

## ABSTRACT

Controlling the nitrification process is the main strategy for lowering N<sub>2</sub>O production because the end product NO<sub>3</sub><sup>-</sup> functions as a denitrification substrate (a source of N<sub>2</sub>O under anaerobic conditions) and nitrification acts as a source of N<sub>2</sub>O under aerobic conditions. To decrease N<sub>2</sub>O emissions and conserve N, recent studies have focused on chemicals derived from root exudates that inhibit nitrification. However, selective plant breeding could be used to control nitrification activity in soil instead of fertilisers or synthetic nitrification inhibitors. This study aims to identify and obtain alternative strategies to suppress nitrification in order to reduce N<sub>2</sub>O emissions in maize as one of the most significant food crops in the world and has a high potential N<sub>2</sub>O emission factor value through the use of biological nitrification inhibition (BNI) and biochar, whereas BNI in maize has not yet drawn much attention in contrast to rice and wheat. Thirty maize varieties were classified based on trends in N<sub>2</sub>O emissions and grain yields under different N-rate then compared to *Brachicaria humudicola* (*Bh*), a plant with high BNI capacity, to identify nitrification inhibition (NI) activity. Maize varieties with high NI capacity and low/no NI capacity were used to identify the capacity of BNI in maize and studying the mechanism of biochar in mitigating N<sub>2</sub>O emissions. Maize yield and N<sub>2</sub>O flux varied among varieties, while exhibiting inconsistent responses to the N-rate application. The efficient maize varieties (EE) (Bisi 228, Bisi 2, Bisi 99, Bisi 18, and NK 7202), which revealed consistent high grain yield and low emission under N1 and N3, showed increased levels of grain yield, yield components, N-accumulation, dry matter, root volume, and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in soil, and reduced cumulative N<sub>2</sub>O and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in soil compared to N-inefficient maize varieties (NN) (Arjuna, Manding, Guluk-guluk, NK 007, Anoman, and Pertiwi 3), which were consistent result in low grain yield and high N<sub>2</sub>O emission both under N1 and N3. Maize variety had diverse effects on nitrification, N dynamics, and plant characteristics during the vegetative stages. Some maize varieties (Bisi 228, Bisi 99, Pioneer 35, Pioneer 36, Anoman, and Bisma) had 1.1–1.6 times lower nitrification rate (NR) compared to that of *Bh*, and had lower NO<sub>3</sub><sup>-</sup> formation. In response to different varieties of maize, there was a considerable change in root exudation, and some of these changes in root exudate concentration were associated to changes in root and shoot N concentration. Bisi 228 (low N<sub>2</sub>O emission and high grain yield) exuded the lowest levels of organic and amino acids, as well as the highest levels of nucleotide and amino sugars, and the highest concentration of N in the roots and shoots, while Anoman (high N<sub>2</sub>O emission and low grain yield) showed the opposite trend. In comparison to the control, root exudate from Bisi 228 demonstrated a 3.6% capacity to inhibit nitrification, while root exudate from Anoman demonstrated a 0.5% capacity to promote nitrification. Biochar source, maize variety, and their combination could have a significant impact on soil properties, nitrogen dynamics (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, and N<sub>2</sub>O emission), and plant characteristics (biomass and root systems). The application of biochar potentially lowered the N<sub>2</sub>O emissions of Bisi 79 and Anoman (high N<sub>2</sub>O emissions), to levels similar to those of Bisi 228 and NK 007 (low N<sub>2</sub>O emissions). Regarding the reduction of cumulative N<sub>2</sub>O emission during the vegetative stage, maize stove biochar outperformed sawdust and rice husk biochar. The Bisi 228 can be a feasible strategy for increasing N fertilizer efficiency without reducing maize production as well as decrease the negative impact of N lost in agricultural system. Corn stove biochar can be an alternative strategy to mitigate N<sub>2</sub>O emissions and conserve N in soil for maize with high N<sub>2</sub>O emission.

