

**Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie
in den Tropen und Subtropen
Universität Hohenheim
Prof. Dr. D.E. Leihner**

**Yields and Nutrient Budgets of
Hillside Cropping Systems with
Erosion Control in Northern Thailand**

Thanuchai Kongkaew

VERLAG GRAUER · Stuttgart · 2000

6 Summary

In the mountainous area of northern Thailand, average soil losses amounted to $67 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ during the past decade, ranging from 30 to $110 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Based on average soil formation rates of $11 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ and a soil bulk density of 1.25 g cm^{-3} , almost all of the 20 cm thick topsoil layer may be lost in the next 45 years if soil losses continue at the average rate. Up to date, farmers have been reluctant in adopting soil conservation measures due to insufficient profitability and because of the large initial investment of labour to maintain these systems. Thus, the objectives of this research were (i) to assess the sustainability and profitability of food crop production with soil conservation measures and fertilisation on moderate slopes in the sub-humid zone of Thailand, (ii) to examine whether erosion control measures that reduce runoff may increase nutrient leaching (iii) to test the validity of leaching studies with the resin core method on moderate slopes in northern Thailand.

A field experiment was conducted between March 1997 and March 1999 on the research station of the Department of Land Development (DLD) at Huai Luk, 100 km north of Chiang Mai ($19^{\circ}31' \text{ N}$ and $99^{\circ}04' \text{ E}$). The test site has a tropical savannah climate (Köppen A_w) with an average temperature of 25°C . The annual rainfall was $1,354 \text{ mm}$ in 1997 and 927 mm in 1998. The soil at the upper half of the slope was classified as Lithic Haplustalf (Alfisol) and the soil at the lower linear part of the mid-slope as Ultic Haplustalf (Alfisols) with a clay to clay loam texture. The soil was moderately acid ($\text{pH-H}_2\text{O} = 5.6$), low in total N, available P and cation exchange capacity.

Twenty-two erosion plots of 10 m width and 36 m length were established on slopes ranging between 21 and 36% . The experiment laid out in a split-plot design with two replications, augmented by one bare-fallow and one forest plot. Main plots consisted of two fertiliser levels, no fertilisation and the application of $61 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ plus $13.9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$. Sub-plot treatments were five maize (*Zea mays* L.) cropping systems: treatment 1 - farmer practice, treatment 2 - *Leucaena leucocephala* hedges in double rows, treatment 3 - mango-grass hedges with *Paspalum notatum*, treatment 4 - grass strips with *Brachiaria ruziziensis* and treatment 5 - agroforestry with mango tree rows (*Mangifera indica* L.). In all treatments, a relay crop of lablab (*Lablab purpureus* L.) served as mulch for the subsequent maize crop. Maize straw was left on the field in all treatments, except the farmer practice. In the farmer practice, maize rows were sown in slope direction, but in contour rows in the erosion control treatments. Maize planting density based on total plot area was kept constant in all treatments and amounted to 4 plants m^{-2} . All tree or grass rows were 1 m wide and spaced 6 m apart. Soil loss and runoff were measured after each erosive rain ($>10 \text{ mm}$). Nutrients in runoff ($\text{NO}_3^- \text{-N}$, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, soluble K, Ca and Mg) were analysed twice a month. Sediment concentrations of total N, Bray-II P, exchangeable K, Ca and Mg were determined in pooled samples at the end of the rainy season. Nutrient leaching was measured with resin cores at a soil depth of 25 and 50 cm during the cropping season (June to December). Resin cores of 20 cm diameter and 10 cm height were filled with a cation-anion exchange resin:sand mixture. In each plot of the treatments 1, 2 and 5, three pits were dug at the top, middle and bottom position. In each pit two resin cores were inserted in side-cavities at 25 and 50 cm depth.

