

赤玉土を用いた数種マメ科植物の低リン耐性の比較とセスバニアの低リン耐性に及ぼす根系発達の影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	鬼頭,誠 松岡,寛之 近藤,葉子 内田,直次
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	80巻5号
巻号補足	
掲載ページ	p. 487-493
発行年月	2009年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



赤玉土を用いた数種マメ科植物の低リン耐性の比較とセスバニアの低リン耐性に及ぼす根系発達の影響*

鬼頭 誠^{1,2}・松岡寛之¹・近藤葉子¹・内田直次¹

キーワード 赤玉土, 根長, セスバニア, 低リン耐性, リン栄養

1. はじめに

食糧の生産性向上が必要な熱帯、亜熱帯を中心に広く分布する酸性土壌では、アルミニウムやマンガンの過剰、リンやカルシウムの欠乏などにより植物の生育が不良になる場合が多く、酸性土壌の改良は急務の課題といえる。さらに、高品質のリン鉱石の減少によるリン肥料の高価格化と欠乏が予測されており、リン欠乏が起こりやすい酸性土壌において、土壌改良および作物の生産性向上にとって深刻な問題と考えられている²⁾。

また、熱帯地域では、有機物の分解が早く、土壌有機物が少ないため有機態のリンも、炭素や窒素と同様、少ないとされており、バイオマスリンのターンオーバーによるリンの供給能も少なくなっているだけでなく、無機態リン酸はアルミニウム型や鉄型となり、多くの植物にとって不可給態である^{10,12)}。アルミニウムや鉄と強く結合したリンを多く含む酸性土壌においてリン吸収能が高く良好な生育を示す緑肥植物の利用は、有機物の給源として、また、各種肥料成分、とくにリンの可給化に有効な土壌改良手段といえる^{18,19)}。さらに、緑肥として広く利用されているマメ科植物にとってリン栄養の改善は、窒素固定能の増大による窒素の供給にも貢献することが考えられる¹⁴⁾。したがって、強い低リン耐性を有するマメ科植物の検索と利用は酸性土壌の改良による食糧生産の増進に結びつく重要な課題と考える。

低リン耐性植物の検索には厳密な管理をした養液栽培試験も考えられるが、培養液のpHや各種成分濃度、とくに形態別にリン酸を一定の濃度に保つことは煩雑かつ困難である。また、土壌を用いた試験では、土壌のpHやリン酸肥沃度をはじめとした化学性、根張りに影響する物理性などの特性が試験によって異なり、一概に比較することが困

難である。そこで、本報では赤玉土を用い、 Al^{3+} 過剰害の影響がない条件における低リン耐性植物の検索の可能性について、世界で広く栽培されているダイズ、難溶性の鉄型およびAl型リン酸を吸収することで低リン耐性が高いことが知られているキマメ^{1,16)}、 Al^{3+} が存在するときのみ有機酸を放出しAl耐性が高いことが知られているエビスグサ¹¹⁾ および低リン条件下において生育量やリン吸収能が高いことが示唆されているセスバニア^{9,13,22)} を用いて検討した。また、低リン耐性が強いことが明らかになっているキマメと同程度の強い低リン耐性が本報で示唆されたセスバニアの低リン耐性メカニズムについて根系発達の面から若干の調査を行った。

2. 実験材料および方法

1) 供試土壌

試験には表1に理化学性を示す市販の赤玉土を用いた。

2) 供試植物

試験には、ダイズ (*Glycine max*:品種 黒千石, 雪印種苗), キマメ (*Cajanus cajan*:品種 ハイピジョン, タキイ種苗), エビスグサ (*Cassia tora*) およびセスバニア (*Sesbania cannabina*:品種 田助, 雪印種苗) を用いた。

表1 供試土壌(赤玉土)の理化学性

pH	6.2
EC ($\times 10^{-3} S m^{-1}$)	1.2
全炭素 ($\times 10^{-3} kg kg^{-1}$)	16.0
全窒素 ($\times 10^{-3} kg kg^{-1}$)	1.0
C/N	16.0
アンモニア態窒素 ($\times 10^{-6} kg kg^{-1}$)	8.5
硝酸態窒素 ($\times 10^{-6} kg kg^{-1}$)	26.9
無機態窒素 ($\times 10^{-6} kg kg^{-1}$)	35.4
全リン酸 ($\times 10^{-6} kg kg^{-1}$)	1178.5
Ca型リン酸 ($\times 10^{-6} kg kg^{-1}$)	n.d.
Al型リン酸 ($\times 10^{-6} kg kg^{-1}$)	148.1
Fe型リン酸 ($\times 10^{-6} kg kg^{-1}$)	12.8
リン酸吸収係数 ($\times 10^{-3} kg kg^{-1}$)	22.6
交換性カリウム ($mol_e kg^{-1}$)	0.0039
交換性カルシウム ($mol_e kg^{-1}$)	0.0478
交換性マグネシウム ($mol_e kg^{-1}$)	0.0092
交換性ナトリウム ($mol_e kg^{-1}$)	0.0005
交換性アルミニウム ($mol_e kg^{-1}$)	n.d. a)
陽イオン交換容量 ($mol_e kg^{-1}$)	0.0698

a): 検出限界以下

* 本研究の1部は日本土壌肥科学会北海道大会において発表した。

¹ 神戸大学農学部 (657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

² 現在、琉球大学農学部 (903-0213 中頭郡西原町字千原1番地)

