

# 土壌理化学性の改善による麦跡作付地帯での大豆多収栽培体系の確立

- 現地の土壌理化学性から見た大豆の多収のための要因とその改善法 -

坪内 均<sup>1</sup>・斉藤正志<sup>2</sup>

## Soil Properties of the Soybean Fields in [paddy rice – barley – soybean – paddy rice] Rotation System, and its Amelioration with Lime or Micronutrients Fertilizer

Hitoshi TSUBOUCHI<sup>1</sup>, Masashi SAITO<sup>2</sup>

土壌中の石灰量は土壌の pH と密接に関わっており、大豆の収量に影響を及ぼしている。土壌の pH が高い圃場ほど開花期のアセチレン還元活性が高くなっており、収量も高い。また、苦土石灰や可溶性のケイ酸石灰およびモリブデン入微量元素資材の施用により収量が高まることが示されたが、微量元素資材の施用に先だって土壌の pH を改善することが必要である。

キーワード：石灰含有量,アセチレン還元活性,大豆収量

Key words: lime content, acetylene reducing activity, soybean yield

### はじめに

90 年以降麦跡大豆の収量の低下が見られる中で、大豆作りに取り組む農家の経営を安定させるためには、多収が可能な土壌管理技術や栽培技術を確立しなければならない。

一方、土壌機能モニタリング調査の結果によると 90 年以降土壌の pH 低下が見られ、これと大豆収量の減少との関連を明らかにするとともに、その対策を講ずる必要がある。

そこで、2007～2009 年の 3 か年にわたり圃場調査に基づき、土壌の理化学性と大豆収量との関連をモリブデン等の微量元素と根粒のアセチレン還元活性を中心に調査した。さらに、石灰資材および微量元素資材の施用による大豆収量の向上策を検討した。

### 方法

1) 福井、坂井、丹南地区の水田転作の普通栽培大豆圃場 25 か所の調査を行い、作付け前後の土壌の pH、塩基飽和度、可給態の微量元素等を測定した。可給態の微量元素は EC 測定後の土壌溶液 (1:5) をろ過後硝酸分解し、原子吸光度法(Z-2010, 日立ハイテクノロジーズ) または誘導結合プラズマ発光分析法 (Iris Intrepid II, Thermo Scientific) により測定した。

2) 7 月下旬から 8 月上旬の開花期の大豆根粒を採取し、ガスクロ法(GC-2014/FID, 島津製作所)によりアセチレン還元活性測定を行い、窒素固定活性の評価を行い、収量との関連を調査した。

3) 石灰量の異なる 2 圃場において石膏、苦土石灰等の石灰資材および微量元素資材の施用試験を行った。試験区は 2 連とし、硫酸石灰(石膏)、炭酸苦土石灰(苦土)は 100kg/10a, 200kg/10a の 2 水準とし、水溶性ケイ酸カルシウム(ケイカル)は 100kg/10a, 微量元素肥料は 3kg/10a とした。微量元素肥料はく溶性ホウ素 24%, く溶性苦土 10%, モリブデン 0.74%を含んでいた。資材

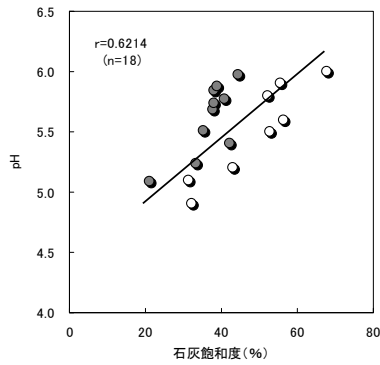
<sup>1</sup> 福井県農業試験場

<sup>2</sup> 福井県立大学生物資源開発研究センター  
(前福井県農業試験場)

