



Diagnosing and managing zinc and boron deficiencies in emerging crop production systems of Nepal

Dissertation

zur Erlangung des Grades
Doktorin der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

der
Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

von

Shova SHRESTHA

aus Parvat Beni, Nepal

Bonn 2020

ABSTRACT

The productivity and sustainability of the prevailing crop production systems are being challenged throughout the Indo-Gangetic Plains. Limiting water resources, depletion of soil fertility, social changes and economic developments drive the current modification of the crop portfolio, reflected in its spatial-temporal patterns and of cultivation practices. In Nepal, this concerns particularly the rice-wheat annual double cropping system, which is the dominant food crop rotation in both the subtropical lowland as well as the temperate Himalayan mid hills of Nepal. As a results of continuing urbanisation and shifting consumer preferences, a drive to replace of wheat with high-value vegetables during the cold dry season is gaining momentum, in the peri-urban fringes., simultaneously, emerging water shortages are preventing permanent soil flooding during the monsoon season, leading to partial substitution of lowland rice by less water-consuming upland crops. Such system shifts and associated changes in soil aeration status are altering the nutrient availability, while increasing the crop demand for the critically limiting micronutrients boron (B) and zinc (Zn).

Therefore, compared the B and Zn levels in the traditional rice- based system (under anaerobic condition), in the water-saving maize-based system (aerobic conditions) with both conventional winter wheat and the emerging vegetables as rotation crops. Under controlled conditions in a dysfunctional greenhouse and under field conditions at two representative production sites and soil types (e.g. Acrisols in Kavre in the mid-hills of Nepal and a Fluvisols in Chitwan in the lowland), determined were (1) differential effects of system shifts on the soil supply and crop demand of B and Zn (diagnosis trials), (2) the effects of applying mineral B and Zn fertilizers on yields and economic returns of wheat vs. cauliflower and tomato (response trials), and (3) longer-term carry-over effects of a one-time application of soil B and Zn on biomass accumulation and nutrient uptake by maize (residual effect trials). Inclusion of an aerobic soil phase (e.g. maize instead of rice) resulted in declining soil C and N contents and consequently negatively affected dry matter accumulation and wheat grain yield. Concurrently, the shift from wheat to cauliflower and tomato increased the demand for B and Zn, and these vegetables showed deficiency symptoms at both sites and in both soil types. Particularly the B concentrations in the biomass of non- amendments crops were always below the critical limits of <10 (wheat), 21 (cauliflower) and 23 mg B kg⁻¹ (tomato). In wheat, the application of Zn tended to increase yields under field conditions, while a B application showed no significant effect, irrespective of the site or soil type. On the other hand, biomass accumulation, nutrient uptake, and economic yield of cauliflower and tomato increased with B (and Zn) applications, but response attributes were unaffected by changes in soil aeration status. These responses were generally more pronounced in the lowland than the mid-hill sites, while overall yields of wheat and temperate vegetables were higher in the cool mid-hills than in the subtropical lowland. Despite low application rates of 2.2-4.0 kg ha⁻¹ of Zn or B, positive residual effects on subsequent non -fertilized maize were observed with Zn in the Acrisols and with B in both soil types. Soils in larger parts of Nepal are low in available B and Zn. A shift towards aerobic cultivation in the wet season will reduce soil C and N contents and concomitantly the supply of B and Zn. At the same time, the current shift from wheat to vegetables increases the crops' demand for B and Zn. While the application of B and Zn fertilizers can moderately improve the performance of the traditional rice-wheat rotation, with a shift towards vegetable cropping, B and Zn applications become imperative to sustain production. Both the public and the private sectors will increasingly be challenged to develop and make available B- and Zn-containing fertilizer formulations that respond to the changing needs of the emerging production systems. These findings are also pertinent in other environments and for other farming communities in the Indo-Gangetic Plains and the Himalayan foot-hills beyond Nepal.