2007年9月6日受付・2009年6月5日受理

日本土壌肥科学雑誌 第80巻 第5号 p. 487~493 (2009)

3) 試験1 リン酸施肥量を異にした4種マメ科植物の栽培法と生育の調査法

0.25 g kg⁻¹ 相当量の窒素 (N) およびカリウム (K₂O) を尿素および塩化カリウムで混和した 900g の赤玉土にリン酸吸収係数の 0%, 1%, 5% および 10% 相当量のリン酸 (P₂O₅) を過リン酸石灰で 0 g, 0.23 g, 1.13 g および 2.26 g P₂O₅ 施肥して 1/10000a ポットに充填した。以下それぞれを 0% 区, 1% 区, 5% 区および 10% 区とする。なお, 根粒非着生マメ科植物のエビスグサの栽培試験には窒素施肥量を 2 倍量とした。

各処理区のポットには, 1996 年 4 月 15 日にダイズおよびキマメはポット当たり 5 粒, エビスグサおよびセスバニアはポット当たり 10 粒播種し, いずれも播種 3 週間後にポット当たり 1 個体とした。ダイズ, キマメ, エビスグサおよびセスバニアは, 神戸大学農学部内の無加温のガラス室内でそれぞれ 46 日, 60 日, 67 日および 53 日間栽培した。

栽培終了時には, アセチレン還元法による窒素固定能を調査した後, 地上部および地下部を 70℃ で 72 時間通風乾燥して乾物重を測定した。すなわち, 洗い出した地下部を 100 mL 容三角フラスコに入れ, ダブルゴム栓で密閉後, 100 mL L⁻¹ アセチレンとなるように空気とアセチレンガスを交換し, 25℃ で 1 時間反応させた後に生成したエチレンをガスクロマトグラフィー (藤原製作所, SENSOP GAS CHROMATOGRAPH GS-2) で定量した。なお, すべての処理区とも 5 連制で行い, 根粒菌は無接種とした。

4) 試験2 低リン条件下におけるダイズおよびセスバニアの根系発達の調査法

試験1と同様施肥して準備した 1% 区および 10% 区の赤玉土を 1/10000a ポットに充填し, 両処理区のポットには, 1997 年 5 月 19 日にダイズおよびセスバニアはポット当たり 10 粒播種し, いずれも播種 2 週間後にポット当たり 1 個体とし, 神戸大学農学部内の無加温のガラス室内で播種 45 日後の 7 月 3 日まで栽培した。なお, 根粒菌は無接種とした。

栽培終了時には, 地上部と地下部乾物重を葉部, 茎部, 根部および根粒部に分けて測定した。なお, すべての処理区とも 6 連制で行い, 地下部は乾燥重を測定する個体と根長を調査する個体にそれぞれ 3 個体を用いた。

根長の測定は, 根粒を取り除いた根部を約 2~3 cm に切断後 FAA (ホルムアルデヒド: 酢酸: 700 mL L⁻¹ エタノール = 1: 1: 18 (v:v)) に固定し, 総根長をルートスカナー

(Comair 社製) で測定した。

5) 成分分析法

地上部のリン含有率と 4 種マメ科植物の種子中リン含有量は, 乾式灰化後, 1: 30 (v: v) 硝酸に溶解してバナドモリブデン酸法で求めた⁵⁾。

また, 供試した赤玉土の理化学性および試験 1 の 0% 区から 10% 区に用意し, 作付けポットと同様に管理した無作付けポット土壌の播種 3 週間後における形態別リン酸含有率は以下の方法で測定した。すなわち, pH および EC は 1: 2.5⁶⁾, および 1: 5 水抽⁷⁾, 全炭素および窒素は元素分析装置 (パーキンエルマー社製, PE 2400 II)²³⁾, 無機態窒素はブレムナー法⁴⁾, 全リン酸は硝酸一過塩素酸分解後にバナドモリブデン酸法, 無機態リン酸は酢酸, フッ化アンモニウムおよび水酸化ナトリウム抽出後にモリブデン酸アンモニウム法で Ca 型, Al 型および Fe 型として定量した¹⁸⁾。リン酸吸収係数はリン酸アンモニウム法¹⁸⁾で, その他陽イオンは酢酸アンモニウム抽出後に原子吸光法 (パーキンエルマー社製, Model 3110) で Al イオンは ICP (島津製作所製, ICPS 1000 III) で測定した⁸⁾。

