
INSTITUT FÜR NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN UND RESSOURCENSCHUTZ (INRES)
UND
ZENTRUM FÜR ENTWICKLUNGSFORSCHUNG (ZEF)

**INTERACTIVE TILLAGE & CROP RESIDUE MANAGEMENT
EFFECTS ON SOIL PROPERTIES, CROP NUTRIENT UPTAKE &
YIELD IN DIFFERENT WEATHERED SOILS OF WEST AFRICA –
MEASUREMENTS, MODELLING & SCENARIO SIMULATIONS**

DISSERTATION
ZUR
ERLANGUNG DES GRADES
DOKTOR DER AGRARWISSENSCHAFTEN
(DR. AGR.)
DER
LANDWIRTSCHAFTLICHEN FAKULTÄT
DER
RHEINISCHEN FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT
BONN
VON
EEUSHA NAFI
AUS
BANGLADESH
BONN, 2020

ABSTRACT

Sustainable crop production intensification in West Africa is hampered by constraints such as soil degradation, mainly due to excessive mining of soil nutrients, topsoil loss by surface runoff, and climatic factors like excessive rainfall, droughts, and high temperature. To counteract this problem, alternative management practices need to be adopted that have the potential to prevent and/or reduce the severity of soil degradation and could be suitable for buffering the future extreme climate effects on crop production in a sustainable manner. Considering this fact, the overarching aim of our study was to identify management options to improve crop productivity and livelihood among the farming population in the Sudan Savanna of West Africa under current and future climate conditions by using monitoring data from long-term field experiments on several sites over 5 years and additional simulation experiments.

Thus, this study was implemented stepwise: first, contour ridge tillage, reduced tillage, and crop residue management were assessed as an effective means to improve soil organic carbon stock, nutrient stocks, crop N uptake and N use efficiency (NUE) by setting up a field experiment on four sites [St1: Ferric Lixisol, footslope in Dano (Burkina-Faso); St2: Eutric Plinthosol, upslope in Dano (Burkina-Faso); St3: Haplic Lixisols, footslope in Dassari (Benin); and St4: Plinthic Lixisol, upslope in Dassari (Benin)] of West Africa from 2012 to 2016. On-farm trials were set up in a strip-split plot layout, where 2 levels of tillage (contour ridge tillage and reduced tillage) were considered as a main-plot factor, and sub-plot factors included 2 levels of crop residue management (with and without), and 2 levels of N fertilizer doses (control and recommended dose). In a second step, we calibrated and evaluated the CERES-Maize model in DSSAT and parameterized the tillage component of DSSAT using the experimental data of 2014 (calibration) and 2016 (validation). Finally, we used the calibrated model to assess the potential of contour ridge tillage and reduced tillage along with

crop residue retention in terms of buffering the expected future climate change effects under a 2°C warming scenario on crop yield and to provide a site-specific assessment of best management practices. For this purpose, we used the HAPPI weather dataset consisting of three GCMs (ECHAM6, MIROC5, NorESM1), and two climate scenarios: current baseline (2006–2015), and 2°C warmer than pre-industrial levels.

The field experiment demonstrated that in a gently undulated region (St2 and St4) subject to soil degradation through runoff and erosion, implementation of contour ridge tillage along with crop residue retention in upslope areas maintained soil fertility and sustained crop productivity. On the other hand, in footslope areas with well-drained soils and high water retention capacity (St3), the adoption of reduced tillage with crop residue retention could be more beneficial. Model simulations under future 2°C warming scenarios and cumulative probability distribution confirmed that contour ridge tillage along with crop residue application could lead to positive changes in maize yield at upslope field sites, where soil erosion and loss of water and nutrients through runoff is a serious risk. Simultaneously, reduced tillage with crop residue application could be a valuable alternative to farmers' practice in fields with deep soils and high water retention capacity at footslope position (St3), as it resulted in a higher increase of maize yield under future 2-degree warming compared to the baseline and could be preferred by risk-averse farmers. Maize production on gravelly soils with low water retention capacity (St1) may suffer from future 2-degree warming regardless of the tillage practice. Hence, the application of site-specific tillage operations and crop residue application has the potential to buffer future warming effects on maize yield as confirmed by DSSAT simulations. We must share this information with the local smallholders, policymakers, and scientific communities to adjust their decisions accordingly, and redirect their steps towards improving crop nitrogen use efficiency and soil fertility which in turn can sustain crop productivity.

ZUSAMMENFASSUNG

Die nachhaltige Intensivierung der Pflanzenproduktion in Westafrika wird durch Limitierungen wie die Verschlechterung der Bodenqualität, vor allem durch den übermäßigen Entzug von Bodennährstoffen, den Verlust des Oberbodens durch Oberflächenabfluss sowie durch klimatische Faktoren wie Dürren, Starkniederschläge und hohe Temperaturen behindert. Um diesem Problem entgegenzuwirken, müssen alternative Bewirtschaftungsweisen eingeführt werden, die das Potenzial haben, die Verschlechterung der Bodenqualität zu verhindern und/oder zu verringern, und die geeignet sein könnten, die künftigen extremen Klimaauswirkungen auf die Pflanzenproduktion nachhaltig abzufedern. Vor diesem Hintergrund war es das übergeordnete Ziel unserer Studie, mit Hilfe von Monitoringdaten aus Langzeit-Feldversuchen an mehreren Standorten über fünf Jahre und zusätzlichen Simulationsexperimenten Bewirtschaftungsoptionen zu identifizieren, die die Produktivität und die Lebensgrundlage der landwirtschaftlichen Bevölkerung in der westafrikanischen Sudan Savanne unter den aktuellen und zukünftigen Klimabedingungen verbessern.

