

高冷地におけるベニバナインゲンの根の土壌中のリン溶解
機能と適切なリン養分施用量、ビニルマルチ有り無し条件
下におけるリン養分施用効果の特定

信州大学 農学部附属
アルプス圏フィールド科学教育研究センター
鈴木 香奈子

研究の背景・目的

長野県野辺山周辺のベニバナインゲンの栽培には多量の肥料が投入されている。このことは、土壌・水質の汚染を助長するものであり、環境に配慮した施用法が重要である。つまり、生産者のコスト削減も視野に入れた、環境負荷軽減型栽培手法の開発が必要である。環境負荷を軽減する栽培手法を開発するためには、ベニバナインゲンの根の養分吸収機能を明らかにする必要がある。ところが、既往の研究報告は見当たらない。そこで、本研究では、マメ科作物の窒素固定機能に影響を与えるリン養分に着目し、ベニバナインゲンの根が有する土壌リン溶解機能と適切なリン養分施用量の特定を行うことを目的とした。

また、野辺山周辺の農家はビニルマルチを用いてベニバナインゲンを栽培する。しかし、既往の研究によって、ビニルマルチ使用条件下では根粒が発達しないと報告されている(有馬 1986)。マメ科作物の窒素固定機能を活用できれば、窒素肥料の投入量を軽減できる可能性が高い。そこで、ビニルマルチ有り無しの条件下におけるリン養分施用が、ベニバナインゲンの窒素固定能力に及ぼす影響を特定することも本研究の目的とした。

実験方法

圃場試験

信州大学農学部が保有しているベニバナインゲンを供試し、2020年に信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター(AFC)野辺山ステーション内の圃場で栽培を行った。処理区として、リンを施肥しない区(0P区)、20kg/10a施肥した区(20P区)と黒色のビニルマルチで覆った区(マルチ有区)と覆っていない区(マルチ無区)の4処理区を設定し、各処理区とも3反復設置した。畝は横1.5m×縦10m、株間50cm、畝間1.6m、ビニルマルチ無区とビニルマルチ有区の間は2m、0P区と20P区の間は1mあけて行った。施肥については、有馬(1986)の報告をもとに、20P区ではリン含量として20kg/10aを過リン酸石灰で施用した。また、全処理区で窒素含量として10kg/10aを硫酸で、カリウム含量として10kg/10aを塩化カリウムで施用した。播種は6月9日に、1反復に42株となるように行った。発芽が確認できなかった部分には、補植を行った。収穫は、10月12日に開始し、10月27日に全採りした。収穫物は、未熟莢と完熟莢を分けて、どちらもビニルハウス内で乾燥させた。栽培期間中は、窒素の動きを見るため、各処理区の反復ごとに6個体選択し、第3葉位の葉色を測定した。第3葉位の3出複葉の全ての葉を計測し、平均値を葉色とした。生育調査は、7月27日、8月3日、8月11日、8月18日の4回行った。また、各処理区1個体のみ8月19日に地上部を刈り取り、40cmの深さから地下部を掘り起こした。地上部は乾物重を測定した。地下部は、根の乾物重と根粒の数と根粒の乾物重も測定した。栽培後の収穫物は精選し、莢の重量と種子の重量を測定した。さらに、長さが15-20cmの中庸な大きさの莢を反復ごとに50莢選抜し、その一つ一つについて莢重量、種子数、種子重量を測定した。精選は、松永(2017)の基準をもとに、精選種子と不良種子(割れマメ、未熟マメ、カビマメ、虫害マメ、着色不良マメ、しわマメ、発芽マメ)に分けた。