In the more humid year 1997, the runoff in the farmer practice was 5 times higher than in 1998 (104 vs. 21 mm yr⁻¹) and soil loss was 3 times higher (15 vs. 5 t ha⁻¹ yr⁻¹). Averaged across years, the three hedgerow systems reduced the runoff to 12 mm and the soil loss to 0.4 t ha⁻¹ yr⁻¹ as compared to 63 mm and 10 t ha⁻¹ yr⁻¹ in the farmer practice. Losses in agroforestry of 27 mm runoff and 3 t ha⁻¹ yr⁻¹ soil were closer to the barrier systems than to the farmer practice. In spite of sacrificing 25% of the maize area for trees or grasses, the average maize grain yield of the four erosion control treatments of about 3 t ha⁻¹ was equal to the farmer practice. Fertilisation increased maize yields significantly from 2.3 to 3.9 t ha⁻¹ and total dry matter (TDM) from 7.1 to 11.6 t ha⁻¹ in the farmer practice. Among the erosion control treatments, the three systems with trees produced about 1.5 t more TDM than the grass strip treatment.

The N losses by erosion were reduced from 32 kg ha⁻¹ yr⁻¹ in the farmer practice to 3.5 kg ha⁻¹ yr⁻¹ in the mean of the three hedgerow systems which had negligibly low erosion losses also for other nutrients: 0.01 kg ha⁻¹ P, 1.3 kg ha⁻¹ K, 0.7 kg ha⁻¹ Ca and 0.3 kg ha⁻¹ Mg. The nutrient enrichment in sediments relative to topsoil concentrations amounted to factors of about 5 for P, 3 for Ca, 2 for K but only 1.4 for N. The average annual leaching losses at 50 cm depth were 8 kg ha⁻¹ N, 97 kg ha⁻¹ K, 225 kg ha⁻¹ Ca and 75 kg ha⁻¹ Mg. The 15% seepage increase due to runoff reduction by vegetative barriers did not significantly increase nutrient leaching.

The resin core method produced explainable treatment and year effects on nutrient leaching with a high precision, particularly for total cations (CV =4%). The recovery of 44% of the surface applied Cl⁻ in the resin cores of the NaCl tracer test was in line with other studies. The relative proportions among leached cations corresponded to soil concentrations of exchangeable cations. Between 4 and 7% of the exchangeable K, Ca and Mg were leached per 100 mm seepage.

The economic evaluation (ignoring establishment costs for hedgerows) demonstrated that barriers with species that are purely grown for barrier and mulching purposes can not compete with directly marketable barrier species such as fruit trees. Therefore, the use of *Leucaena* and grass prunings for fodder seems to be more profitable than mulch application, which was not essential for soil conservation. The total value of nutrient conservation in the mean of the three fertilised hedgerow treatments as compared to the farmer practice amounted to 31 US\$ ha⁻¹ yr⁻¹. Fertilisation was profitable in all systems, particularly in the mango-grass system where net returns increased by 138 US\$ ha⁻¹ yr⁻¹, from 154 to 292 US\$ ha⁻¹ yr⁻¹. To conclude, maximum soil losses of only 10 t ha⁻¹ yr⁻¹ and 5.5% rainfall loss by runoff in the improved farmer practice system according to recommendations by the Department of Agricultural Extension indicate that this maize production system with a mulch producing relay crop may be a sustainable option for moderate slopes in the subhumid tropics. Further ecological and economic benefits can be achieved by soil and water conservation measures with vegetative barriers, particularly with fruit trees.

7 Zusammenfassung

In den Bergregionen Nordthailands betragen im vergangenen Jahrzehnt die Bodenverluste durch Erosion zwischen 30 und 110 t ha⁻¹ a⁻¹, wobei das Mittel bei 67 t ha⁻¹ a⁻¹ lag. Bei gleichbleibenden Verlusten ginge der gesamte, 20 cm mächtige Oberboden innerhalb von 45 Jahren verloren, wenn man eine mittlere Bodenneubildung von 11 t ha⁻¹ a⁻¹ und eine Lagerungsdichte von 1,25 g cm³ Boden annimmt. Bisherige Bodenschutzmaßnahmen wurden von den Bauern aufgrund hoher Arbeitsansprüche für die Installation und ungenügender wirtschaftlicher Anreize meist abgelehnt. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollte 1) die Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit von Bodenschutzmassnahmen und Düngung für den Ackerbau auf Steilhängen in der subhumiden Zone Nordthailands bewertet werden, 2) untersucht werden, ob der durch den Bodenschutz verringerte Oberflächenabfluss die Nährstoffauswaschung erhöht und 3) die Eignung der Ionenaustauschermethode zur Messung der Nährstoffauswaschung auf subhumiden Hanglagen Nordthailands getestet werden.