3. 実験結果

1) 供試した赤玉土の理化学性

表 1 に供試土壌の理化学性を示す。pH は 6.2 と弱酸性であるが, 交換性アルミニウムは検出されなかった。全炭素および全窒素含有率は比較的低く, 無機態リン酸の主体は不可給態の Al 型と Fe 型であり, 有効態とされる Ca 型リン酸は検出限界以下であった。なお, リン酸吸収係数は上限値に近い値であった。また, 表 2 に示す施肥 3 週間後の無作付けのポット土壌における各リン酸施肥区の全リン酸含有率は, 0% 区から 10% までリン酸施肥量の増加に伴い高まっていた。無機態リン酸も同様の傾向を示したが, Al 型リン酸含有率の増加がきわめて多く, 施肥リン酸の多くが Al 型で固定されたことが明らかであった。なお, Ca 型リン酸含有率は, 0% 区と 1% 区では検出されず, 10% 区において高い値を示した。

2) 供試した植物の種子重量および種子中リン含有量

供試マメ科植物の種子重量および種子中リン含有量は表 3 に示す。種子重はキマメで最も大きく, ついでダイズの順であり, エビスグサとセスバニアの種子重は小さかった。また, 種子中リン含有量はダイズで最も高く, ついでキマメの順であった。エビスグサとセスバニアの種子中リン含有量それらに比べて極めて低く, とくにセスバニアではダ

表 2 播種 3 週間後の土壌のリン酸含有量

処理区	全リン酸 ($\times 10^{-6}$ kg kg ⁻¹)	形態別無機態リン酸 ($\times 10^{-6}$ kg kg ⁻¹)		
		Ca 型	Al 型	Fe 型
0% 区	1271.8	n.d. ^{a)}	172.0	52.7
1% 区	1560.0	n.d.	338.8	108.4
5% 区	2602.2	15.4	947.2	176.2
10% 区	12484.0	105.9	1600.7	253.7

a): 検出限界以下

表3 供試マメ科植物の種子重量および種子中リン含有量

	乾物重 (g seed ⁻¹)	P 含有量 (μg seed ⁻¹)
ダイズ	0.092	585.2
セスバニア	0.014	17.5
キマメ	0.144	458.0
エビスグサ	0.021	93.3

イズの 1/30 以下であった。

3) リン酸施肥量を異にして栽培した 4 種マメ科植物の生育 (試験 1)

図 1 に 4 種マメ科植物の地上部および地下部生育量を示す。いずれのマメ科植物とも、リン酸施肥量の増加に伴い生育量が高まり、とくに 5% 区と 10% 区で生育量の急激な増大がみられた。

なお、0% 区における地上部および地下部生育量は、ダイズで最も高く、ついでキマメ>エビスグサ>セスバニアの順であったが、1% 区における生育量ではセスバニアで顕著に高く、ついでキマメ≒ダイズ>エビスグサの順であった。

4 種マメ科植物の内、根粒形成能のないエビスグサ以外の着生根粒重および窒素固定能は図 1 および表 4 に示す。ダイズとキマメでは 0% 区と 1% 区でほとんど根粒着生がなかったが、セスバニアでは 1% 区において根粒着生が認められた。また、5% 区と 10% 区においてもダイズとキマメに比べてセスバニアでは着生根粒重は大きく、地下部に占める割合も高かった。窒素固定能も、セスバニア以外、0% 区と 1% 区ではほとんど認められなかった。セスバニアも 0% 区では窒素固定能は認められなかったが、1% 区では 5% 区と 10% 区に比べて有意に低いものの他の 2 マメ科植物に比べて高い窒素固定能を示し、低リン耐性の強いことが示されているキマメに比べても著しく高い値であった。

なお、本試験では根粒菌の接種を行っておらず、着生根粒重および窒素固定能は、ダイズでは有意差がみられなかった。また、供試した赤玉土の 3 種マメ科植物の根粒菌密度は調査していないが、本試験での感染源である根粒菌密度が低かった可能性もある。

図 2 に 4 種マメ科植物の地上部リン含有率を示す。地上部リン含有率は、ダイズでは 0% 区から 10% 区まで、エビスグサでは 0% 区から 5% 区まで直線的に高まった。しかし、セスバニアおよびキマメの地上部リン含有率は、0% 区ではダイズおよびエビスグサの 0% 区と同程度に低い値であったが、1% 区におけるリン含有率は著しく高まり、ダイズおよびエビスグサの 1% 区に比べて顕著に高い値を示した。とくにキマメでは 1% 区から 10% 区の間には有意差がなく高いリン含有率であった。

