

**Growth and Phosphate Efficiency of
Grain Legumes and Barley under
Dryland Conditions in Northwest Syria**

Eckhard George

VERLAG ULRICH E. GRAUER · Wendlingen · 1993

Summary

Although soils in northwest Syria are usually low in plant available phosphate (P), in dryland agriculture response to P fertilization is inconsistent, in particular when P fertilizer is applied to legumes. In the present study, several experiments were carried out to describe the response of different plant species (chickpea [*Cicer arietinum* L.], faba bean [*Vicia faba* L.], lentil [*Lens culinaris* L.], and barley [*Hordeum vulgare* L.]) to P fertilization under varying rainfall conditions, and to determine the P efficiency of these species. Possible causes for differences in P efficiency among plant species were also examined.

Field experiments were conducted in northwest Syria at two research stations (Tel Hadya and Breda) of the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and on farmers fields. The soil types were at Tel Hadya vertic (calcic) Luvisols (Chromoxeretic or Vertic Rhodoxeralfs) and at Breda calcic Xerosols (Typic Calciorrhids). All soils were deep, calcareous, high in pH (pH [H₂O] > 8), and low in P (3-9 mg NaHCO₃-extractable P kg⁻¹ soil). Experiments were carried out during three seasons (1983/84 to 1985/86). Seasonal rainfall ranged from 204 mm to 373 mm. Local cultivars were used in all experiments. Plants were either not fertilized or P fertilizer (triple superphosphate) was applied in a band below the seed at rates of up to 90 kg P ha⁻¹. Barley received 50 or 60 kg N ha⁻¹ as urea. In some experiments, P fertilizer was applied in subsoil or as foliar spray, to increase late-season P uptake of plants. Shoot growth and seed yield were recorded in all experiments. Shoot concentration of P and other mineral elements, root growth, mycorrhizal colonization, biological nitrogen fixation, and soil water extraction (by neutron probe) were recorded in some of the experiments. In a pot experiment, partly sterilized soil was used to investigate effects of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on chickpea nutrient uptake.

On very low-P soil (<5 mg NaHCO₃-extractable P kg⁻¹), plants responded to P fertilization with increased shoot growth, but plant growth without P supply and response to P fertilization both depended strongly on seasonal rainfall. For example, at Tel Hadya seed yield of lentil was in the 1983/84 season (230 mm seasonal rainfall) 470 kg ha⁻¹ (unfertilized) and 490 kg ha⁻¹ (at supply of 30 kg P ha⁻¹), and in the 1984/85 season (373 mm) 690 kg ha⁻¹ (unfertilized) and 1050 kg ha⁻¹ (at supply of 30 kg P ha⁻¹). In years with higher rainfall, P fertilization increased root growth, shoot biomass, seed yield, and water use efficiency, but only slightly the quantity of water extracted from soil. Among the plant species used in this study, P uptake efficiency (quantity of P accumulated in shoots at maturity) declined in the order

barley > lentil > faba bean > chickpea. For example, at Tel Hadya in the 1984/85 season, total shoot P content (kg P ha^{-1}) of unfertilized plants was 4.08 in barley, 2.55 in lentil, and 1.31 in faba bean. Phosphate utilization efficiency (shoot dry matter produced per unit P concentration in shoots) declined in the order barley > lentil > chickpea > faba bean. Rates of P supply necessary for maximal growth were higher in legumes than in barley. Apparent P fertilizer recovery was below 10% in the year of application in all experiments, but second-year residual effects on plant growth and P uptake were almost as high as first-year effects. Irrespective of rainfall, critical P concentration (mg P g^{-1} dry weight) in plants indicating P deficiency was determined in fully expanded leaves at early reproductive growth as 1.5 (faba bean), 1.0 (lentil) and 0.5 (barley), and in mature seeds as 3.3 (faba bean) and 2.6 (lentil and barley). In pots, chickpea depended for P uptake on colonization by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, and root colonization with indigenous mycorrhizal fungi was high (>30%) in all crop species when grown in on-station or on-farm field experiments. In addition to P, among the other nutrients only nitrogen was at low supply at Tel Hadya or Breda.

Response of plant growth to P fertilizer is inconsistent in northwest Syria, because level of extractable P in soil, previous P applications, seasonal rainfall, the rate of P supply, and the plant species influence the response. Legumes did respond less to P fertilization than barley under dry conditions, because legumes (in particular chickpea and faba bean) were less cold tolerant than barley, acquired less soil or fertilizer P during winter from moist soil, and in consequence had a relatively higher P requirement later in the season than barley. However, the fertilized topsoil dried out in spring and thus the fertilizer was not longer available to plants, so that legumes remained P deficient despite P fertilization. High P efficiency of barley was not related to specific P deficiency-induced plant mechanisms, but to higher cold tolerance and early vigour (high early P uptake), high root length density in topsoil, and intense retranslocation of P within the plant. Legume cultivars with these traits will also have increased P efficiency compared to the present cultivars. In all plant species, high root colonization indicated that mycorrhizal fungi may be important for P uptake under these conditions, but no direct quantification of mycorrhizal contribution was possible for field-grown plants. Although legumes were less P efficient than barley in the short-term (one year) experiments of this study, these results do not indicate a minor importance of legumes for dryland farming on low-P soils. In a barley monoculture, yield and P efficiency declined compared to barley grown after lentil. Hence, in the long-term, incorporation of legumes into rotation will increase not only nitrogen sustainability but also P efficiency of rotations. This

study showed that both P fertilization and the use of P-efficient plant types are necessary to obtain under dryland conditions on low-P soils in northwest Syria adequate plant water use and yield. Phosphate efficiency of plant species was not adversely affected by P fertilization.