Zwischen März 1997 und März 1999 wurde ein Feldversuch auf der Versuchstation Huai Luk, 100 km nördlich von Chiang Mai (19°31' N und 99°04' O) durchgeführt. Der Standort zeichnet sich durch ein tropisches Savannenklima (Köppen AW) mit einer mittleren Jahrestemperatur von 25°C aus. Die Jahresniederschläge lagen 1997 bei 1354 mm und 1998 bei 927 mm. Der Bodentyp auf dem Versuchsfeld war am Oberhang ein lithic Haplustalf (Alfisol) und am Mittelhang ein ultic Haplustalf mit toniger sowie tonig-lehmiger Textur. Die Böden waren mäßig sauer mit einem pH(H₂O) von 5,6 und geringen Konzentrationen an Gesamt-N, pflanzenverfügbarem P und geringer Kationenaustauschkapazität.

Auf Hängen mit einem Gefälle von 21-36% wurden 22 Erosionsparzellen mit einer Breite von 10 m und einer Länge von 36 m angelegt. Der Versuch war als *Split-Plot* Design mit zwei Wiederholungen und je einer Schwarzbrache und Forstparzelle als zusätzliche Kontrollbehandlungen angelegt. Die Hauptparzellen erhielten entweder keine Düngung oder eine Mineraldüngung in Höhe von 61 kg N und 13,9 kg ha⁻¹ a⁻¹ P. Die Kleinparzellen bestanden aus fünf Mais (*Zea mays* L.)- Anbausystemen: Behandlung 1 - lokaler Standard, Behandlung 2 - *Leucaena leucocephala* Hecken in Doppelreihen, Behandlung 3 - Mango-Grashecken mit *Paspalum notatum*, Behandlung 4 - Grashecken mit *Brachiaria ruziziensis* und Behandlung 5 - Agroforstsystem mit Mangoreihen (*Mangifera indica* L.). In allen Behandlungen wurde Lablab (*Lablab purpureus* L.) als Mulchlieferant für die nächste Maisfrucht kurz vor der Maiseernte eingesät. Auch das Maisstroh wurde außer bei der Standardbehandlung als Mulch auf dem Feld belassen. In der Standardbehandlung wurde der Mais in Reihen entlang des Gefälles, in den anderen Behandlungen dagegen in Konturreihen gesät. Die Bestandesdichte war auf die Parzellenfläche bezogen mit 4 Pflanzen pro m² in allen Behandlungen gleich. Alle Baum- und Grasreihen waren 1 m breit und 6 m voneinander entfernt. Der Bodenabtrag und der Oberflächenabfluss wurde nach jedem erosiven Niederschlag (>10 mm) gemessen. Im Oberflächenabfluss wurde NO₃⁻-N, NH₄⁺-N sowie gelöstes K, Ca und Mg zweimal pro Monat analysiert. Im Sediment wurde Gesamt-N und pflanzenverfügbares P sowie austauschbares K, Ca und Mg in einer Mischprobe am Ende der Regenzeit bestimmt. Die Nährstoffauswaschung wurde während der Anbausaison von Juni bis Dezember mit Monitoring-Boxen in 25 und 50 cm Bodentiefe gemessen. Die Monitoring-Boxen hatten einen Durchmesser von 20 cm und eine Höhe von 10 cm. Sie wurden vor Versuchsbeginn mit einem Kationen-Anionen-Austauscherharz Sandgemisch gefüllt. In jeder Parzelle der Behandlungen 1, 2 und 5 wurden drei Gruben am oberen Ende, in der Mitte und am unteren Parzellenende ausgehoben. In jede

Grube wurde eine Monitoring-Box in 25 cm und eine in 50 cm Tiefe in einen seitlichen Stollen eingebaut.