Diagnose und Management von Zink- und Bormangel in Produktionssystemen Nepals

Die Produktivität und Nachhaltigkeit der vorherrschenden Anbausysteme ist eine Herausforderung für die gesamte Region der Indus-Ganges-Ebene. Begrenzte Wasserressourcen, abnehmende Bodenfruchtbarkeit, sozialer Wandel und wirtschaftliche Faktoren treiben den Wandel von Kulturarten, deren raum-zeitliche Muster, und von Anbaupraktiken in der Region. In Nepal betrifft dieser Wandel in ganz besonderem Maße vorherrschende Reis-Weizen-Rotation, welche das dominante Anbausystem im tropischen Tiefland wie in den temperierten mittleren Höhenlagen des Himalayas darstellt. Die fortschreitende Verstädterung und die sich ändernden Verbraucherpräferenzen führen dazu, dass in der kalten Trockenzeit Weizen durch hochwertiges Gemüse ersetzt wird, während aufkommende Wasserknappheit permanente Bodenüberschwemmungen während der Monsunzeit begrenzt, was zu einer teilweisen Substitution von Nassreis durch weniger Wasser-verbrauchende Trockenlandkulturen führt. Ein solcher Systemwandel reduziert in Verbindung mit Veränderungen des Belüftungszustands des Bodens die Nährstoffnachlieferung, während die neuen Kulturen (Mais in der Regenzeit und Gemüse in der Trockenzeit) den Bedarf an den kritisch limitierenden Mikronährstoffen Bor(B) und Zink (Zn) noch erhöhen wird. Gerade der Mangel an B und Zn wird somit eine der Schlüsselherausforderungen im Zuge des fortschreitenden Umbaus der Produktionssysteme in Nepal.

In Versuchen unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus wie in Feldversuchen an zwei repräsentativen Standorten (Arcisole im mittleres Hochland und tropisches Fluvisole im Tiefland) wurden traditionelle Reis-basierte mit wassersparenden Mais-basierten Systemen in Rotation mit Weizen sowie mit Blumenkohl und Tomaten vergleichend bewertet. In einem ersten Schritt wurde der Einfluss der Änderung des Belüftungszustandes des Bodens auf die Nährstoffnachlieferung sowie die Rolle der neuen Rotationskulturen auf den Bedarf an B und Zn ermittelt (Diagnose). Im Folgenden wurde die Pflanzenantwort auf Zugabe von B und Zn Düngern quantifiziert (Düngereffekte). Schließlich wurden Übertragungseffekte einer B und Zn Düngung auf eine ungedüngte Folgekultur von Mais untersucht (Residuale Effekte).

Die Umstellung des Anbausystems von geflutetem Reis auf aeroben Mais während der Regenzeit resultierte in einer signifikanten Minderung des Boden C- und N-Gehaltes und wirkte sich negativ auf die Trockenmassebildung und den Kornertrag von Weizen aus. Die Umstellung von Weizen auf Gemüse erhöhte die den Bedarf an B und Zn, und Gemüse zeigten an allen Standorten typische Symptome für B- und in geringerem Maße auch für Zn-Mangel. Ohne B-Düngung lagen die B-Konzentrationen im Gewebe unter den kritischen Grenzwerten von 10 (Weizen), 21 (Blumenkohl) und 23 mg B kg⁻¹ (Tomate). Während der Weizen mit Ertrags-erhöhung auf eine Zn-Gabe reagierte, konnte unabhängig vom Standort und Bodentyp kein Effekt einer B-Düngung festgestellt werden. Andererseits wurden Biomassebildung, die Stoffaufnahme und der ökonomischer Ertrag von Blumenkohl und von Tomate durch eine Gabe von jeweils 2,0 - 4,4 kg ha⁻¹ B und Zn nahezu verdoppelte. Diese Düngeantwort war in der Regel deutlich stärker im Fluvisols im Tiefland als im Acrisols in den mittleren Höhenlagen. Andererseits waren aber die Erträge aller temperierten Kulturpflanzen (Weizen, Blumenkohl und Tomate) in den kühlen Hochlagen deutlich höher als im subtropisch heißen Tiefland. Trotz der relativ geringen Anwendungsrate zeigten sowohl B als auch Zn positive Effekte auf einen nicht gedüngten Mais, wobei solche Residualeffekte von Zn nur im Acrisols und von B auf beiden Bodentypen beobachtet wurden.

Die Böden in weiten Teilen Nepals sind arm an verfügbarem B und Zn. Ein Systemwandel hin zu aerobem Anbau führt zum Abbau von Boden C und N und damit verbunden zu einer verminderten Verfügbarkeit von B und Zn. Gleichzeitig führt ein erhöhter Gemüseanteil in der Fruchtfolge zu einem steigenden B und Zn Bedarf. Während eine B und Zn Düngergabe den

Ertrag von Reis-Weizenrotationen moderat erhöhen kann, ist eine solche Düngemaßnahme im Fall der neuen Mais- und Gemüse-basierten Systeme völlig unumgänglich um eine nachhaltige Erzeugung von Nahrungsmitteln sicherzustellen. Sowohl staatlich Stellen (Agrarforschung und Beratung) als auch der private Sektor (Düngemittelindustrie) stehen unter Zugzwang, B und Zn-haltige Düngeformulierungen zu entwickeln und den Produzenten bereitzustellen, um somit dem fortschreitenden Systemwandel in Nepal und dem sich wandelnden Nährstoffbedarf der neuen Anbausysteme zu begegnen.