

SUMMARY

In recent years in Myanmar, like elsewhere in Asia, great efforts have been made to intensify the production of rice (*Oryza sativa* L.) to feed a rapidly growing population. Most of these efforts concentrated on lowland 'paddy' fields that were subjected to irrigated double- and triple-cropping systems. However, even there rice yields are stagnating at about 3 t ha⁻¹ per harvest which is likely due to inadequate application of nutrients, mainly mineral nitrogen (N) and manure, sub-optimal management of cropping sequences and water and to other still unknown factors such as intensification-induced changes in soil quality. To investigate yield constraints and options to overcome these, a multi-factorial experiment was conducted for six seasons from 2001-2003 at the two agro-ecologically contrasting field sites of Hmawbi and Yezin in lower and upper Myanmar, respectively.

The split-plot experiment consisted of three cropping systems representing different cropping intensities as main-plots: rice double cropping with fallow in-between (Rice-Fallow-Rice, RFR), rice double cropping with a legume (Greengram, *Vigna radiata* L.) in the second season (Rice-Greengram-Rice, RGR) and rice triple cropping (Rice-Rice-Rice, RRR). Sub-plots comprised two straw management treatments factorially combined with four N levels. Rice straw at 2 t ha⁻¹ was either incorporated or burned and incorporated, while the N levels used consisted of chicken manure at an equivalent rate of 40 kg N ha⁻¹ (N1) and chicken manure plus urea-N at 2 x 20 (N2), 4 x 10 (N3) and 4 x 20 kg N ha⁻¹ (N4).

The results showed that straw incorporation increased the soil's maximum water holding capacity and total porosity and decreased bulk density at both sites but these effects were stronger at the siltier site of Hmawbi than at Yezin.

At both sites leaf colour chart (LCC) readings in rice ranged between 2.5 and 3 and were thus much lower than LCCs of 3.5 to 4 commonly reported as critical. The LCC readings were significantly correlated with grain yield at later vegetative growth stages (from 35 DAT to 49 DAT).

Likely due to higher radiation rice yields tended in most seasons to be higher at Yezin than at Hmawbi. At both sites effects of straw management on plant growth and yield parameters were inconsistent across seasons but overall negligible. Rice total dry matter (TDM) and grain yields were significantly higher at the highest N level (N4) compared to N1 in all seasons and at both sites, but effects of N-splitting (N2 *versus* N3) varied widely and were in most seasons not significant. At Hmawbi continuous rice yielded higher TDM and grain in the 3rd season, and in the 6th season RGR outperformed the other systems for grain. At Yezin, in contrast, no significant cropping systems effects were noted in any of the seasons.

At Hmawbi, average agronomic N efficiencies amounted to 30 kg TDM increase and 16 kg grain increase per kg applied N at 40 kg N ha⁻¹ and at 80 kg N ha⁻¹ to 28 kg and 14 kg, respectively. At Yezin average agronomic efficiencies of N were with 44 kg TDM increase and 26 kg grain increase per kg applied N higher at 40 kg N ha⁻¹ than at 80 kg N ha⁻¹ with 31

kg and 17 kg, respectively. Urea application also led to a decline in the C:N ratio of rice straw and grain at Hmawbi, whereas at Yezin such effects were only noted for straw.

After six seasons N balances were strongly negative (-104 to -227 kg N ha⁻¹ at Hmawbi and -136 to -315 kg N ha⁻¹ at Yezin) for manure only (N1), regardless of the cropping system and straw management. Only N4 led to even or strongly positive N balances across all other treatment combinations and at both sites (23 to 211 kg N ha⁻¹ at Hmawbi and -5 to 228 kg N ha⁻¹ at Yezin). The regular application of chicken manure led at both sites to excess P ranging from 7 to 81 kg P ha⁻¹ at Hmawbi and from 163 to 275 kg P ha⁻¹ at Yezin). Potassium balances were across sites consistently positive only for N1 except for RGR with straw burning at Yezin.

Overall the experimental results underline the surprisingly high buffering capacity of Myanmar's rice soils, point to the advantages of straw recycling to improve soil physical properties and K balances and indicate the need for higher levels of N applications as a means to raise rice yields. To determine long-term effects of the different cropping systems on the sustainability of rice production in Myanmar, the experiments should be continued for at least two more years.

ZUSAMMENFASSUNG

In den vergangenen Jahren wurden in Myanmar, wie überall im asiatischen Raum, große Anstrengungen unternommen, die Produktion von Reis (*Oryza sativa* L.) zu intensivieren, um eine rasch wachsende Bevölkerung zu ernähren. Die meisten dieser Bemühungen konzentrierten sich auf Nassreis-Felder im Tiefland, die als bewässerte Zwei- und Dreifach-Reissysteme bestellt wurden. Dennoch stagniert sogar dort der Reisertrag bei ungefähr 3 t ha⁻¹ pro Ernte, was wahrscheinlich durch unzureichende Nährstoffzufuhr bedingt ist, überwiegend durch zu geringe Mengen an Stickstoff (N) ausgebracht als Tierdung und Mineraldünger, durch sub-optimales Management der Fruchtfolgen und des Wassers sowie durch weitere noch unbekannte Faktoren, wie etwa intensivierungsbedingte Veränderungen der Bodenqualität. Um ertragsbegrenzende Faktoren zu identifizieren und Möglichkeiten, diese zu überwinden aufzuzeigen, wurde von 2001 bis 2003 über sechs Anbausaisonen ein mehrfaktorielles Feldexperiment an den zwei agrarökologisch unterschiedlichen Standorten Hmawbi und Yezin, in Unter- und Ober-Myanmar, durchgeführt. Die beiden jeweils als Spaltanlage angelegten Experimente umfassten drei Fruchtfolge-Systeme, die in den Großteilstücken angelegt verschiedene Intensitäten des Reisanbaus repräsentierten: doppelter Reisanbau pro Jahr mit dazwischen liegender Brache (Reis-Brache-Reis, RBR), doppelter Reisanbau mit Mungbohne (*Vigna radiata* L.) in der zweiten Anbausaison (Reis-Mungbohne-Reis, RMR) und dreifacher Reisanbau (Reis-Reis-Reis, RRR). Die Kleinteilstücke beinhalteten zwei Strohbehandlungen, faktoriell kombiniert mit vier unterschiedlichen Stickstoffgaben. Reisstroh in einer Rate von 2 t ha⁻¹ wurde entweder direkt eingearbeitet oder verbrannt und danach eingearbeitet, während die verwendeten Stickstoffgaben aus einer Hühnermist-Grunddüngung mit 40 kg N ha⁻¹ (N1) und Hühnermist-Grunddüngung plus Harnstoffgabe in der Höhe von 2 x 20 (N2), 4 x 10 (N3) and 4 x 20 kg N ha⁻¹ (N4) bestanden.