なお、図 3 に示す 4 種マメ科植物の根部重と地上部リン

表4 3 種マメ科植物の窒素固定能

供試植物名	処理区	ARA
		(μmol C ₂ H ₄ h ⁻¹ pot ⁻¹)
ダイズ	0% 区	0.00 ^{a)} ± 0.00 ^{b)}
	1% 区	0.00 ± 0.00
	5% 区	7.25 ± 7.73
	10% 区	6.83 ± 7.81
	LSD (P<0.05)	8.25
セスバニア	0% 区	0.05 ± 0.08
	1% 区	8.98 ± 3.27
	5% 区	22.33 ± 4.84
	10% 区	12.01 ± 6.10
	LSD (P<0.05)	5.95
キマメ	0% 区	0.00 ± 0.00
	1% 区	0.24 ± 0.37
	5% 区	10.74 ± 2.53
	10% 区	8.04 ± 9.82
	LSD (P<0.05)	5.37

a) : 平均, b) : 標準偏差

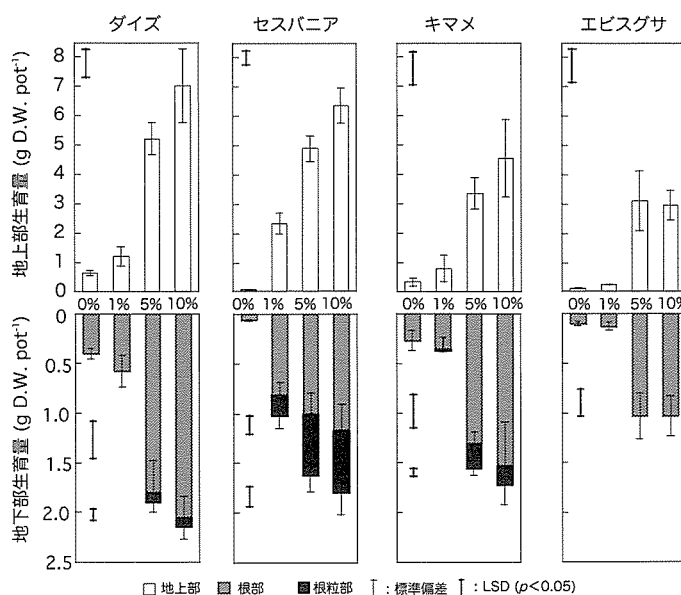


図1 リン酸施肥量を異にして赤玉土に栽培した 4 種マメ科植物の地上部および地下部生育量

含有率の相関はキマメでは明確ではなかったが、それ以外では高い正の相関がみられた。

また、4種マメ科植物の各区における種子中リン含有量と地上部の生育量およびリン含有率の相関を図4に示す。0%区では、種子中リン含有量と地上部生育量の間には有意な正の相関が認められ、地上部リン含有率との間にも正の高い相関が見られた。しかし、1%区~10%区では種子中リン含有量と地上部の生育量およびリン含有率の間には明確な相関はみられなかった。

4) 低リン条件下におけるダイズおよびセสบニアの根系発達 (試験2)

図5に、1%区および10%区におけるダイズおよびセสบニアの部位別の生育量と地上部リン含有率を示す。いずれの部位とも、10%区の生育量に対する1%区の生育量の低下度合は、ダイズに比べてセสบニアで顕著に小さかった。また、ダイズでは生育量の低下度合が地下部より

地上部で大きくなるが、セสบニアでは根部でやや大きくなる傾向が見られた。

本試験においても、同一リン酸施肥区間のリン含有率はダイズよりセสบニアで高く、とくに、10%区ではダイズよりセสบニアで著しく高かった。

図6に示すポット当たりの総根長は、10%区では両植物とも約150mとほぼ同様であったが、1%区ではセสบニアで有意に長く、ダイズの総根長の約2倍であった。

4. 考 察

1) リン酸施肥量を異にした赤玉土に栽培した4種マメ科植物の生育と低リン耐性の検索法 (試験1)

本試験では、リン酸施肥水準を異にした赤玉土を用いたマメ科植物の栽培試験を行い、低リン耐性植物の検索法を検討した。

生育量およびリン含有率は、ほとんどの場合、0%区から10%区まで高まったが、エビスグサの生育量とリン含有率は5%区まで、キマメのリン含有率は1%区まで高まったが、それ以上のリン酸施肥を高めても増加しないことが明らかになった。ダイズおよびセสบニアの生育量やリン含有率も1%区から5%区の増加度合に比べて5%区から10%区の増加度合は小さくなっていった。また、根粒着生と窒素固定能も、セสบニア以外、5%区と10%区で高まる傾向が認められた。これらのことから、10%区を十分量のリン酸施肥水準区と考えられる。