ポット試験①

異なる系統のベニバナインゲンが異なる土壌に対する反応を知るためにポット試験①を行った。種子は信州大学農学部附属 AFC 野辺山ステーションに保存されている、ベニバナインゲン、山花豆、白花豆、黒花豆の 4 系統とアズキ (*Vigna angularis*) のほくと大納言の計 5 つを供試し、信州大学農学部附属 AFC 野辺山ステーションのビニルハウス内でポット栽培を行った。使用した土壌は川上村にある長野県の圃場試験場の黄色土、信州大学農学部附属 AFC 野辺山ステーションの黒ボク土、バーミキュライト(エス・ケーアグリ、群馬)の 3 つを用いた。使用した黄色土と黒ボク土の化学的特性を表 1 に示した。各処理区ともに 4 反復設置した。施肥は窒素 15mg/kg、カリウム 50mg/kg、マグネシウム 30mg/kg、銅 5mg/kg、亜鉛 5mg/kg、マンガン 10mg/kg、モリブデン 5mg/kg を水溶液で行った。灌水は純水を用いて圃場容水量の約 60%になるように行った。

表1 使用した黄色土と黒ボク土の化学的特性

土壌	採取深さ (cm)	pH (H ₂ O)	硝酸態窒素 (mg/kg)	アンモニア態窒素 (mg/kg)	有効態リン酸 (mg/kg)	交換性カリウム (mg/kg)	リン吸収係数
黄色土	0-15	6.8	15	22	679	1416	1569
黒ボク土	0-15	6.2-6.4	22-33	21-36	100-170	650-770	1750-1890

栽培期間中は植物体の草丈、葉数を指標として生育状況を調査した。葉数は 3 出複葉で 1 枚とした。生育調査は 9 月 10 日、9 月 17 日、9 月 24 日、9 月 29 日、10 月 6 日、10 月 13 日の 6 回実施した。栽培後は地上部と地下部に分け、それぞれの乾物重を測定した。また根を洗い出した後、根粒の数とその乾物重を測定した。また、栽培後に根圏土壌を採取し、pH を測定した。

ポット試験②

必要最低限のリン施用量を特定するために、このポット試験を実施した。種子は信州大学農学部附属 AFC 野辺山ステーションに保存されているベニバナインゲンを用いて、同ステーション内のビニルハウスでポット栽培を行った。土壌はバーミキュライト(エス・ケーアグリ、群馬)を使用した。施肥は、窒素 15mg/kg、カリウム 50mg/kg、マグネシウム 30mg/kg、銅 5mg/kg、亜鉛 5mg/kg、マンガン 10mg/kg、モリブデン 5mg/kg を水溶液で行った。それに加えて、リンを 0mg/kg、20mg/kg、40mg/kg、60mg/kg、80mg/kg、120mg/kg、240mg/kg と異なる濃度で施肥した。それぞれの濃度につき 4 反復設置した。調査項目はポット試験①と同様である。

水耕栽培

根分泌物の存在を確かめるために、短期間で水耕栽培を行った。種子は AFC 野辺山ステーションに保存されている、ベニバナインゲン、山花豆、白花豆、黒花豆の 4 系統を供試し、同ステーション内の室内温室で行った。播種は別途行い、播種後 1 ヶ月の幼植物体を用いた。施肥はせずに脱イオン水のみで栽培を行った。系統ごとに 3 反復設置し、試験は全部で 2 回行った。

試験開始前に脱イオン水の pH を測定・確認し、7 日後にもう一度、植物体が浸かっていた脱イオン水の pH を測定した。

結果および考察

圃場試験

圃場試験における第 3 葉 SPAD 値の調査は、播種後第 7 週目 (7 月 27 日) からであったが、一部のベニバナインゲンの開花は第 6 週目から始まっていた (図 1)。このことから、葉色調査期間中に開花から種子形成にかけて、窒素養分の動きを見ることができたと考えられる。

開花が旺盛だった 7 月後半から 8 月前半までは全処理区において、葉色は高くなる傾向を示した。特に、20P マルチ有区では他の処理区よりも高い傾向を示した。ところが、8 月中旬にかけて 20P 区では徐々に低下した。一方、0P 区で有意に高くなった。この結果から、リン施用をしている場合は、無施肥よりも早く窒素養分が種子の形成に利用され始めることが推察できた。