の施用および大豆の播種は 6 月上旬, 収穫は 10 月中旬であった。

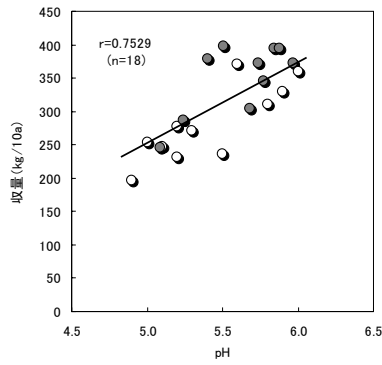
## 結果

1) 調査圃場の中で生育初期の湿害や生育後半の倒伏に



第 1-1 図 土壌の石灰飽和度と pH の関係  
○2007 年 ●2008 年

よって収量の低下した圃場を除いた 18 圃場では, 作土中の石灰飽和度 (石灰含有量) と pH の間には正の相関が見られ, 石灰飽和度が低く pH の低い圃場では大豆の収量が低下する傾向が見られた (第 1 図). 90 年代以降の水田の平均的な pH である 5.6 以下では石灰飽和度が低く, 収量の低い圃場の割合が高くなる傾向が見られた。



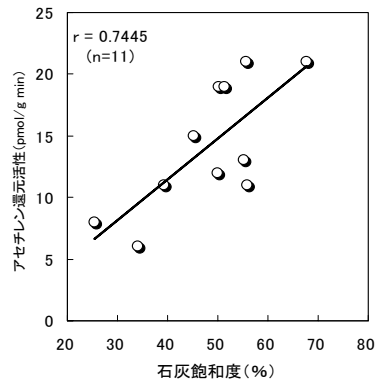
第 1-2 図 土壌の pH と大豆の収量  
○2007 年 ●2008 年

2) 土壌の石灰飽和度 (石灰量) と開花期 (7 月下旬から 8 月上旬) の根粒のアセチレン還元活性間には正の相関が見られた。また, アセチレン還元活性と大豆収量の間正の相関が見られた (第 2 図)。

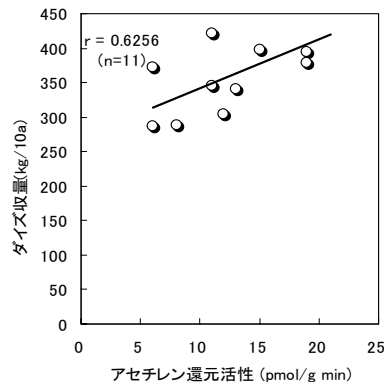
3) 調査圃場において土壌の pH が 5 から 6 と高くなるに

つれて水溶性モリブデンが増加する傾向が認められた (第 3 図)。

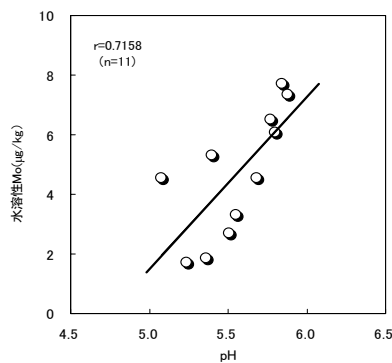
4) 資材試験圃場は両圃場とも中粗粒灰色低地土にも石灰および苦土の量が異なった (第 1 表)。両圃場の全モリブデン含有量は 0.02 および 0.09mg/kg であった。



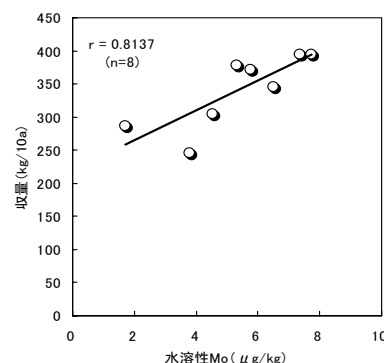
第 2-1 図 土壌の石灰飽和度と根粒のアセチレン還元活性 (2008 年)



第 2-2 図 根粒のアセチレン還元活性とダイズの収量 (2008 年)



第 3-1 図 土壌の pH と水溶性モリブデン量 (2008 年)



第 3-2 図 土壌中の水溶性 Mo とダイズ収量 (2008 年)

第 1 表 資材試験前の土壤の理化学性(2009 年, 大麦跡)

圃場	pH	塩基(mg/100g)			CEC	塩基飽和度	石灰飽和度	石灰苦土比	全炭素(%)	全窒素(%)
		石灰	苦土	カリ						
低石灰圃場	5.2	100	26	16	15.0	36%	25%	2.8	2.87	0.21
中石灰圃場	6.1	201	41	13	13.9	74%	57%	3.5	1.86	0.15

