian Molekul. *Ekologi Mikrob* 58: 23–35.
- Paul, EA & Clark, FE 1996. Mikrobiologi dan biokimia tanah. ed ke- 2 . San Diego, New York: Academic Press. 340 hlm.

- Pietikäinen, J., Kiikkilä, O. & Fritze, H. (2000): Arang sebagai habitat mikroba dan kesannya terhadap komunitas mikroba humus yang mendasari. *Oikos* 89: 231–242.
- Quilliam, RS, Marsden, KA, Gertler, C., Rousk, J., DeLuca, TH & Jones, DL, 2012. Dinamika nutrisi, pertumbuhan mikroba dan kemunculan rumpal dalam tanah terdapat biochar dipengaruhi oleh masa sejak aplikasi dan kadar aplikasi semula. *Pertanian, Ecosys tems & Alam Sekitar* 158: 192–199.
- Ringelberg, DB, Tally JW, Perkins EJ, Tucker, SG, Luthy, RG, Bouwer, EJ & Fredrickson, HL 2001. Penggantian Ciri-ciri Komuniti Fenotip, Genotip dan Metabolik semasa Rawatan Biosluri In Vitro Sedimen Tercegar Hidrokarbon Aromatik Polisklik. *Mikrobiologi Gunaan dan Persekitaran* 67: 1542–1550.
- Schimel, J., Balsler, TC & Wallenstein, M. 2007. Tekanan mikroba - fisiologi tindak balas dan implikasinya terhadap fungsi ekosistem. *Ekologi* 88: 1386–1394.
- Spokas, KA, Cantrell, KB, Novak, JM, Archer, DW, Ippolito, JA, Collins, HP, Boateng, AA, Lima, IM, Lamb, MC, McAloon, AJ, Lentz, RD & Nichols, KA, 2012. Biochar : Sintesis Kesan Agronominya di luar Penyerapan Karbon. *Jurnal Kualiti Alam Sekitar* 41: 973.
- Spokas, KA, Novak, JM, Stewart, CE, Cantrell, KB, Uchimiya, M., DuSaire, MG & Ro, KS 2011. Analisis kualitatif sebatian organik meruap pada biochar. *Chemosfera* 85: 869–882.
- Steinbeiss, S., Gleixner, G. & Antonietti, M. 2009. Kesan pindaan biochar pada keseimbangan karbon tanah dan aktiviti mikroba. *Biologi Tanah & Biokimia* 41: 1301–1310.
- Stemmer, M., Watzinger, A., Blochberger, K., Haberauer, G. & Gerzabek, M. 2007. Menghubungkan dinamika asid lemak id fosfolip mikroba tanah kepada mineralisasi karbon dalam eksperimen kelimpahan semula jadi ¹³C : Kesan logam berat dan hujan asid. *Biologi Tanah & Biokimia* 39: 3177–3186.
- Taghizadeh-Toosi, A., Clough, TJ, Condon, LM, Sherlock, RR, Anderson, CR & Craigie, RA 2011. Penggabungan Biochar ke dalam Tanah Pastur Menekan Pelepasan Nitrous Oksida in situ daripada Tempokan Urin Ruminan. *Jurnal Kualiti Persekitaran* 40: 468.
- Waldrop, MP, Balsler, TC & Firestone, MK 2000. Menghubungkan komposisi komunitas mikroba untuk berfungsi dalam tanah tropika. *Biologi & Biokimia Tanah* 32: 1837–1846.
- Watzinger, A., Feichtmair, S., Kitzler, B., Zehetner, F., Kloss, S., Wimmer, B., Zechmeister-Boltenstern, S. & Soja, G. 2013. Soil microbial community responded to biochar aplikasi dalam tanah sederhana dan perlahan-lahan dimetabolismakan ¹³C berlabel biochar seperti yang didedahkan oleh analisis PLFA ¹³C - hasil daripada inkubasi jangka pendek dan eksperimen periuk. *Jurnal Sains Tanah Eropah*: Doi dalam talian: 10.1111/ejss.12100.
- White, DC & MacNaughton, SJ 1997. Pendekatan kimia dan molekul untuk penilaian pantas status biologi tanah. Dalam: Pankhurst, CE, Doube, BM & Gupta, VVSR (eds.). *Penunjuk Biologi Kesihatan Tanah*. Wallingford, UK: CAB Inter nasional. hlm. 371–396.
- Wilkinson, SG 1988. Bakteria Gram-negatif. Dalam: Ratledge, C. & Wilkinson, SG (eds.). *Lipid Mikroba*. London: Academic Press. hlm. 299–489.
- Zak, JC, Willig, MR, Moorhead, DL & Wildman, HG 1994. Kepelbagaian fungsi komunitas mikroba: Pendekatan kuantitatif. *Biologi Tanah & Biokimia* 26: 1101–1108.
- Zimmerman, AR 2010. Pengoksidaan abiotik dan mikroba karbon hitam yang dihasilkan oleh makmal (biochar). *Sains & Teknologi Alam Sekitar* 44: 1295–1301.