また、供試したマメ科植物のリン要求性は10%区のリン含有率からキマメ、セสบニア、エビスグサおよびダイズの順に高いといえる。しかし、リン含有率は植物のリン吸収能

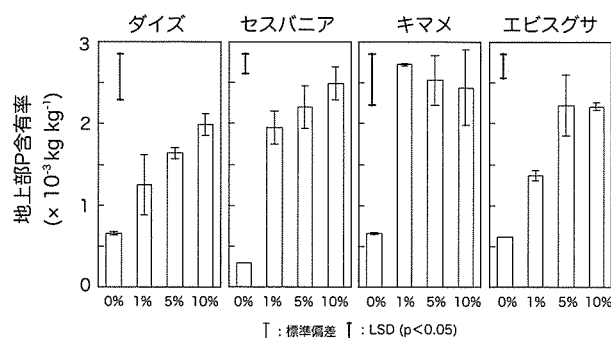


図2 リン酸施肥量を異にして赤玉土に栽培した4種マメ科植物の地上部リン含有率

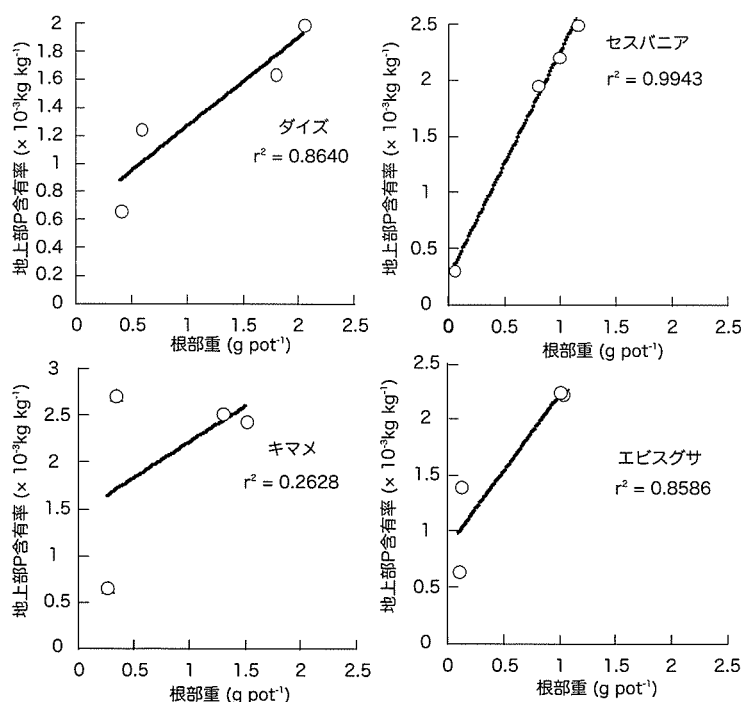


図3 リン酸施肥量を異にして赤玉土に栽培した4種マメ科植物の根部重と地上部リン含有率との相関

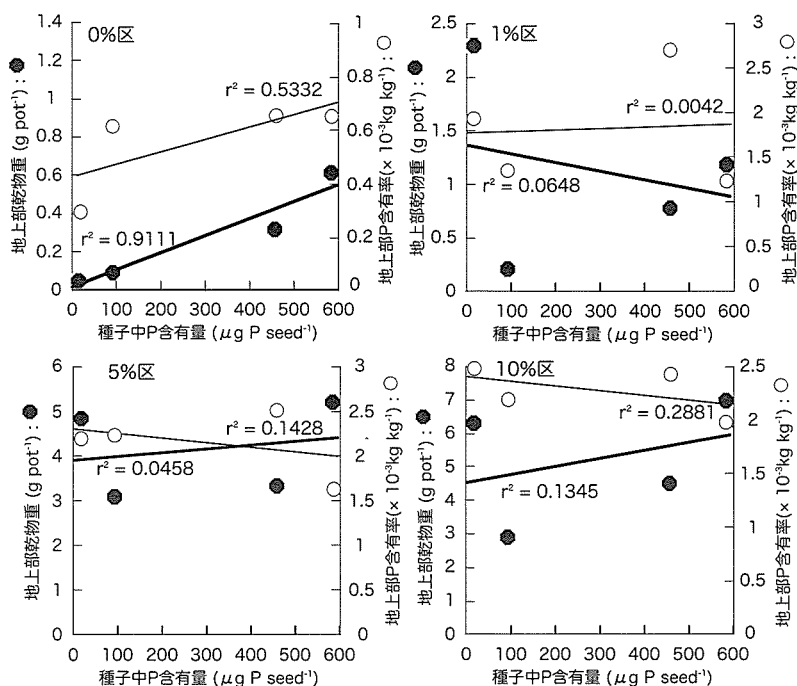
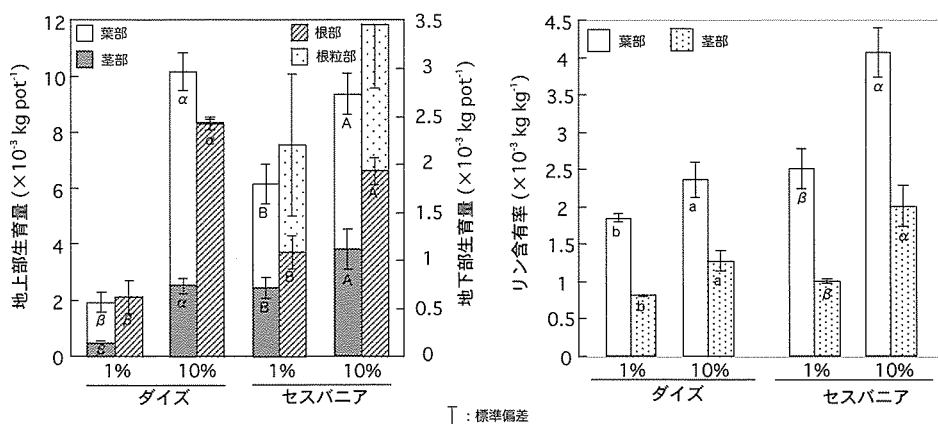
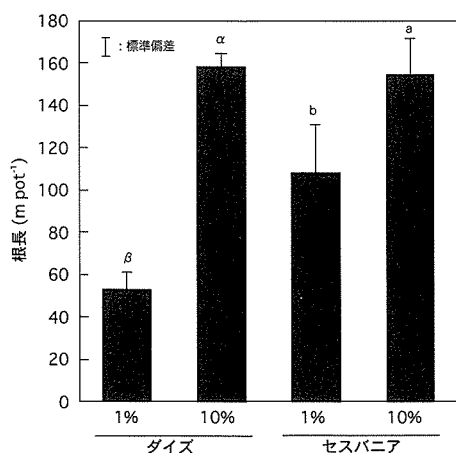


図4 リン酸施肥量別の種子中リン含有量と地上部生育量およびリン含有率との相関

図5 1%区および10%区におけるセスバニアおよびダイズの部位別の生育量および地上部のリン含有率
a, b, A, B, α , β 間にはそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意差有り (t-test)図6 1%区および10%区におけるセスバニアおよびダイズの根長
a, b, α , β 間にはそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意差有り (t-test)

の違いによっても異なることから、ダイズおよびエビスグサはリン要求性が低いこと、キマメおよびセスバニアはリン吸収能が高いことが低リン耐性に深く関わっていると考えられる。なお、根部重と地上部リン含有率の相関は、キマメでは低く、セスバニア、ダイズおよびエビスグサでは高かった。したがって、リン吸収能が高いことを示唆する報告があるセスバニアでは、有機酸放出による難溶性無機態リンの吸収特性を有することが報告されているキマメとは異なり、土壌中の僅かな有効態リン酸を吸収するために根系の発達に関わっている可能性がある^{1,9,13,16,17,22)}。