低石灰圃場は CEC が 15 と小さく塩基飽和度が 36% と低かったが、苦土石灰を 200kg/10a 施用したことによって 62% に上昇した。

中石灰圃場では苦土石灰を 200kg/10a 施用したところ、塩基飽和度は 100% を超えた(第 2 表)。

第 2 表 資材施用後の理化学性の変化(2009 年)

圃場	資材量(kg/10a)	pH		石灰(mg/100g)		苦土(mg/100g)		石灰苦土比(me)		塩基飽和度(%)	
		6/15	7/28	6/15	7/28	6/15	7/28	6/15	7/28	6/15	7/28
		低石灰圃場	石膏 100	4.6	4.9	137	111	17	28	5.6	2.8
(全 Mo=90µg/kg)	石膏 200	5.1	4.9	158	120	20	27	5.8	3.2	50	40
	苦石 100	5.4	5.2	173	123	35	41	3.5	2.1	56	46
	苦石 200	5.7	5.7	190	156	39	64	3.5	1.7	62	62
	ケイカル 100	4.8	5.1	120	147	21	35	4.1	2.4	40	43
	MoHB 3	4.9	5.1	111	128	19	33	4.3	2.5	38	42
	無施用	4.8	5.1	110	122	19	30	4.3	2.7	37	40
中石灰圃場	石膏 100	5.5	5.4	222	194	42	36	3.8	3.9	79	68
(全 Mo=24µg/kg)	石膏 200	5.4	5.2	242	202	44	34	4.0	4.3	79	66
	苦石 100	6.3	6.1	245	224	66	58	2.6	2.8	88	79
	苦石 200	7.0	6.2	322	239	100	65	2.3	2.6	117	84
	ケイカル 100	6.3	5.5	202	182	39	34	3.7	3.9	77	71
	MoHB 3	5.7	5.4	199	189	42	35	3.4	3.8	67	62
	無施用	5.7	5.6	200	182	42	37	3.4	3.6	69	64

苦石: 苦土石灰, MoHB: モリブデン入微量元素材

5) 石灰資材の大豆収量に及ぼす効果は苦土石灰 > 水溶性ケイカル > 石膏 = モリブデン入り微量元素材の順となり、施用により開花期のアセチレン還元活性(ARA) が高まり、収量が増加した(第 3 表)。

6) 大豆収穫後、土壤の pH や塩基飽和度は資材施用時よりも低下し、全炭素および全窒素も低下していた(第 4 表)。

第 3 表 資材試験におけるダイズの生育収量(2009 年)

圃場	資材量(kg/10a)	主茎長(cm)		葉 TN(%)	葉 C/N 比	葉 Mo(mg/kg)	ARA(pmol/g min)	収量(比率)(kg/10a)	大粒率(%)
		8/20	7/28						
低石灰圃場	石膏 100	58	2.7	15.6	0.15	8.0	221(89)	31.1	
	石膏 200	53	3.0	14.2	0.11	9.2	248(100)	44.3	
	苦石 100	51	2.6	16.6	0.20	8.0	271(109)	51.1	
	苦石 200	53	2.8	15.5	0.17	3.7	257(104)	46.4	
	ケイカル 100	45	2.8	15.5	0.25	6.2	232(94)	26.0	
	MoHB 3	50	2.5	17.5	0.19	5.3	264(106)	18.6	
	無施用	-	-	-	-	-	248(100)	29.8	
中石灰圃場	石膏 100	54	4.2	11.0	0.12	8.8	333(121)	74.4	
	石膏 200	60	4.0	11.1	0.18	7.0	341(124)	70.3	
	苦石 100	50	3.5	12.8	0.58	12.2	391(142)	76.7	
	苦石 200	53	4.3	10.6	0.42	7.3	338(123)	64.8	
	ケイカル 100	54	4.4	10.4	0.21	3.1	325(118)	78.2	
	MoHB 3	50	4.1	10.9	0.33	8.2	325(118)	75.5	
	無施用	55	3.6	12.2	0.18	5.0	275(100)	60.1	

