

Department of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics

University of Hohenheim Crop Water Stress Management in the Tropics and Subtropics

Prof. Dr. Folkard Asch



A Study of Pasture Cropping as an Alternative Cropping System for Sub-Saharan Africa

Dissertation

Submitted in fulfilment of the requirements for the degree

‘Doktor der Agrarwissenschaften’

(Dr. sc. agr. /Ph.D. in Agricultural Sciences)

to the Faculty of the Agricultural Sciences

presented by

Rohan Orford

South Africa

2019

Summary

With food security and soil degradation being a major concern and hurdle in the development goals of sub-Saharan Africa (SSA), there has been and continues to be an attempt to find an alternative cropping system to conventional monocropping that rehabilitates soils whilst increasing productivity and efficiency of the subsistence cropping system. Such a cropping system needs to be realistically adoptable within the SSA social and ecological constraints. An alternative Australian winter rainfall relay cropping system coined pasture cropping (PaCr) was identified as an option that may surmount some of these limitations. This research involved completing a field trial through to model scale introductory assessment of the water dynamics in PaCr and the implications thereof in yield, water use efficiency (WUE) and competition for water; ultimately assessing the potential of PaCr in SSA. PaCr was adapted to an intercropping system for SSA summer rainfall conditions. The three treatments included the representative subsistence crop cowpea (*Vigna unguiculate*) and a common indigenous pasture (*Eragrostis curvula*) and an additive PaCr setup of cowpea directly seeded into pasture in water limited (rainfed) field trials in Pretoria, South Africa between 2013-2015. The DM yields of PaCr were 17% and 293% higher in both seasons compared to the conventional cowpea monocrop yield. When comparing PaCr yield to conventional pasture, there was a 12% and 89% higher yield in both seasons compared to the conventional pasture monocrop yield. The greater yield advantage in 2015 with the limited rainfall indicates that PaCr was most advantageous in terms of DM yield in a drier year which is a time of greatest risk and food insecurity. PaCr was also more WUE in both seasons, being significantly higher than the cowpea monocrop in 2015. Competition also showed a higher degree of competitiveness by cowpea in the wetter 2013-14 season and lower competitive ability in the drier 2015, whereas pasture showed little competitive response in 2013-14 and attaining significantly higher yields than the monocrop in 2015. The results of the field trials were used to adapt the University of Pretoria's Soil Water Balance (SWBsci) crop model to simulate an intercropping system. Observed field results were compared to simulated results and statistical goodness of fit indicators were assessed, concluding that with all the variations of season and systems, the results were acceptable as an inaugural adaptation of the Soil Water Balance model. Other relevant crop water use parameters were extrapolated from the simulated data allowing for a more complete insight into the field trials. With the adapted SWBsci model, 14-year simulations were run in three different climates and on three different soil types for all three cropping systems to map out the viability of PaCr across an aridity index continuum as a reference for further application in research or in industry and to stress test SWBsci. Results demonstrated that PaCr was only advantageous in dry sub-humid to humid conditions on clay-loam to sandy soils, whereas pasture was dominant in more semi-arid conditions on the three different soils. Cowpea only performed better on clay soils in dry-sub humid to sub humid conditions. These advantages are attributed to differing plant water availability at various root depths suiting growth and/or competition of either one or both crops. These plant water availability differences were determined by water holding capacity of various soil types and rainfall volumes.

From a WUE perspective, the pasture and PaCr did have a higher WUE but with the extreme variation in rainfall there was no significant difference. But pasture and PaCr both had a very high WUE in arid to semi-arid conditions due to the deeper roots of pasture accessing stored soil water. Competition also showed insignificant results due to the variation in the rainfall. However, in more arid to semi-arid conditions on clay-loam and sand competition outweighed facilitation thus resulting in land equivalent ratios (LER) of below 1, whereas on clay for the same aridity levels the average LER was greater than one. This was attributed to cowpea have a better competitive ability when clay water holding capacity confined plant available water to the top soil layers. The converse is true in the dry sub-humid conditions and wetter conditions because LER was less than one on clay soils while being greater than one on clay-loam and sand. This was attributed to the lower water holding capacity of sand spreading the plant available water through the profile allowing for niche root partitioning to be effective.

For subsistence farmers, PaCr out-yielded the cowpea monocrop in arid conditions on all three soil types and on clay in semi-arid conditions. In the wetter dry sub-humid conditions, PaCr out-yielded cowpea on sand. In the wet sub-humid conditions PaCr does well on clay-loam and sand, but cowpea yields under these conditions are more than adequate to make the choice of PaCr debatable from a yield point of view. However, if soil rehabilitation is a necessity in the sub-humid areas, this makes PaCr a very realistic option.