なお、供試した4種マメ科植物の0%区における地上部生育量は種子中のリン含有量に強く影響を受けていたが、1%区から10%区では影響がみられなかったことから、0%区以外は種子中リン含有量の違いによる影響は、本試験の栽培期間以上では極めて弱いと考えられる。したがっ

て、赤玉土を用いた低リン耐性の調査する際の低リン区には、種子中リン含有量が強く影響する0%区ではなく1%区とすることが適していると判断した。

また、エビスグサの1%区の生育量やリン含有率が大きく増大しなかったことから、有機酸の放出を促すほどの Al^{3+} が存在せず、赤玉土には植物に有害なアルミニウム濃度は無視できる程度と間接的に推察できる¹¹⁾。

これらのことから、本試験に供試した赤玉土はやや酸性であるが、アルミニウムイオン(Al^{3+})の影響がほとんどないことに加え、リン酸吸収係数が高く、施肥リン酸の多くが不可給態のアルミニウム型で固定される特徴があり、1%区と10%区の生育量やリン含有率を比較することで、植物の低リン耐性の調査に適したものであると考えられる。

2) 低リン条件におけるダイズとセスバニアの根長(試験2)

試験1で、セスバニアの根部生育量と地上部リン含有率の間にはキマメと異なり、高い相関が認められた。このことは、セスバニアがキマメのもつ有機酸放出による不可給態リン酸の吸収特性とは異なり、根系発達による吸収の場の拡大に優れている可能性を示すとも考えられる。事実、セスバニアではダイズより低リン区における生育量が試験1と同様に高まり、低リン耐性はダイズより強いことが示された。その原因に、セスバニアの低リン区における総根長の低下割合が少なく、土壤中において移動性の少ないリン酸を、セスバニアでは根系が土壤中に複雑に発達し効果的に吸収できる可能性が示唆された^{3,24)}。