Die Ergebnisse zeigten, daß die Einarbeitung von Stroh an beiden Standorten die maximale Wasserhaltekapazität des Bodens und sein Gesamtporenvolumen steigerte sowie seine Lagerungsdichte senkte. Diese Effekte waren am tonreicheren Standort Hmawbi stärker als in Yezin.

An beiden Standorten schwankten die Blattfarbwerte (LCC) bei Reis zwischen 2,5 und 3 und waren somit viel geringer als die üblichen LCC-Grenzwerte von 3,5 bis 4. In den späteren vegetativen Wachstumsphasen (von 35 Tagen bis 49 Tagen nach der Verpflanzung) korrelierten die LCC-Werte eng mit dem Kornertrag.

Wahrscheinlich bedingt durch höhere Einstrahlungsintensitäten waren die Reiserträge in den meisten Anbausaisonen in Yezin tendenziell höher als in Hmawbi. An beiden Standorten waren die Wirkungen des Strohmanagements auf das Pflanzenwachstum und die Ertragsparameter über die Anbausaisonen hinweg inkonsistent, aber insgesamt vernachlässigbar. Die Gesamttrockenmasse von Reis (TM) und die Kornerträge waren bei

der höchsten Stickstoffgabe (N4) in allen Anbausaisonen und an beiden Standorten signifikant höher als bei N1, aber die Effekte der geteilten Stickstoffausbringung (N2 *versus* N3) waren inkonsistent und in den meisten Saisonen nicht signifikant. In Hmawbi erbrachte in der dritten Anbausaison die RRR-Variante höhere TM- und Kornerträge als die anderen Fruchtfolgen, und in der sechsten Saison übertraf RMR die anderen Fruchtfolgen beim Kornertrag. Im Gegensatz dazu wurden in Yezin in keiner der Anbausaisonen signifikante Fruchtfolgeeffekte auf das Reiswachstum festgestellt.

In Hmawbi betrug die durchschnittliche agronomische Stickstoffeffizienz pro kg ausgebrachtem Stickstoff bei 40 kg N ha⁻¹ 30 kg TM-Zunahme und 16 kg Korn-Zunahme und bei 80 kg N ha⁻¹ 28 kg TM- und 14 kg Korn-Zunahme. In Yezin lag die durchschnittliche N-Effizienz von 40 kg N ha⁻¹ bei 44 kg TM-Zunahme und 26 kg Korn-Zunahme pro kg N und von 80 kg N ha⁻¹ bei 31 kg TM-Zunahme und 17 kg Korn-Zunahme. Die Ausbringung von Harnstoff führte auch zu einem Anstieg des C:N Verhältnisses im Reisstroh und Korn in Hmawbi, wohingegen in Yezin eine solche Wirkung lediglich für Stroh festgestellt werden konnte.

Nach sechs Anbausaisonen waren unabhängig von der Fruchtfolge und dem Reisstrohmanagement die N-Bilanzen für Parzellen, die lediglich Hühnermist erhalten hatten (N1) stark negativ (-104 bis -227 kg N ha⁻¹ in Hmawbi und -136 bis -315 kg N ha⁻¹ in Yezin). Nur N4-Parzellen zeigten über alle anderen Variantenkombinationen hinweg und an beiden Standorten ausgeglichene oder stark positive N-Bilanzen (23 bis 211 kg N ha⁻¹ in Hmawbi und -5 bis 228 kg N ha⁻¹ in Yezin). Die regelmäßige Ausbringung von Hühnermist führte zu Phosphor (P) -Überschüssen von 7 bis 81 kg ha⁻¹ in Hmawbi und von 163 bis 275 kg ha⁻¹ in Yezin. Die Kaliumbilanzen waren an beiden Standorten nur für N1 positiv außer im RMR-system mit Strohverbrennung in Yezin.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse der beiden Experimente die überraschend hohe Pufferkapazität der Reisböden in Myanmar und verdeutlichen die Bedeutung der Rückführung von Getreidestroh, um die bodenphysikalischen Eigenschaften und die Kaliumbilanzen positiv zu beeinflussen. Sie weisen außerdem auf die Notwendigkeit höherer N-Gaben zur Steigerung der Reiserträge hin. Um die langfristigen Auswirkungen der geprüften Anbausysteme auf die Nachhaltigkeit des Reisanbaus in Myanmar besser beurteilen zu können, sollte das hier dargestellte Experiment für zumindest zwei weitere Jahre fortgeführt werden.