Zusammenfassung

Obwohl die meisten Böden im Nordwesten Syriens geringe Vorräte an pflanzenverfügbarem Phosphat (P) besitzen, ist der Ertragseffekt einer Phosphatdüngung nach bisherigen Erfahrungen sehr unterschiedlich. Insbesondere Leguminosen reagieren häufig nicht auf eine Phosphatgabe. In der vorliegenden Arbeit werden Versuche beschrieben, in denen die Wirkung einer Phosphatdüngung in verschiedenen Jahren und auf verschiedenen Standorten (unterschiedlicher Jahresniederschlag) untersucht wurde. Bei den Versuchen wurden lokale Sorten von vier verschiedenen Pflanzenarten (Kichererbse [*Cicer arietinum* L.], Ackerbohne [*Vicia faba* L.], Linse [*Lens culinaris* L.] und Gerste [*Hordeum vulgare* L.]) verwendet. Neben den Düngungseffekten sollte auch die Phosphateffizienz der einzelnen Pflanzenarten beschrieben werden sowie die physiologischen Grundlagen der Phosphateffizienz unter den örtlichen Bedingungen.

Die Versuche wurden in den Jahren 1983/84 bis 1985/86 durchgeführt. Die saisonalen Gesamtniederschläge lagen zwischen 204 mm und 373 mm. Die Versuche wurden vor allem auf zwei Versuchsstationen des ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), Tel Hadya und Breda, aber auch auf von Landwirten bewirtschafteten Feldern angelegt. Die Bodentypen sind in Tel Hadya vertic (calcic) Luvisols (Chromoxerertic bzw. Vertic Rhodoxeralfs) und in Breda calcic Xerosols (Typic Calciorthids). Alle Böden waren tiefgründig, kalkhaltig, hatten hohe pH-Werte ($\text{pH} [\text{H}_2\text{O}] > 8$) und niedrige Gehalte an NaHCO_3 -extrahierbarem P ($3\text{--}9 \text{ mg P kg}^{-1}$ Boden). Die Pflanzen wurden mit den in Syrien üblichen Methoden angebaut und entweder nicht oder mit Triplesuperphosphat gedüngt. In den meisten Versuchen wurde der Dünger (bis zu 90 kg P ha^{-1}) als Band unter den Samen plaziert ausgebracht, in einzelnen Versuchen zur Erhöhung der Phosphataufnahme spät in der Vegetationsperiode auch als Tiefdüngung oder Blattapplikation. Gerste wurde mit 60 kg N ha^{-1} als Harnstoff gedüngt. In allen Versuchen wurden Sproßwachstum und Samenertrag gemessen. In einigen Versuchen wurden außerdem Konzentrationen von

Mineralstoffen im Sproß, Wurzelwachstum, Mykorrhizierungsgrad der Wurzeln, biologische Stickstofffixierung (Azetylenmethode) und Bodenwassergehalte mit Hilfe von Neutronensonden bestimmt. Zusätzlich wurde in einem Topfversuch teilsterilisierter Boden verwendet, um den Effekt von vesikulär-arbuskulären Mykorrhizapilzen auf die Nährstoffaufnahme von Kichererbsen zu untersuchen.

