ETH zürich

ETH Library

Plant and soil indicators to assess the phosphorus nutrition status of agricultural grasslands

Doctoral Thesis

Author(s):
Liebisch, Frank

Publication date:
2011

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-006484035

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH No. 19573

Plant and soil indicators to assess the phosphorus nutrition status of agricultural grasslands

A dissertation submitted to the

ETH Zurich

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Frank Liebisch

Dipl.-Ing. agr. – Universität Hannover

born 27.06.1978

citizen of Germany

(European Union)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. E. Frossard, examiner

Dr. E.K. Bünemann, co-examiner

Dr. C. Jouany, co-examiner

2011

Summary

Phosphorus (P) is an essential element for life and as such a key element for agriculture where it is applied as fertilizer to obtain high yields and quality of crops. When appearing in surplus P can have detrimal effects on the environment (e.g. eutrophication of surface waters). At the same time, the world reserves of rock phosphate are limited. Thus, an efficient P management in agriculture is necessary for economic and ecological reasons.

Grassland is a major land use type in agriculture. The interpretation of plant nutrient concentrations in grassland samples is complex due to variation in botanical composition, changing concentrations during growth and interactions between nutrients. Although soil P analysis is routinely used to estimate plant available P in the soil, the actual P availability is often ill defined by these tests. This is particularly true for grassland soils where organic matter is accumulated in the topsoil and microbial activity is high. To avoid yield losses and P accumulation it is necessary to characterize the transition between deficient, sufficient and surplus P nutrition status as precisely as possible.

The aim of the project was to evaluate a set of plant and soil indicators to accurately identify the P nutrition status of agricultural permanent grasslands. We studied three typical permanent grassland types managed at different harvest intensities with no (P0), sufficient (P1) or surplus P (P2) inputs since 5 to 20 years. The grasslands were located at Les Verièrres (V), Watt (W) and Baldegg (B). During the growing season of 2008, plants were sampled at vegetative stage and differentiated into botanical fractions (grasses, legumes and forbs) at each harvest and soils were sampled once (0 to 5, 5 to 10, 10 to 20 and 20 to 40 cm). In 2009 we conducted a study on the seasonal dynamics of P availability and its drivers in one of these grasslands (W).

For the plant P indicators we measured plant P, nitrogen (N) and potassium (K) concentrations in the aboveground biomass of grasses, legumes and forbs. Subsequently we evaluated P concentration, N:P and K:P ratios, the P nutrition index (PNI) and the P index derived from the diagnosis recommendation integrated system (DRIS P). Grasses were the main botanical fraction (52-88%) in all swards. The identification of P nutrition status was found to be more precise in grasses than in bulk sward samples. The critical P concentration in grasses below which yield was reduced was 2.1 to 2.3 mg g^{-1} while the maximum yield response was found at 3.5 mg P g^{-1} indicating a surplus P nutrition status. The PNI showed the clearest differentiation between deficient, sufficient or surplus fertilizer inputs. To identify

nutrient co-limitation additional nutrient indicators need to be considered. In principle, N:P, K:P and DRIS are all applicable, but we suggest to refine the values used for interpretation of these indicators for nutrient diagnosis in agricultural grasslands.

For the soil indicators, we aimed to establish thresholds for soil P availability using yield and plant P nutrition status response curves. We used three soil P indicators based on different principles: an extraction method (P_{ox}), an isotope exchange method (E_{1min}) and an ion sink method (P_{res}). In the 0 to 5 cm soil layer, the P0, P1 and P2 treatments were significantly differentiated by the three soil P indicators. In 20 to 40 cm depth only P2 fertilized treatments were significantly higher than P1 and P0 for the three soil P indicators. For the plant indicators yield response, P concentration and PNI in grasses, relationships to P_{ox}, E_{1min} and P_{res} were stronger for combined sites than for specific locations. For these relationships we established exponential functions with a maximum. We applied thresholds identified in the previous study to determine the soil P availability classes deficient, sufficient and surplus for plant growth. We identified low and high thresholds of 290 and 510 for P_{ox}, of 5 and 14 for E_{1min}, and of 4.5 and 14 mg P kg^{-1} soil for P_{res}. Among the three P indicators P_{res} had the strongest coefficients of determination with grass P concentration and PNI, thus it reflected sward P nutrition status better than P_{ox} or E_{1min}.