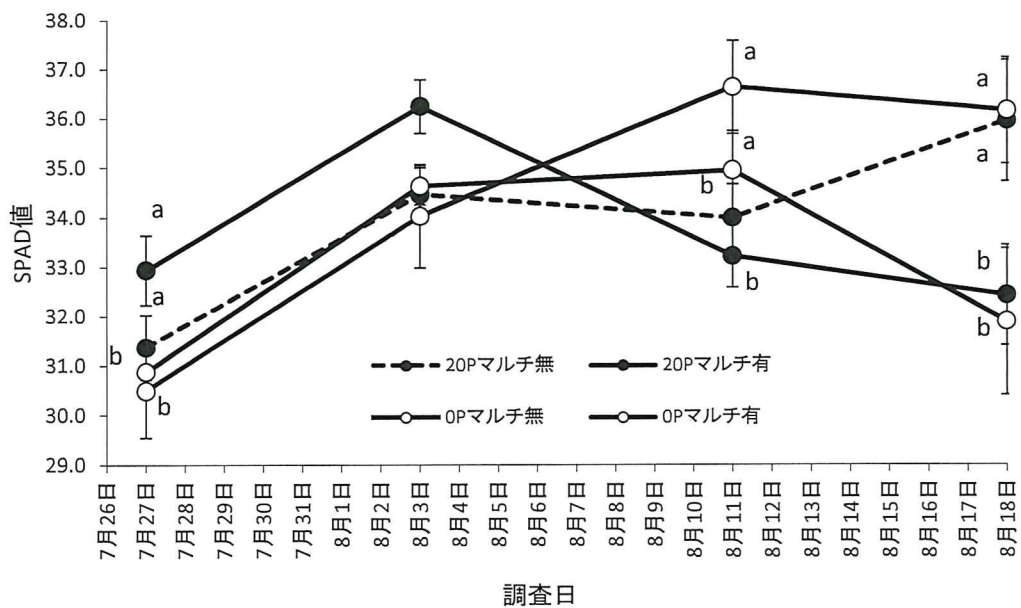


図1 処理区別の第3葉SPAD値

図中の垂直棒は標準誤差を示す。異文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)。

マルチ有区における子実収量は、マルチ無区と比べて有意に高かった。1 粒重については、マルチ有区と無区で有意差がなかった。ここから、子実収量がマルチ有区で高い値を示したことは、種子数が多かったからであると推察できる。マルチ有区で子実収量が高くなったことから、これはビニルマルチの使用により、根粒が多く着生し、地上部のバイオマスが増大したこと、地下部が発達したことなどによると考えられる。ダイズの場合では、地上部乾物重と根粒重は正の相関関係にあると報告されている (田中 1982)。また、ダイズにおいて根粒の着生が増大すると、子実タンパク生産効率が高まる可能性があるという報告もある (串崎ら 1964)。

ゆえに、ビニルマルチ利用は子実収量向上だけでなく、根粒着生により、子実タンパク量も増え、子実の質向上にも貢献できる可能性がある。

表 2 処理区別の反復あたりの子実収量

	0P	マルチの影響	20P	マルチの影響	施用間差	相互作用
	(g/反復)		(g/反復)			
マルチ無	6495.5 (761.1)	b	5516.9 (368.7)	b	ns	ns
マルチ有	7920.2 (245.9)	a	7242.7 (396.7)	a	ns	

異文字間に5%水準で有意差あり (Tukey法)。

nsは区間で有意差がないことを示す。

0内は標準誤差を示す。

表 3 処理区別の 1 粒重の平均重量

	0P	マルチの影響	20P	マルチの影響	施用間差	相互作用
	(g/粒)		(g/粒)			
マルチ無	3.61 (0.04)	ns	3.69 (0.04)	ns	ns	ns
マルチ有	3.63 (0.03)	ns	3.57 (0.04)	ns	ns	