Phosphatdüngung führte zu besserem Wachstum der Pflanzen und höherem Ertrag auf Böden, die sehr geringe Phosphatausgangsgelalte ($< 5 \text{ mg NaHCO}_3\text{-extrahierbares P kg}^{-1}$) hatten. Jedoch war die Reaktion auf Phosphatdüngung wie auch das Wachstum auf ungedüngtem Boden deutlich von der saisonalen Niederschlagsmenge abhängig. So war zum Beispiel in Tel Hadya der Samenertrag von Linsen in der Saison 1983/84 (230 mm Gesamtniederschlag) 470 kg ha^{-1} (ungedüngt) bzw. 490 kg ha^{-1} (gedüngt mit 30 kg P ha^{-1}), aber in der Saison 1984/85 (373 mm) 690 kg ha^{-1} (ungedüngt) bzw. 1050 kg ha^{-1} (gedüngt mit 30 kg P ha^{-1}). Im allgemeinen erhöhte Phosphatdüngung Sproß- und Wurzelwachstum, Samenertrag und Wassernutzungseffizienz vor allem unter ausreichenden Niederschlagsbedingungen. Die Gesamtwasseraufnahme aus dem Boden wurde dagegen durch Düngung nur unwesentlich verändert. Da aus bisherigen Versuchen keine Vergleichszahlen vorlagen, wurden kritische Werte für Phosphatkonzentrationen im Sproß (Minimalkonzentration für optimales Wachstum) ermittelt. Diese kritischen Werte (mg P g^{-1} Trockengewicht) betragen in voll ausgebildeten, symptomfreien Blättern in der Phase des frühen generativen Wachstums 1,5 (Ackerbohne), 1,0 (Linse) und 0,5 (Gerste) und in reifen Samen 3,3 (Ackerbohne) und 2,6 (Linse und Gerste). Die gegenüber ungedüngten Pflanzen zusätzlich aufgenommene Phosphatmenge in den Sproßen gedüngter Pflanzen war gering ($< 10\%$) im Vergleich zur Menge des gedüngten Phosphats. In einem Versuch wurde jedoch gezeigt, daß im zweiten Jahr nach einer Phosphatapplikation die Düngungseffekte fast so hoch sein können wie im vorhergehenden Jahr, so daß Phosphatdünger auf mediterranen Standorten eine sehr langfristige Wirkung haben können. Die

Phosphataufnahmeeffizienz (Gesamtmenge an P im Sproß bei der Reife) der Pflanzenarten nahm in der Reihenfolge Gerste > Linse > Ackerbohne > Kichererbse ab. Die Gesamtphosphatmenge im Sproß (kg P ha^{-1}) ungedüngter Pflanzen war zum Beispiel in Tel Hadya 1984/85 4,08 in Gerste, 2,55 in Linsen und 1,31 in Ackerbohnen. Die Phosphatnutzungseffizienz (Menge an Sproßtrockenmasse je Einheit Phosphatkonzentration im Sproß) nahm in der Reihenfolge Gerste > Linse > Kichererbse > Ackerbohne ab. Zum Erreichen des Höchstertages wurden bei Leguminosen höhere Phosphatgaben benötigt als bei Gerste. Neben P ist Stickstoff der einzige Nährstoff, der auf den getesteten Böden gering verfügbar ist. Alle Pflanzenarten waren im Feld intensiv (>30% der Wurzellänge) mit Mykorrhizapilzen infiziert, und die Phosphataufnahme von Kichererbse war im Topfversuch stark abhängig von einer Mykorrhizainfektion.

Die Untersuchungen ergaben, daß die Phosphatdüngungseffekte im Trockenfeldbau im Nordwesten Syriens deswegen so ungleichmäßig sind, weil nicht nur die extrahierbare Phosphatmenge des Bodens die Phosphatdüngungsbedürftigkeit beeinflusst, sondern auch die Höhe der Niederschläge, vorhergehende Phosphatdüngungsgaben, die Höhe der aktuellen Phosphatdüngung und die Pflanzenart. Die hier festgestellte geringere Phosphateffizienz der Leguminosen im Vergleich zu Gerste stand in Verbindung mit dem unterschiedlichen Zeitpunkt des höchsten Phosphatbedarfes. Gerste war kältetoleranter als die Leguminosen und konnte deshalb im Winter aus feuchtem Boden mehr P aufnehmen. Später im Jahr zum Zeitpunkt des raschen Leguminosenwachstums war die Phosphataufnahme aus dem Oberboden behindert durch die einsetzende Bodentrockenheit. Die höhere Phosphateffizienz der Gerste war nicht durch spezielle, phosphatmangel-induzierte Mechanismen verursacht, sondern war korreliert mit höherer Kältetoleranz, höheren Wurzellängendichten im Oberboden und intensiverer Umverlagerung von P aus alten Blättern in den Samen während der Reife. Erhöhte Phosphateffizienz von Leguminosen unter den lokalen Bedingungen wäre durch Genotypen mit diesen Eigenschaften zu erzielen. Die in einjährigen Versuchen festge-

stellte geringere Phosphateffizienz von Leguminosen im Vergleich zu Gerste ist kein Hinweis auf eine geringe Bedeutung der Leguminosen in der Landwirtschaft Nordsyriens. Wurde Gerste nach Gerste angebaut, sanken Phosphataufnahme und Erträge im Vergleich zu Gerste in einer Gersten-Linsen Fruchtfolge. Die in dieser Arbeit beschriebenen Versuche zeigen, daß sowohl Phosphatdüngung als auch die Verwendung phosphateffizienter Pflanzentypen die pflanzliche Wasserausnutzung und damit die Erträge im Trockenfeldbau Nordwestsyriens steigern können. Eine bedeutende Rolle der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza bei der Phosphataufnahme aller im Versuch verwendeten Pflanzenarten kann zwar aufgrund der Ergebnisse vermutet werden; ein direkter Test des Mykorrhizbeitrages im Feld konnte aber mit den hier verwendeten Techniken nicht durchgeführt werden.