以上のことから、赤玉土のリン酸吸収係数の10%程度の施肥を行うものを適量区、1%の施肥を行うものを欠乏区とすることで、赤玉土は低リン耐性植物の検索に有効な土壤であることが示唆された。ただし、種子中のリン含有量の違う各種植物の低リン耐性の調査は、栽培期間や土壤量によって異なる結果になることも考えられ、さらに詳細な調査が必要と思われる。

また、本試験でセスバニアは、キマメと同様の強い低リン耐性を有することが明らかになった。本試験の結果だけで、セスバニアの低リン耐性メカニズムを明確にすることはできないが、リン吸収能に根系発達も関わっている可能性が示唆された。

さらに、リン酸肥沃度の低い土壤における緑肥としての利用を考えた場合、リン吸収量は重要な要素である。リン要求性が高く、低リン酸条件下においてリン吸収能の高いセスバニアは、キマメと同様にリン酸肥沃度向上を目的とした緑肥として高い可能性を秘めていると思われる。

また、本試験では根粒菌を接種していないために明確ではないが、セスバニアでは他のマメ科植物より1%区における根粒着生と窒素固定能が高かった。固定窒素量はリン酸肥沃度と密接な関係があることは知られており¹⁴⁾、リン吸収能が高いことに加え、セスバニアの低リン酸条件下における高い窒素固定能は、このような環境下での緑肥とし

ての利用価値が高いことが考えられる。

5. 要 約

熱帯、亜熱帯を中心に広く分布しする酸性土壤において、作物生育の制限因子の1つにリン欠乏があり、低リン耐性植物の検索とその利用は重要な課題と考えられている。本研究では、 Al 耐性とは無関係に低リン耐性を有する植物を検索することを目的とし、数種マメ科植物の低リン耐性を Al 型でリンを固定する特性のある赤玉土を用いて評価した。

その結果、赤玉土のリン酸吸収係数の1%および10%相当量のリン酸施肥をした場合の生育量等を比較することで低リン耐性を評価することが可能であることが明らかになった。すなわち、リン酸吸収係数の1%相当量のリン酸施肥区において低リン耐性が高いことが知られているキマメの相対的生育量は、ダイズに比べて極めて高くなり、セスバニアはキマメと同様高い低リン耐性を有することが明らかになった。なお、リン酸無施肥で栽培した場合には、種子中のリン含有量が生育量を決定し、低リン耐性メカニズムの強弱を判断できないことが示された。

また、セスバニアの低リン条件下における根長はダイズのそれと比べて2倍程度高まり、セスバニアの強い低リン耐性に根系発達によるリン吸収の場の拡大が関わっている可能性が示唆された。

セスバニアの低リン耐性はキマメと同程度に強く、その耐性メカニズムについてさらに詳細な調査が必要であるとともに、酸性土壤における土壤改良を目的とした緑肥としての利用を検討する価値のある植物といえる。

文 献

- 1) Ae, N., Arihara, J., Okada, K., Yoshihara, T. and Johansen, C.: Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. *Science*. 248. 477~480 (1990)
- 2) 安藤淳平: リン資源の将来と我が国の進むべき方向, 土肥誌, 54.164~169 (1983)
- 3) Anuradha, M. and Narayanan, A.: Promotion of root elongation by phosphorus deficiency. *Plant Soil*. 136. 273~275 (1991)
- 4) 深山政治・井田 明・草野 秀・徳永美治・森 哲郎・赤塚 恵: 11.2 無機態窒素, 肥沃度測定のための土壌養分分析法, 土壌養分測定法委員会編, p.184~200, 養賢堂, 東京 (1970)
- 5) Hafner, H., George, E., Bationo, A. and Marschner, H.: Effect of crop residues on root growth and phosphorus acquisition of pearl millet in an acid sandy soil in Niger. *Plant Soil*, 150. 117~127 (1993)
- 6) 亀和田國彦: 1. pH (ガラス電極法), 土壌化学 (第V章), 土壌環境分析法, 土壌環境分析法編集委員会編, p.195~197, 博友社, 東京 (1997)
- 7) 亀和田國彦: 4. 電気伝導率 (EC), 土壌化学 (第V章), 土壌環境分析法, 土壌環境分析法編集委員会編, p.202~204, 博友社, 東京 (1997)
- 8) 亀和田國彦: A. 交換性陽イオン, 7. 交換性陽イオン・陰イオン,