nsは区間で有意差がないことを示す。

0内は標準誤差を示す。

ポット試験①

白花豆、黒花豆、ほくと大納言の地上部乾物重は、黄色土において他の土壌と比べ、有意に高い値を示した(図 2)。ベニバナインゲンと山花豆の場合は有意な差は認められなかった。つまり、ベニバナインゲンの栽培には黒ボク土、白花豆と黒花豆には黄色土が適していると推察できた。白花豆と黒花豆のベニバナインゲンが黄色土で良好な生育状態を示した要因は、黄色土の高い有効態リン酸含量であったと考える。表 1 に黒ボク土と黄色土の化学的性質を示したが、黄色土は黒ボク土よりも有効態リン酸含量が高かった(表1)。他方、ベニバナインゲンが黒ボク土で旺盛な生育を示したのは、自身で土壌に固定されたリン酸を溶解・吸収できていたからと考えられる。表1より、黒ボク土のリン吸収係数は黄色土よりも高い。有効態リン酸含量は黄色土の方が高かったものの、黒ボク土の場合は土壌に固定されたリン養分が多いことが示唆された。従って、ベニバナインゲンはこの固定されたリン養分を利用できると考えられた。山花豆については傾向が捉えられず、今後の調査が必要であると考えている。また、アズキのほくと大納言は黄色土における旺盛な生育を示したことから、白花豆や黒花豆同様に高い有効態リン酸含量に反応したものと考えられた。

キマメはピシジン酸を根から分泌し、鉄およびアルミニウムに結合した難溶解性リンを溶解・吸収する機構を有していると報告されている(大谷ら 1999)。また、ササゲ(Jemo et al. 2007)、ダイズやアルファルファ(Aguilar & Van Diest 1981)、ルーピン(Gardner et al. 1983; Johnson et al. 1996)などのマメ科作物もまた低リン土壌下で根から有機酸を分泌し、土壌に固定されたリン養分を獲得・利用できることが報告されている。ポット試験①の結果より、ベニバナインゲンは、キマメなどと同様のリン溶解機能を有すると考えられた。