In the next study we applied the same approach to the two Swiss standard methods for soil P extraction with CO_2 saturated water (P_{CO2}) and ammonium-acetate EDTA (P_{AAE}). For P_{CO2} a combined use of the locations was not appropriate. To propose thresholds we had to consider the soil with high P buffer capacity in V separately from the soils in W and B which had a similar buffer capacity. For P_{AAE} the interpretation without additional soil information seemed reasonable for the investigated locations. For both P_{CO2} and P_{AAE}, the soil P availability in the 0 to 5 cm soil layer was underestimated by the soil P classification scheme.

Finally, we studied the effect of different P fertilizers on the turnover of P through the microbial biomass and its consequences for P availability. We selected three P input treatments (no P (P0), mineral P (Pmin) and organic P (Porg) fertilization) in the permanent grassland in W. During the growing season of 2009, soil samples were taken frequently. Available P was measured as resin-extractable P (P_{res}) and microbial P (P_{mic}) was determined by hexanol fumigation with simultaneous extraction by anion exchange resin membranes, without application of correction factors. Consistent increases of P_{mic} in the three treatments were observed after the summer and autumn harvests when plant growth rate was low. Reduced P_{mic} and increased P_{res} were observed after dry periods. From the observed

fluctuations in P_{mic} we calculated P_{mic} turnover and fluxes. The turnover rate of P in the microbial biomass tended to be higher in P0 than in Pmin and Porg. The fluxes of P through the microbial biomass and the mean P_{mic} stocks of P in the microbial biomass were two to three times higher than plant P uptake. The potential of P_{mic} to withhold available P during times of high P demand of plants or under dry conditions indicated a competition for available P, particularly when P availability is low.

Both plant and soil P indicators are valuable tools for the diagnosis of P nutrition status in permanent grasslands. With the thresholds established in this study, the investigated indicators can be interpreted for permanent grasslands under field conditions. For plant indicators we recommend to use the PNI in the grass fraction assisted by other nutrient indicators to exclude limitation of or co-limitation with other nutrients. The establishment of soil P status classes was improved by the combined use of plant yield and P nutrition status indicators. The most reliable soil P indicator in this study was P_{res} in field moist soil. However, the thresholds developed for P_{ox}, E_{1min}, P_{CO2} and P_{AAE} identify the three soil P status classes as well. Whereas plant indicators differentiated most precisely between a deficient and sufficient status, soil analysis was more precise to differentiate a sufficient from a surplus P nutrition status. Thus, we propose a strategy for a combined use of both indicators for sward P diagnosis. In view of the strong effects of P_{mic} and climatic conditions on P availability and P cycling under field conditions, these interactions should be addressed by further research.

Zusammenfassung

Phosphor (P) ist ein lebenswichtiges Element und als solches von grundlegender Bedeutung für die Landwirtschaft, wo es als Dünger appliziert wird, um hohe Erträge und Qualitäten der Kulturen zu gewährleisten. Ein übermässiges Vorkommen von P kann sich aber negativ auf die Umwelt auswirken (z.B. Eutrophierung von Gewässern). Gleichzeitig sind die weltweiten Reserven für Rohphosphat begrenzt. Deshalb ist ein effizientes Management von P in der Landwirtschaft sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus ökologischen Gründen notwendig.

Grasland ist eine der wichtigsten Nutzungsformen in der Landwirtschaft. Die Interpretation von Nährstoffkonzentrationen in den Pflanzen des Graslandes ist aufgrund hoher Variation in der botanischen Zusammensetzung, sich ändernder Konzentrationen während des Wachstums und der Interaktionen zwischen den Nährstoffen sehr komplex. Die P-Analyse im Boden wird heute routinemässig angewandt, definiert aber die Pflanzenverfügbarkeit des P im Boden oft

ungenau. Das trifft besonders für Graslandböden zu, wo der Oberboden hohe Gehalte an organischer Substanz aufweist und die mikrobielle Aktivität hoch ist. Um Ertragsverluste und die Akkumulation von P im Boden zu vermeiden, ist es notwendig, die Übergänge zwischen mangelhafter, ausreichender und übermässiger P-Versorgung genau zu charakterisieren.