Lampiran:

Bahan dan kaedah

Bagi semua tanah, nilai pH, kekonduksian elektrik (EC) diukur melalui kaedah ekstrak air tepu mengikut kaedah standard ÖNORM L 1092 dan kapasiti pertukaran kation (CEC) diukur mengikut ÖNORM L 1086 (2001). 5 g tanah dicampur dengan 100 mL 0.1 M larutan BaCl₂ dan diendapkan semalaman. Kandungan karbon karbonat (Cinorg), kandungan karbon organik tanah (Corg) dan nitrogen (N) ditentukan dengan pembakaran kering mengikut kaedah standard (ÖNORM L 1080, ÖNORM L 1095). Saiz zarah ditentukan dengan sedigraf (kaedah diubah suai berdasarkan ÖNORM 1061-1 untuk tanah kasar dan ÖNORM L 1061-2 untuk tanah halus, masing-masing).

ÖNORM L 1061-1. 2002. Penyiasatan tanah fizikal - Penentuan taburan saiz butiran tanah mineral - Bahagian 1: Tanah kasar.

ÖNORM L 1061-2. 2002. Penyiasatan tanah fizikal - Penentuan taburan saiz butiran tanah mineral - Bahagian 2: Tanah halus.

ÖNORM L 1080-1. 2001. Penyiasatan tanah kimia - Penentuan karbon organik melalui pembakaran kering dengan dan tanpa pertimbangan karbonat.

ÖNORM L 1086-1. 2001. Analisis kimia tanah - Penentuan kation boleh tukar dan kapasiti pertukaran kation berkesan (CAC_{eff}) melalui pengekstrakan dengan larutan barium klorida.

ÖNORM L 1092. 2005. Penyiasatan tanah kimia - Pengekstrakan unsur dan sebatian larut air.

ÖNORM L 1095 (2002): Analisis tanah kimia - Penentuan jumlah kandungan nitrogen melalui pembakaran kering.

Maklumat tambahan kepada rajah 4, 5 dan 7.

| rumah hijau rajah 4 | | paksi x | nilai eigen | varians (%) | dan paksi | nilai eigen | varians (%) |
|------------------------|------|---------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| hari ke 10 | pc 2 | 2.36 | 9.44 | pc 4 | 1.55 | 6.20 | |
| hari ke 51 | pc 2 | 2.31 | 9.23 | pc5 | 1.23 | 4.94 | |
| hari ke 170 | pc 1 | 18.83 | 75.32 | pc 3 | 1.15 | 4.60 | |
| hari ke 297 | pc 1 | 17.28 | 69.11 | pc 3 | 2.02 | 8.09 | |
| rumah hijau rajah 5 | | paksi x | nilai eigen | varians (%) | dan paksi | nilai eigen | varians (%) |
| hari ke 10 | pc 1 | 19.52 | 78.09 | pc 2 | 1.48 | 5.93 | |
| hari ke 51 | pc 1 | 18.62 | 74.48 | pc 3 | 1.22 | 4.86 | |
| hari ke 170 | pc 2 | 1.81 | 7.25 | pc 3 | 1.02 | 4.07 | |
| hari ke 297 | pc 1 | 21.3 | 85.20 | pc 2 | 1.38 | 5.51 | |
| padang rajah 7 | | paksi x | nilai eigen | varians (%) | dan paksi | nilai eigen | varians (%) |
| | pc 1 | 16.87 | 64.90 | pc 2 | 5.61 | 21.59 | |

pc = faktor komponen utama.