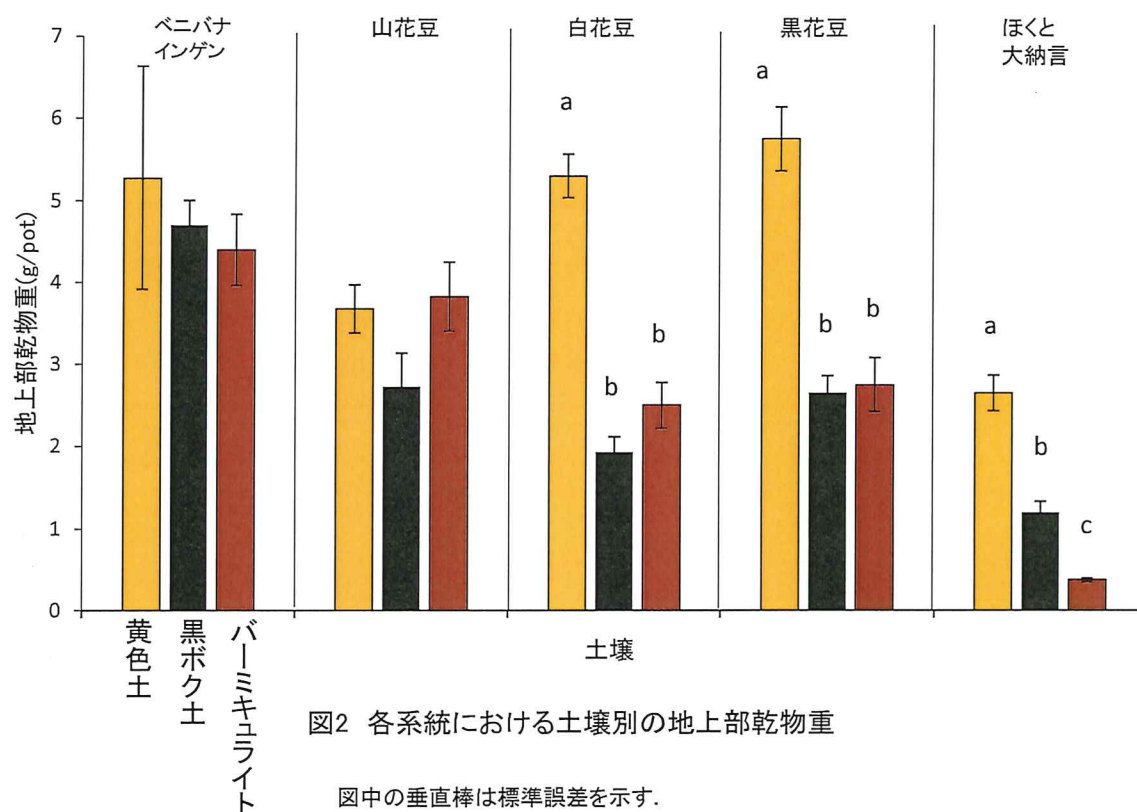


図2 各系統における土壌別の地上部乾物重

図中の垂直棒は標準誤差を示す。
異文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)。

ポット試験②

地上部乾物重は40P区、60P区で最大になる傾向があった。地下部乾物重は60P区において240P区と比べ、有意に高くなった(図3A)。ここでも60P区で最大になる地上部と同様の傾向が認められた(図3B)。根粒数も処理区間で有意差は認められなかったものの、60P区で最大になる同様の傾向が認められた(図3C)。根粒乾物重も処理区間で有意差は認められなかったものの、60P区で最大になる同様の傾向が認められた(図3D)。

ササゲでは、リン鉱石施用の場合であるが、リン含量として57 mg/kg以上の施用区では地上部の乾物重量やリン吸収量が高くないといった、本試験結果と類似した報告がある(Suzuki et al. 2018)。ベニバナインゲンにおいても、リン施用量40-60 mg/kgの間に必要最小限なリン施肥量の値があるのではないかと考えられた。

水耕栽培

ベニバナインゲン、白花豆、黒花豆において栽培前と比べ、有意にpHが低下していた(表4)。山花豆では有意差は認められなかったが、低くなる傾向が認められた。この結果より、ベニバナインゲン、山花豆、白花豆、黒花豆の4系統も有機酸を分泌している可能性を示している。今後は、分泌物についても更に調査していく必要性があると考えている。

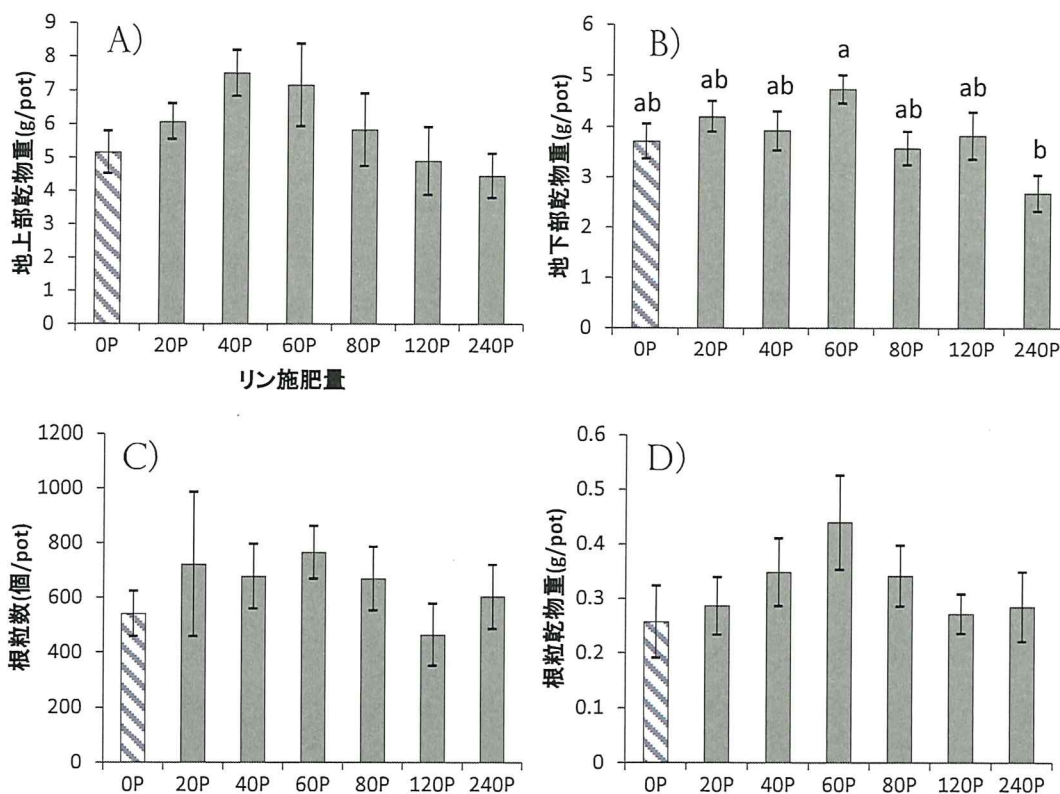


図3 リン施肥量別の地上部乾物重(A)、地下部乾物重(B)、根粒数(C)、根粒乾物重(D)