Zusammenfassung

Da die Ernährungssicherheit und die Bodendegradation ein Hauptanliegen und eine Hürde für die Entwicklungsziele des subsaharischen Afrikas (SSA) darstellen, wurde und wird versucht, ein alternatives Anbausystem zum konventionellen Monokulturanbau zu finden, das die Böden rehabilitiert und gleichzeitig die Produktivität und Effizienz des Subsistenzsystems erhöht. Ein solches Anbausystem muss realistisch an die sozialen und ökologischen Gegebenheiten der SSA angepasst werden können. Für die vorliegende Forschungsarbeit wurde als eine Option, die einige dieser Einschränkungen überwinden könnte, ein alternatives Australisches Winterregenrelais-Erntesystem für das Ernten von Weideflächen (PaCr) identifiziert. Die Forschung beinhaltete den Abschluss eines Feldversuchs bis hin zur modellhaften einleitenden Bewertung der Wasserdynamik bei PaCr und deren Auswirkungen auf Ertrag, Wassernutzungseffizienz (WUE) und Wettbewerb um Wasser. Abschließend wurde das Potenzial von PaCr in SSA bewertet. PaCr wurde an ein Mischkultur für SSA Sommerregenbedingungen angepasst. Die drei Versuche umfassten die repräsentative Subsistenzpflanze Augenbohne (*Vigna unguiculate*) und eine gemeinsame einheimische Weide (*Eragrostis curvula*) sowie einen zusätzlichen PaCr-Aufbau von Augenbohne, die in wasserlimitierten Feldversuchen in Pretoria, Südafrika, zwischen 2013-2015 direkt in die Weide gesät wurde. Die Trockenmasse-Erträge von PaCr lagen in beiden Jahreszeiten um 17% bzw. 293% höher als die konventionelle Monokultur-Erträge von Augenbohne. Vergleicht man den PaCr-Ertrag mit dem konventionellen Weidenanbau, so ergibt sich in beiden Jahreszeiten ein um 12% bzw. 89% höherer Ertrag im Vergleich zum konventionellen Monokultur-Ertrag. Der größere Ertragsvorteil im Jahr 2015 mit den begrenzten Niederschlägen zeigt, dass PaCr in einem trockeneren Jahr, welches das größte Risiko unter Gesichtspunkten der Ernährungssicherheit darstellt, in Bezug auf den DM-Ertrag am vorteilhaftesten war. PaCr war in beiden Jahreszeiten auch wassernutzungseffizienter und lag damit deutlich über der Augenbohne-Monokultur im Jahr 2015. Der Wettbewerb zeigte auch ein höheres Maß an Wettbewerbsfähigkeit der Augenbohne in der feuchteren Saison 2013-14 und eine geringere Wettbewerbsfähigkeit in der trockeneren Jahreszeit 2015, während die Weide im Zeitraum 2013-14 wenig wettbewerbsorientiert reagierte und im Jahr 2015 deutlichen Mehrertrag aufwies. Die Ergebnisse der Feldversuche wurden genutzt, um das Bodenwasserhaushaltsmodell (SWBsci) der Universität Pretoria an die Simulation eines Zwischenfruchtsystems anzupassen. Die beobachteten Feldergebnisse wurden mit den simulierten Ergebnissen verglichen und die statistische Güte der Anpassungsindikatoren bewertet, was zu dem Schluss führte, dass die Ergebnisse bei allen Variationen der Saison und der Systeme als erste Anpassung des Bodenwasserhaushaltsmodells akzeptabel waren. Andere relevante Parameter der Pflanzenwassernutzung wurden aus den simulierten Daten extrapoliert, was einen umfassenderen Einblick in die Feldversuche ermöglichte. Mit dem angepassten SWBsci-Modell wurden 14-jährige Simulationen in drei verschiedenen Klimazonen und auf drei verschiedenen Bodentypen für alle drei Anbausysteme durchgeführt, um die Lebensfähigkeit von PaCr über ein Trockenindexkontinuum hinweg als Referenz für die weitere Anwendung in Forschung oder Industrie

und für den Stresstest von SWBsci zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigten, dass PaCr nur bei trockenen, subhumiden bis feuchten Bedingungen auf Lehm- und Sandböden von Vorteil war, während Weiden bei eher semi-ariden Bedingungen auf den drei verschiedenen Böden dominierten. Augenbohne schnitten nur auf Tonböden in trockenem, feuchtem bis subfeuchtem Untergrund besser ab.

Aus WUE-Sicht hatten Weide und PaCr zwar einen höheren WUE-Wert, aber mit den extremen Niederschlagsschwankungen gab es keinen signifikanten Unterschied. Aber Weide und PaCr hatten beide eine sehr hohe WUE bei trockenen bis semi-ariden Bedingungen, da die tieferen Wurzeln der Weide auf gespeichertes Bodenwasser zurückgreifen können. Auch der Wettbewerb zeigte aufgrund der unterschiedlichen Niederschläge nicht signifikante Ergebnisse. Bei trockeneren bis halbtrockeneren Bedingungen auf Ton-Lehm und Sand überwog jedoch die Konkurrenz die Erleichterung (?), so dass die Flächenäquivalenzverhältnisse (LER) unter eins lagen, während bei Ton bei gleichen Trockenheitswerten der durchschnittliche LER-Wert größer als eins war. Der Umkehrschluss gilt für die trockenen, subhumiden und feuchteren Bedingungen, da LER auf Lehmböden weniger als eins war, während es auf Ton-Lehm und Sand höher als eins ergab.

Für Subsistenzbauern brachte PaCr in trockenen Bedingungen auf allen drei Bodentypen und auf Ton in semi-ariden Bedingungen einen höheren Ertrag als die Monokultur der Augenbohne hervor. Auf Sand erzielte PaCr ebenfalls einen höheren Ertrag als die Monokultur unter den feuchteren, trockenen, subhumiden Bedingungen. Bei nassen, subhumiden Verhältnissen waren die Ertragsunterschiede zwischen PaCr und der Monokultur der Augenbohne nicht signifikant. Sollte jedoch die Bodensanierung im Vordergrund stehen, stellt PaCr eine bessere Alternative dar.