- 土壤化学 (第 V 章), 土壤環境分析法, 土壤環境分析法編集委員会編, p.215~219, 博友社, 東京 (1997)
- 9) 鬼頭 誠：浄水ケーキ施用土壌におけるダイズおよびセスバニアの生育, 土肥誌, 70, 799~803 (1999)
 - 10) 河野憲治：土壌バイオマス形成とリンのフロー, 土肥誌, 67, 716~725 (1996)
 - 11) Ma, J. F., Zheng, S. J. and Matsumoto, H.: Specific secretion of citric acid induced by Al stress in *Cassia tora* L. *Plant Cell Physiol.*, 38, 1019~1025 (1997)
 - 12) 松口龍彦・鈴木達彦：高等植物と微生物 (I), 土の微生物, 土の微生物研究会編, p.191~194, 博友社, 東京 (1981)
 - 13) Mappaona, Yoshida, S. and Kitou M.: Difference of phosphorus response among tropical green manure legumes grown under limed and unlimed soil conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 41, 9~19 (1995)
 - 14) 松代平治：8.1.3 マメ科植物による共生と環境条件, 8. 野外での生物窒素固定, 生物窒素固定窒素, p. 217~221, 学会出版センター, 東京 (1980)
 - 15) Otani, T. and Ae N.: Sensitivity of phosphorus uptake to changes in root length and soil volum. *Agron. J.* 88, 371~375 (1996)
 - 16) Otani, T. and Ae N.: Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status, I. Screening of crops for efficient P uptake. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42, 155~163 (1996)
 - 17) Otani, T., Ae N. and Tanaka, H.: Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status, II. Significance of organic acids in root exudates of pigeonpea. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42, 553~560 (1996)
 - 18) 関谷宏三・志賀一一・三宅正紀：12. リン酸, 肥沃度測定のための土壌養分分析法, 土壌養分測定法委員会編, p. 225~257, 養賢堂, 東京 (1970)
 - 19) Subbarao, G. V., Ae, N. and Otani, T.: Genotype variation in iron-, and aluminium-phosphate solubilizing activity of pigeonpea root exudates under P deficient condition. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 43, 295~305 (1997)
 - 20) Subbarao, G. V., Ae, N. and Otani, T.: Genetic variation in acquisition, and utilization of phosphorus from iron-bound phosphorus in pigeonpea. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 43, 511~519 (1997)
 - 21) 田中 明・但野利秋・吉田志郎：Al-P 系水耕液における作物生育に対する pH の影響, 土肥誌, 52, 475~480 (1981)
 - 22) 田中啓文・吉澤直人・磯井俊行：セスバニア (*Sesbania rostrata*) によるリン酸アルミニウムからのリン酸の吸収と根からの有機酸の分泌, 名城大学総合研究所紀要, 4, 55~61. (1999)
 - 23) 山田 裕：C. 全自動元素分析装置, 8. 炭素：乾式燃焼法, 土壤化学 (第 8 章), 土壤環境分析法, 土壤環境分析法編集委員会編, p. 228~231, 博友社, 東京 (1997)
 - 24) 米山忠克・堀江秀樹・建部雅子・丹野文雄：植物の根量とリン吸収の関係, 土肥誌, 61, 328~385 (1990)

Comparison of low P tolerant leguminous plants using akadama soil, and effect of root development on low P tolerance of *Sesbania cannabina*

Makoto KITOU^{1,2}, Hiroyuki MATUOKA¹, Yoko KONNO¹ and Naotsugu UCHIDA¹

¹ Fac. Agric., Kobe Univ.,

² Fac. Agric., Ryukyu Univ.

Crop production in widely distributed acid soil in tropical and subtropical region is challenged due to less availability of some essential plant nutrients. Soil phosphorus (P) deficiency is a major limiting factor to increase crop production in acid soils where most of the P is bound into forms unavailable to plants. Therefore, selection and utilization of low phosphorus tolerant plants is worthwhile investment. Consequently, an investigation was undertaken to assess the low P tolerance potential of leguminous plants using akadama soil where P is bound with Aluminum.

Four phosphate absorption coefficient (PAC) levels (0%, 1%, 5% and 10%) were maintained using phosphate fertilizer in akadama soil to study the plant growth parameters of four leguminous plants (*Cajanus cajan*, *Glycine max*, *Cassia tora* and *Sesbania cannabina*). Relative growth parameters of *C. cajan* and *S. cannabina* showed high P tolerance in comparison with *G. max* and *C. tora*. In addition, the amount of plant growth response to low P tolerance cultivated under 0% PAC in akadama soil was not be able to evaluate due to the initial P content in the seed when planting, which was responsible for the growth showed under cultivated in absence of phosphate fertilizer.

The root length of *S. cannabina* under low P condition (1% PAC) was two times longer than that of the *G. max*. It can be suggested that the root system development in *S. cannabina* and its related P absorption ability may be closely associated with low P tolerance. Further detailed investigations should be carried out to understand the low P tolerance of *S. cannabina*, and its utilization as a green manure legume to improve acid soil properties.

Key words: Root length, *Sesbania*, Low P tolerance, P nutrition, akadama soil

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 80, 487-493, 2009)