図中の垂直棒は標準誤差を示す。異文字間に5%水準で有意差あり。

表4 栽培前後のpH

	栽培前	栽培後
ベニバナインゲン	7.05 (0.19)	5.40 (0.03) **
山花豆	6.44 (0.18)	6.04 (0.12)
白花豆	5.95 (0.06)	5.35 (0.03) **
黒花豆	6.18 (0.10)	5.81 (0.10) *

**は1%で、*は5%水準で有意差あり(Tukey法)。()内は標準誤差を示す。

結論

ビニルマルチを使用することで、初期生育が向上、莢数が増加し、子実収量が増加することが明らかになった。ポット試験①の結果から、白花豆と黒花豆、アズキのほくと大納言は、有効態リン酸含量に高い反応を示すことが分かった。ベニバナインゲンはリン酸吸収係数の高い黒ボク土で良好な生育を示すことから、自身で土壤に固定されたリン養分を獲得・利用できる可能性があることが分かった。山花豆については、リン吸収の傾向を捉えることができなかった。ポット試験②の結果から、最小限必要なリンの量がリン含量として60mg/kgであることが分かった。水耕栽培の結果からベニバナインゲン、山花豆、白花豆、黒花豆の4系統は、根から有機酸を分泌している可能性があることが分かった。

今後は、より詳細に最小限必要なリン施用量を特定していくこと、また、分泌物についても調査が必要であると考えている。

謝辞

本研究遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人タカノ農芸化学研究助成財団に深く感謝申し上げます。報告者の高冷地生物生産管理学研究室の英健太氏の卒業論文の成果として発表することができました。現在（2021年5月）、2021年度の卒業論文の成果にも繋げていくために、2度目の栽培試験を開始しております。貴財団の支援によって、ベニバナインゲンの研究基盤を造ることが出来ました。心より重ねて御礼申し上げます。

引用文献

- Aguilar, A.S., Van Diest, A. (1981) Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant and Soil*, 61:27-42.
- 有馬博 (1986) ベニバナインゲンの栽培方法. 信州大学農学部農場報告. 4:1-11.
- Gardner, W.K., Barber, D.A., Parbery, D.G. (1983) The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. *Plant and Soil*, 70:107-124.
- Jemo, M., Abaidoo, R.C., Nolte, C., Horst, W.J. (2007) Aluminum resistance of cowpea as affected by phosphorus-deficiency stress. *Journal of Plant Physiology*, 164:442-451.
- Johnson, J.F., Allan, D.L., Vance, C.P., Weiblen, G. (1996) Root carbon dioxide fixation by phosphorus-deficient *Lupinus albus*, contribution to organic acid exudation by proteoid roots. *Plant Physiology*, 112:19-30.
- 串崎光男、石塚潤爾、赤松房江 (1964) 大豆の栄養生理学的研究 (第2報): 根粒の着生が大豆の窒素成分組成に及ぼす影響. 日本土壤肥料学会. 35(9):323-327.
- 大谷卓、阿江教治、山縣真人 (1999) 黒ボク土中のリン酸に対するキマメおよびラッカセイの特異的吸収・利用機構. 農業環境技術研究所報告. 17:15-123.
- Suzuki, K., Fatokun, C., Boukar, O. (2018) Responses of cowpea genotypes to indigenous rock phosphate application. *Agronomy Journal*, 110:1-14.
- 田中伸幸、吉田昭 (1982) 大豆の生育初期における土壤水分と根粒着生. 山形県立農業試験場研究報告. 151-159.