Im feuchteren Jahr 1997 war der Oberflächenabfluss in der Standardbehandlung fünfmal höher als 1998 (104 bzw. 21 mm a⁻¹), während der Bodenverlust dreimal so hoch war (15 bzw. 5 t ha⁻¹ a⁻¹). Im Mittel der Versuchsjahre reduzierten die drei Anbausysteme mit Hecken den Oberflächenabfluss auf 12 mm und den Bodenverlust auf 0,4 t ha⁻¹ a⁻¹ gegenüber Verluften von 63 mm bzw. 10 t ha⁻¹ a⁻¹ in der Standardbehandlung und 27 mm bzw. 3 t ha⁻¹ a⁻¹ in der Agroforstbehandlung. Trotz einer um 25% reduzierten Maisfläche, die von Bäumen bzw. Gräsern beansprucht wurde, lieferten alle vier Behandlungen mit Bodenschutzmassnahmen mit 3 t ha⁻¹ a⁻¹ den gleichen Maisertrag wie die Standardbehandlung. Die Mineraldüngung erhöhte den Maisertrag von 2,3 auf 3,9 t und den Gesamttrockenmasseertrag von 7,1 auf 11,1 t ha⁻¹ a⁻¹ im Standardsystem. Unter den Erosionsschutzsystemen produzierten die drei Systeme mit Bäumen ca. 1,5 t ha⁻¹ a⁻¹ mehr Trockenmasse als die Behandlung mit Grashecken.

Die Stickstoffverluste durch Erosion von 32 kg ha⁻¹ a⁻¹ in der Standardparzelle wurden durch die drei Bodenschutzmassnahmen mit Hecken auf 3,5 kg ha⁻¹ a⁻¹ verringert. In den Heckenvarianten waren auch die Verluste von 0,01 kg P, 1,3 kg K, 0,7 kg Ca und 0,3 kg ha⁻¹ a⁻¹ Mg vernachlässigbar gering. Die Nährstoffanreicherung im Sediment relativ zum Oberboden erreichte nahezu einen Faktor von 5 für P, 3 für Ca, 2 für K, aber nur 1,4 für N. Die mittleren Auswaschungsverluste in 50 cm Bodentiefe betrugen 8 kg N, 97 kg K, 225 kg Ca und 75 kg ha⁻¹ a⁻¹ Mg. Die 15% höhere Sickerwassermenge in den Parzellen mit Hecken führte zu keinem signifikanten Anstieg der Nährstoffauswaschung.

Die Auswaschungsmessungen mit Monitoring-Boxen lieferte plausible Behandlungs- und Jahreseffekte mit einer vor allem bei den Kationen sehr hohen Präzision (Variationskoeffizient = 4%). Die Wiederfindung von 44% des applizierten Chlorid-Tracers war ähnlich hoch wie in anderen Studien. Die relativen Anteile des ausgewaschenen K, Ca und Mg entsprachen den Bodengehalten austauschbarer Kationen und lagen pro 100 mm Sickerwasser zwischen 4 und 7% der Bodenvorräte.

Die ökonomische Bewertung (ohne Berücksichtigung der Etablierungskosten) zeigte, dass Hecken mit Arten, die nur als Barriere und als Mulchlieferant dienen, nicht mit direkt vermarktbar Hecken aus Obstbäumen konkurrieren können. Deswegen scheint die Fütterung der *Leucaena*- und Grasshecken profitabler als deren Mulchnutzung zu sein, die für den Bodenschutz unwesentlich war. Der Heckenwert durch die im Vergleich zum Standard verringerten NPK Verluste betrug 31 US\$ ha⁻¹ a⁻¹. Die Mineraldüngung erhöhte den Reingewinn in allen Varianten, am meisten jedoch in den Mango-Grashecken, in denen pro ha 138 US\$ mehr, 292 statt 154 US\$, erwirtschaftet wurden. Als Schlussfolgerung lässt sich feststellen: Bodenabträge von nur 10 t ha⁻¹ a⁻¹ und Verluste durch Oberflächenabfluss von 5,5% des Niederschlags in der Standardbehandlung, wie sie vom Department of Agricultural Extension empfohlen wird, zeigen, dass der Maisanbau mit einer mulchliefernden Zwischenfrucht auch auf mittelsteilen Hängen in den subhumiden Tropen nachhaltig sein kann. Zusätzliche ökonomische und ökologische Vorteile können mit Bodenschutzhecken erzielt werden, vor allem wenn sie Obstbäume enthalten.