Das Ziel dieser Arbeit war die Bewertung von Pflanzen- und Bodenindikatoren zur genauen Identifikation des P-Versorgungszustandes im landwirtschaftlich genutzten Grasland. Wir untersuchten drei typische Graslandstandorte, welche seit 5 bis 20 Jahren mit jeweils unterschiedlichen Nutzungsintensitäten (2, 3 und 5 Schnitte pro Jahr) und Düngeverfahren (ohne P (P0), ausreichend (P1) und übermässig (P2)) bewirtschaftet wurden. Die Standorte waren Les Verièrres (V), Watt (W) und Baldegg (B). Im Jahr 2008 wurden die Wiesenpflanzen und Böden beprobt. Die Pflanzenproben wurden im vegetativen Stadium genommen und nach botanischen Fraktionen getrennt (Gräser, Leguminosen und Kräuter). Die Böden wurden in den Tiefen 0 bis 5, 5 bis 10, 10 bis 20 und 20 bis 40 cm beprobt. 2009 führten wir eine Studie zur jahreszeitlichen Dynamik der P-Verfügbarkeit und deren Einflussfaktoren auf dem Standort in W durch.

Für die Pflanzenstudie haben wir die P-, Stickstoff- (N) und Kalium- (K) Konzentrationen in den Pflanzenproben gemessen, um den P-Status des Graslandes anhand der folgenden Indikatoren zu bestimmen: P-Konzentration, N:P- und N:K-Verhältnisse, den P-Ernährungsindex (PNI) und den P-Index aus dem Integrierten Diagnose-und Empfehlungssystem (DRIS P). Die Gräser waren die grösste botanische Fraktion (durchschnittlich 52 bis 88%) in allen untersuchten Standorten. Die Fraktion der Gräser war zudem präziser in der P-Status-Bestimmung als die Gesamtproben. Wir fanden die kritische P-Konzentration, unter der der Ertrag signifikant reduziert war, bei 2.1 bis 2.3 mg P g^{-1}. Der maximale Ertrag war bei 3.5 mg P g^{-1} erreicht. Über diesem Wert ist also eine übermässige P-Versorgung angezeigt. Der PNI zeigte die deutlichste Unterscheidung zwischen P-Mangel, ausreichender und übermässiger P-Versorgung. Um eine Ko-Limitierung mit anderen Nährstoffen festzustellen, ist es nötig, mehrere Indikatoren einzubeziehen. Dafür besonders geeignet sind N:P, K:P und DRIS. Obwohl im Prinzip verwendbar, empfehlen wir für diese Indikatoren eine Verbesserung der Interpretationsgrundlage für die Nährstoffdiagnose im Grasland.

In der Bodenindikatorstudie verfolgten wir das Ziel, mit Hilfe von Ertrag und P-Status der Pflanzen, Grenzwerte für die P-Verfügbarkeit im Boden zu klassifizieren. In einem ersten

Ansatz untersuchten wir drei Boden-P-Indikatoren, welche auf unterschiedlichen Prinzipien basieren: eine chemische Extraktion (P_{ox}), eine Isotopenaustausch-Methode (E_{1min}) und eine Ionensenke-Methode (P_{res}). In der obersten Bodenschicht (0 bis 5 cm) wurden die Düngeverfahren P0, P1 und P2 durch die drei Indikatoren signifikant unterschieden. In 20 bis 40 cm Tiefe waren die Werte der P2-Verfahren höher als die Werte von P0 und P1, welche sich nicht unterschieden. Die Beziehungen zwischen den drei Bodenindikatoren und den Pflanzenindikatoren Ertrag, P-Konzentration und PNI waren am stärksten, wenn die drei Standorte kombiniert wurden. Für diese Beziehungen etablierten wir exponentielle Funktionen mit einem Maximum. Folgend benutzten wir die Grenzwerte des P-Status der Pflanzen aus der vorhergegangenen Studie, um die P-Verfügbarkeit im Boden in mangelhaft, ausreichend und übermässig zu klassifizieren. Wir identifizierten jeweils den unteren und oberen Grenzwert für P_{ox} bei 290 und 510 mg P kg^{-1}, für E_{1min} bei 5 und 14 mg P kg^{-1} und für P_{res} bei 4.5 und 14 mg P kg^{-1} Boden. Unter den drei Bodenindikatoren hatte P_{res} die stärkste Beziehung mit den P-Status-Indikatoren der Pflanzen.