Diese Studie wurde daher schrittweise durchgeführt: Zunächst wurden Konturliniendämme, die reduzierte Bodenbearbeitung und das Ernterückstandsmanagement als effektive Mittel zur Erhaltung des organischen Kohlenstoffvorrats, der Nährstoffvorräte, der N-Aufnahme und der N-Nutzungseffizienz (NUE) des Bodens durch einen Feldversuch an vier Standorten von Westafrika von 2012 bis 2016 bewertet [St1:Ferric Lixisol, Unterhang in Dano (Burkina-Faso); St2:Eutric Plinthosol, Oberhang in Dano (Burkina-Faso); St3:Haplic Lixisol, Unterhang in Dassari (Benin); und St4:Plinthic Lixisol, Oberhang in Dassari (Benin)]. Die Versuche wurden in einem streifenweise aufgeteilten Parzellenlayout angelegt, wobei zwei Varianten der Bodenbearbeitung (Konturliniendämme und reduzierte Bodenbearbeitung) als Hauptparzellenfaktor betrachtet wurden und die Faktoren der Nebenparzellen zwei Ebenen

des Ernterückstandsmanagements (mit und ohne) und 2 Ebenen der N-Düngung (Kontrolle und empfohlene Dosis) umfassten. In einem zweiten Schritt wurde das CERES-Maismodell im Modellsystem DSSAT kalibriert und evaluiert und die Bodenbearbeitungskomponente von DSSAT mit den experimentellen Daten von 2014 (Kalibrierung) und 2016 (Validierung) parametrisiert. Schließlich wurde das kalibrierte Modell verwendet, um das Potenzial der Konturliniendämme und der reduzierten Bodenbearbeitung sowie der Rückführung der Ernterückstände im Hinblick auf die Anpassung an den zu erwartenden Klimawandel unter einem Erwärmungsszenario von 2°C auf den Ernteertrag abzuschätzen und um eine standortspezifische Bewertung der besten Bewirtschaftungsmaßnahmen (Bodenbearbeitung und Ernterückstandsmanagement) zu ermöglichen. Zu diesem Zweck verwendeten wir den HAPPI-Wetterdatensatz, bestehend aus drei GCMs (ECHAM6, MIROC5, NorESM1), und zwei Klimaszenarien: das aktuelle Basisszenario (2006-2015) und 2°C wärmer als das vorindustrielle Niveau.

Das Feldexperiment zeigte, dass in einer leicht gewellten Region (St2 und St4), die der Bodendegradation durch Oberflächenabfluss und Erosion ausgesetzt ist, die Durchführung von Konturliniendämmen zusammen mit der Rückführung von Ernterückständen in Hanglagen die Bodenfruchtbarkeit und die nachhaltige Produktivität der Pflanzen aufrechterhält. In Hanglagen mit gut drainierten Böden und hohem Wasserrückhaltevermögen (St3) könnte dagegen die Anwendung einer reduzierten Bodenbearbeitung mit der Rückführung von Ernterückständen vorteilhafter sein. Modellsimulationen unter zukünftigen 2°C-Erwärmungsszenarien und kumulativer Wahrscheinlichkeitsverteilung bestätigten, dass die Konturliniendämme zusammen mit der Ausbringung von Ernterückständen zu positiven Veränderungen des Maisertrags an Hanglagen führen könnte, wo die Bodenerosion und der Verlust von Wasser und Nährstoffen durch Oberflächenabfluss ein ernsthaftes Risiko darstellen. Gleichzeitig könnte die reduzierte

Bodenbearbeitung mit der Ausbringung von Ernterückständen eine wertvolle Alternative zur Praxis der Landwirte auf Feldern mit tiefen Böden und hohem Wasserrückhaltevermögen am Unterhang (St3) sein, da sie bei zukünftiger 2-Grad-Erwärmung zu einer höheren Steigerung des Maisertrags im Vergleich zur Ausgangssituation führt und von risikoscheuen Landwirten bevorzugt werden könnte. Die Maisproduktion auf kiesigen Böden mit geringem Wasserrückhaltevermögen (St1) wird unabhängig von der Bodenbearbeitungspraxis unter der zukünftigen 2-Grad-Erwärmung abnehmen. Daher hat die Anwendung von standortspezifischen Bodenbearbeitungsverfahren und die Ausbringung von Ernterückständen das Potenzial, zukünftige Erwärmungseffekte auf den Maisertrag zu puffern, wie durch DSSAT-Simulationen bestätigt wurde. Wir müssen diese Informationen an die lokalen Kleinbauern, politischen Entscheidungsträger und die Wissenschaft weitergeben, damit diese ihre Entscheidungen entsprechend anpassen und ihre Schritte zur Verbesserung der Stickstoffnutzung und der Bodenfruchtbarkeit neu ausrichten können, was wiederum die Pflanzenproduktivität nachhaltig steigern kann.