苦石: 苦土石灰, MoHB: モリブデン入微量元素材, ARA: アセチレン還元活性

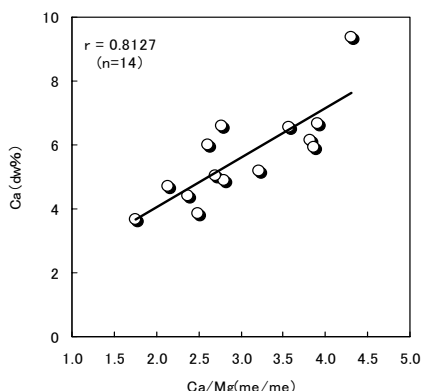
第4表 大豆作後土壌の理化学性(2009年10月)

圃場	資材量 (kg/10a)	pH	塩基(mg/100g)			塩基飽 和度(%)	sol. Mo (?g/kg)	全炭素 (%)	全窒素 (%)
			石灰	苦土	カリ				
低石灰圃場	石膏 100	4.9	92	34	18	37	5	2.51	0.20
	石膏 200	4.8	92	28	22	34	5	2.79	0.23
	苦石 100	5.3	103	23	19	34	5	2.85	0.23
	苦石 200	5.5	110	45	32	45	6	2.92	0.23
	ケイカル 100	5.5	171	30	15	52	5	2.81	0.17
	MoHB 3	5.0	81	54	23	40	5	2.75	0.23
	無施用	5.1	81	38	23	35	-	2.41	0.20
中石灰圃場	石膏 100	5.6	216	34	13	68	-	1.75	0.16
	石膏 200	5.4	213	32	12	66	-	1.90	0.18
	苦石 100	6.0	224	52	12	76	15	1.79	0.18
	苦石 200	6.5	248	67	13	86	20	1.82	0.17
	ケイカル 100	5.8	204	36	19	77	3	1.86	0.17
	MoHB 3	5.6	209	36	16	67	8	1.84	0.17
	無施用	5.7	210	39	18	71	5	1.74	0.15

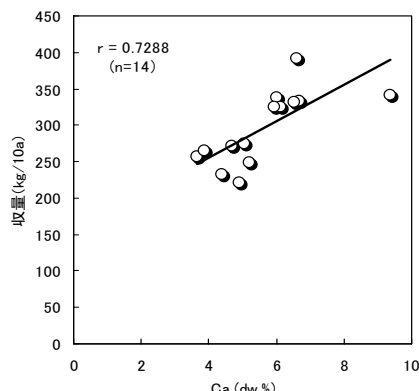
苦石:苦土石灰, MoHB:モリブデン入微量要素材

7) 開花期の土壌の石灰苦土比と葉中のカルシウム量の

間には相関が見られた。また、葉中のカルシウム量と大豆の収量間にも相関が認められた(第4図)。



第4-1図 開花期土壌の石灰苦土比とダイズ葉中のCa(2009年)



第4-2図 開花期のダイズ葉中のCaと収量(2009年)

考察

1)土壌の石灰量と pH

大豆は好石灰植物で土壌中の石灰量が 140mg/100g 以下(石灰飽和度 30%以下)では収量が劣るとされている。pHも5.6から6.5の微酸性を好み、特に5.0以下では生育が悪い。

2007, 2008年に調査した大豆圃場の多くは壤質灰色低地土で土壌pHは4.9から6.1の値を示し、平均5.6であった。これらの圃場のCECは12から20(平均14)の範囲にあり、石灰飽和度はpH5.6未満の圃場では平均39%、5.6以上の圃場では46%であった。

pH5.6未満の圃場の平均収量は288 kg/10a、5.6以上の圃場では354 kg/10aと60 kg/10a以上の差が見られ、量低下の要因の一つとして土壌pHの低下と石灰不足があると思われた。

2)根粒のアセチレン還元活性と土壌のpH

大豆の必要とする窒素の70%以上は根粒から供給されており根粒の窒素固定活性は大豆の収量と密接に関連している。また、根粒の窒素固定には大豆の光合成産物が必要とされ、光や土壌の水分条件などが影響を及ぼしている。

開花期の根粒のアセチレン還元活性を測定した結果、6~26 pmol/g minの値を示し、土壌中の石灰量および

pH との相関が見られた。

また、土壌中の水溶性モリブデン量は pH が高いほど多くなった。モリブデンは根粒における窒素固定に必須の因子であるが、土壌中の存在量は火山灰土壌で 1.52mg/kg、沖積土壌では 0.74mg/kg と微量元素の中で最も少ない。さらに鉄やアルミニウム酸化物に吸着されやすいことから、酸性域での有効性が低いとされている。