Im nächsten Schritt benutzten wir den gleichen Ansatz für die Standardmethoden der Bodenanalyse in der Schweiz. Das sind die Extraktion von P mit CO_2-gesättigtem Wasser (P_{CO2}) und Ammoniumazetat-EDTA (P_{AAE}). Für P_{CO2} war die Beziehung zu den Pflanzenindikatoren für kombinierte Standorte nicht aussagekräftig. Um Grenzwerte zu finden, unterteilten wir deshalb die Standorte nach Boden-P-Pufferkapazität, welche in V höher war als in W und B. Für P_{AAE} war die Interpretation der Beziehungen über alle drei Standorte ohne zusätzliche Bodenparameter aussagekräftig. Im offiziellen Klassifizierungsschema wurde die P-Verfügbarkeit im Boden für beide Methoden zu gering eingestuft.

In der letzten Studie untersuchten wir den Einfluss verschiedener P-Dünger auf den P-Umsatz in der mikrobiellen Biomasse im Boden und die damit verbundenen Konsequenzen für die P-Verfügbarkeit. Auf dem Standort in W (3 Schnitte pro Jahr) wählten wir dafür die folgenden drei P-Düngeverfahren aus: ohne P (P0), mineralisch (Pmin) und organisch (Porg). Während der Vegetationsperiode 2009 wurden die Böden und Pflanzen regelmässig beprobt. Die P-Verfügbarkeit wurde mit Anionenaustauschharzen gemessen (P_{res}). Das mikrobielle P (P_{mic}) wurde mit der gleichen Methode und einer simultanen Hexanolfumigation ohne Korrekturfaktor bestimmt. Wir fanden über alle drei Düngeverfahren einen einheitlichen Anstieg von P_{mic} nach dem Sommer- und Herbstschnitt, als die Pflanzenwachstumsrate niedrig war. Reduziertes P_{mic} und gleichzeitig erhöhtes P_{res} wurde nach Trockenperioden

beobachtet. Aus den gemessenen Fluktuationen von P_{mic} berechneten wir P_{mic}-Umsatz und P_{mic}-Flüsse. Die P-Umsatzrate der mikrobiellen Biomasse war in P0 tendenziell höher als in Pmin und Porg. Die P_{mic}-Flüsse durch die mikrobielle Biomasse und die mittleren P_{mic}-Vorräte im Boden waren zwei bis dreimal grösser als die P-Aufnahme durch die Pflanzen während der Vegetationsperiode 2009. Das Potenzial von $P_{mic,}$ während erhöhtem Pflanzen-P-Bedarf oder Trockenperioden verfügbares P zurückzuhalten, deutet auf eine Konkurrenz zwischen Pflanzen und Mikroben um das verfügbare P hin, besonders wenn dieses gering ist.

Pflanzen- und Bodenindikatoren sind wertvolle Werkzeuge für die Diagnose des P-Status im Dauergrasland. Mit den hier identifizierten Grenzwerten können Daten aus dem Feld nun verlässlich für die untersuchten P-Indikatoren interpretiert werden. Als Pflanzen-P-Indikator empfehlen wir den PNI in der Grasfraktion, unterstützt von weiteren Indikatoren, um eine Limitierung durch andere Nährstoffe auszuschliessen. Die Identifizierung der Boden-P-Versorgungsklassen wurde durch die Kombination von Ertrags- und Pflanzen-P-Indikatoren verbessert. In unseren Studien erwies sich P_{res} als der verlässlichste Bodenindikator für die P-Verfügbarkeit. Nichtsdestotrotz können die hier identifizierten Grenzwerte für P_{ox}, E_{1min}, P_{CO2} und P_{AAE} verwendet werden um die P-Verfügbarkeit des Bodens zu bestimmen. Während Pflanzenindikatoren den Grenzwert zwischen Mangel und ausreichender Versorgung besser beschreiben, sind die Bodenindikatoren für die Unterscheidung von ausreichender und übermässiger Versorgung zu bevorzugen. Deshalb schlagen wir eine Kombination beider Indikatoren für eine verlässliche P-Status-Diagnose im Grasland vor. Die starken Effekte von P_{mic} und den klimatischen Bedingungen auf die P-Verfügbarkeit unter Feldbedingungen sollten durch weitere Studien tiefergehend untersucht werden.