Keywords: climate change, nitrogen use efficiency, root-soil interaction, biochar, maize

## INTISARI

Pengendalian proses nitrifikasi merupakan strategi utama untuk menurunkan emisi  $N_2O$  karena produk akhir  $NO_3^-$  berfungsi sebagai substrat denitrifikasi (sumber  $N_2O$  pada kondisi anaerobik) dan nitrifikasi berperan sebagai sumber  $N_2O$  pada kondisi aerobik. Untuk mengurangi emisi  $N_2O$  dan konservasi N, penelitian terbaru berfokus peran eksudat akar yang mampu menghambat nitrifikasi. Pemuliaan tanaman selektif dapat digunakan untuk mengendalikan aktivitas nitrifikasi di dalam tanah dibandingkan dengan pupuk atau inhibitor nitrifikasi sintetis. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memperoleh alternatif strategi menekan nitrifikasi guna menurunkan emisi  $N_2O$  pada jagung sebagai salah satu tanaman pangan penting di dunia yang mempunyai potensi nilai faktor emisi  $N_2O$  yang tinggi melalui pemanfaatan penghambatan nitrifikasi secara biologi (*biological nitrification inhibition*, BNI) dan biochar. BNI pada jagung hingga saat ini belum banyak mendapat perhatian dibandingkan dengan padi dan gandum. Tiga puluh varietas jagung diklasifikasikan berdasarkan kecenderungan emisi  $N_2O$  dan hasil panen pada tingkat N yang berbeda kemudian dibandingkan dengan *Brachyaria humudicola* (*Bh*), tanaman dengan kapasitas BNI tinggi, untuk mengidentifikasi aktivitas penghambatan nitrifikasi (NI). Varietas jagung dengan kapasitas NI rendah/tanpa NI digunakan untuk mempelajari mekanisme biochar dalam mitigasi emisi  $N_2O$ . Varietas jagung efisien (EE) (Bisi 228, Bisi 2, Bisi 99, Bisi 18, dan NK 7202), yang menunjukkan hasil gabah tinggi secara konsisten dan emisi rendah di bawah N1 dan N3, menunjukkan peningkatan tingkat hasil panen, komponen hasil, akumulasi N, bahan kering, volume akar, dan  $NH_4^+$  dalam tanah, serta penurunan kumulatif  $N_2O$  dan  $NO_3^-$  dalam tanah dibandingkan dengan varietas jagung inefisien N (NN) (Arjuna, Manding, Guluk-guluk, NK 007, Anoman, dan Pertiwi 3), yang secara konsisten menghasilkan hasil panen yang rendah dan emisi  $N_2O$  yang tinggi baik pada N1 maupun N3. Variasi jagung mempunyai pengaruh yang beragam terhadap nitrifikasi, dinamika N, dan karakteristik tanaman selama fase vegetatif. Beberapa varietas jagung (Bisi 228, Bisi 99, Pioneer 35, Pioneer 36, Anoman, dan Bisma) memiliki laju nitrifikasi (NR) 1,1–1,6 kali lebih rendah dibandingkan *Bh*, dan menghasilkan  $NO_3^-$  yang lebih rendah. Sumber biochar, varietas jagung, dan kombinasi keduanya dapat memberikan dampak signifikan terhadap sifat-sifat tanah, dinamika nitrogen (emisi  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$  dan  $N_2O$ ), dan karakteristik tanaman (biomassa dan sistem perakaran). Aplikasi biochar berpotensi menurunkan emisi  $N_2O$  pada Bisi 79 dan Anoman (emisi  $N_2O$  tinggi), hingga setara dengan Bisi 228 dan NK 007 (emisi  $N_2O$  rendah). Dalam hal pengurangan emisi  $N_2O$  kumulatif selama tahap vegetatif, biochar tajuk jagung mengungguli biochar serbuk gergaji dan sekam padi. Sehubungan dengan varietas jagung yang berbeda, ditemukan perubahan besar dalam eksudasi akar, dan beberapa perubahan dalam konsentrasi eksudat akar dikaitkan dengan perubahan konsentrasi N akar dan tajuk. Bisi 228 mengekskresikan kadar asam organik dan amino paling rendah, serta kadar nukleotida dan gula amino tertinggi, serta konsentrasi N tertinggi pada akar dan tajuk, sedangkan Anoman menunjukkan tren sebaliknya. Dibandingkan dengan kontrol, eksudat akar dari Bisi 228 menunjukkan kapasitas 3,6% untuk menghambat nitrifikasi, sedangkan eksudat akar dari Anoman menunjukkan kapasitas 0,5% untuk menstimulasi nitrifikasi. Bisi 228 dapat menjadi strategi yang layak untuk meningkatkan efisiensi pupuk N tanpa mengurangi produksi jagung serta mengurangi dampak negatif hilangnya N dalam sistem pertanian. Biochar tajuk jagung dapat menjadi alternatif strategi mitigasi emisi  $N_2O$  dan konservasi N dalam tanah untuk jagung dengan emisi  $N_2O$  tinggi.

Kata kunci: perubahan iklim, efisiensi penggunaan nitrogen, interaksi akar-tanah, biochar, jagung