土壌中の全モリブデン量は低石灰圃場の方が多かったにもかかわらず、水溶性モリブデン量や大豆葉中のモリブデン量は中石灰圃場の方が多く、収量も高かったことから、低石灰圃場ではモリブデンの有効性が低いことを示しており、石灰施用によって pH を高めることは、大豆作におけるモリブデンの有効性を高める上でも重要である。

### 3)石灰資材の施用による大豆の収量への影響

石灰を供給する資材として炭酸苦土石灰(苦土石灰)、硫酸石灰(石膏)および水溶性ケイ酸カルシウム(ケイカル)を石灰レベルの異なる圃場に施用した結果、中石灰圃場での施用効果は 118~142%であったが低石灰圃場では 100~109%にとどまった。低石灰圃場では資材施用後の pH が 4.9 から 5.7 と低かったためと思われるが、苦土石灰 200kg/10a 区の pH が 5.7 と改善されたにもかかわらず収量の増加が認められなかった。この区の塩基飽和度は 117%から 86%で推移しており、石灰が過剰になった影響と思われる。

また、土壌の石灰苦土比が高い区で大豆の葉中のカ

ルシウム量が増加し、収量も高くなる傾向が見られたことは、土壌の塩基量に合わせて石灰資材の種類や組合せを適切に選択することの重要性を示している。

### 4)大豆栽培が土壌に及ぼす影響

石灰資材試験圃場の無施用区では両圃場とも収穫後の塩基飽和度が作付前よりも低下し、土壌中の全炭素量も低下していた。この時、全窒素量には変化が見られなかった。

苦土石灰施用区では低石灰、中石灰圃場とも無施用区と比較して全炭素の減少量が小さく、全窒素は増加していた。

このことは水田転換畑における大豆作が土壌の肥沃度を低下させる可能性があること、および石灰資材の施用は大豆作における肥沃度の低下を抑える効果があることを示唆するものと思われる。

## 文献

- 1)土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法,日本土壌協会(2001)
- 2)橋本鋼二:大豆に対するモリブデン施与の増収効果. 農業および園芸, 52, 89 - 90 (1977)
- 3)山口淳一:生物窒素固定研究における最近の成果(36). 農業および園芸, 67, 95 - 101 (1992)
- 4)寺島 滋:関東平野の土壌中微量有害元素(As, Sb, Pb, Cr, Mo, Bi, Cd, Tl)の地球科学的研究. 地質調査研究報告, 53, 749-774(2002)

# Soil Properties of the Soybean Fields in [paddy rice - barley - soybean - paddy rice] Rotation System, and its Amelioration with Lime or Micronutrients Fertilizer

Hitoshi TSUBOUCHI, Masashi SAITO

## Summary

In our soil investigations of paddy fields after 1990s, the average pH value has been decreased to 5.3 from 5.9 of 1980s, but the humic substance levels which affect soil fertility has not been changed. But soybean yields on these paddy fields for rice crop change over were remarkably decreased to 1.8 t/ha in 1990s from 3.5 t/ha in 1980s.

So we investigated the relevance between pH decline in soil and soybean yield decrease. There is a significant relevance between lime level of soil and soil pH. The average yield of 3.24 t/ha were achieved in the fields where pH values were over 5.6. Meanwhile the average yield on the fields where pH values were less than 5.6 was 2.82 t/ha.

The pH of the soil affected on the level of available molybdenum, which is important for the nitrogenase activity in root nodule and other nitrogen metabolic pathways in soybean plant.

On low lime level field (100 mg/100g of CaO, 25% of BSP, and pH 5.3) and medium level (200 mg/100g of CaO, 57% of BSP, and pH 6.1), we tested 3 liming materials such as gypsum [ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ], dolomite [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], calcium silicate, and micronutrients fertilizer which contains boron, manganese, and molybdenum.

The effect of liming material on soybean yield was larger on medium lime level field (118 - 142%) than low level field (100 - 109%). The effect of micronutrients fertilizer on soybean yield was larger in medium lime level field (118%) than low level field (106%), and available Mo levels were affected by lime concentration only in medium level field.

It suggested that lime level control is in priority to amendment of micronutrients level on these fields.