

平成22年度

(2011年3月)

卒業論文

題目 硫酸カルシウムが主成分の石膏ボードを
肥料として有効利用できるか

畜産科学科 植物生命科学ユニット 環境土壌学研究室

氏名 三浦 紗希

目次

第1章 緒論

第2章 実験 1 ポット試験①

2-1 目的

2-2 材料・方法

2-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

2-2-2 供試土壌

2-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

2-2-4 供試作物の種類及び品種

2-2-5 試験期間

2-2-6 管理状況

2-2-7 調査項目

2-3 調査・分析方法及び定量方法

2-3-1 出芽

2-3-2 草丈

2-3-3 生重地上部

2-3-4 乾物重

2-3-5 水分量

2-3-6 植物体の窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カリウム濃度

2-3-7 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

2-3-8 土壌 pH(H_2O)

2-3-9 土壌 EC

2-4 結果

2-4-1 コマツナ出芽調査成績

2-4-2 コマツナ生育調査成績

2-4-2-1 コマツナ生育調査（日付ごと）

2-4-2-2 コマツナ生育調査 収穫時

2-4-3 コマツナ収量調査成績

2-4-3-1 コマツナ地上部生重

2-4-3-2 コマツナ乾物重

2-4-3-3 コマツナ水分量

2-4-4 コマツナ成分濃度

2-4-4-1 窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カルシウム濃度

2-4-4-2 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

2-4-5 異常症状

2-4-6 ポット栽培期間中の温度変化

2-4-7 ポット試験中の土壌 pH (H_2O)、EC の変化

2-4-7-1 土壌 pH (H_2O)

2-4-7-2 土壌 EC

2-5 考察

第3章 実験2 ポット試験②

3-1 目的

3-2 材料・方法

3-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

3-2-2 供試土壌

3-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

3-2-4 供試作物の種類及び品種

3-2-5 試験期間

3-2-6 管理状況

3-2-7 調査項目

3-3 分析方法及び定量方法

3-4 結果

3-4-1 コマツナ出芽調査成績

3-4-2 コマツナ生育調査成績

3-4-2-1 コマツナ生育調査（日付ごと）

3-4-3 コマツナ収量調査成績

3-4-3-1 コマツナ地上部生重

3-4-3-2 コマツナ乾物重

3-4-3-3 水分量

3-4-4 コマツナ成分濃度

3-4-4-1 窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カルシウム濃度

3-4-4-2 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

3-4-5 異常症状

3-4-6 ポット栽培期間中の温度変化

3-4-7 ポット試験中の土壌 pH (H_2O)、EC の変化

3-4-7-1 土壤 pH (H₂O)

3-4-7-2 土壤 EC

3-5 考察

第4章 実験3 出芽試験

4-1 目的

4-2 材料・方法

4-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

4-2-2 供試土壤

4-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

4-2-4 供試作物の種類及び品種

4-2-5 試験期間

4-2-6 管理状況

4-2-7 調査項目

4-3 調査方法

4-4 結果

4-5 考察

第5章 実験4 植害試験（ノイバウエル法）

5-1 目的

5-2 材料・方法

5-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

5-2-2 供試土壌

5-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

5-2-4 供試作物の種類及び品種

5-2-5 試験期間

5-2-6 管理状況

5-2-7 調査項目

5-3 分析方法及び定量方法

5-4 結果

5-4-1 コマツナ出芽調査成績

5-4-2 コマツナ生育調査成績 収穫時

5-4-3 コマツナ収量調査成績

5-4-3-1 コマツナ地上部生重

5-4-3-2 コマツナ乾物重

5-4-3-3 コマツナ水分量

5-4-4 コマツナ成分濃度

5-4-4-1 窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カルシウム濃度

5-4-4-2 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

5-4-5 異常症状

5-4-6 ポット栽培期間中の温度変化

5-4-7 ポット試験前後の土壌 pH (H_2O)、EC の変化

5-5 考察

第6章 実験5 下層土試験

6-1 目的

6-2 材料・方法

6-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

6-2-2 供試土壌

6-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

6-2-4 試験方法

6-2-5 試験期間

6-2-6 調査項目

6-3 分析方法及び定量方法

6-3-1 溶出液 pH (H₂O)

6-3-2 溶出液 EC

6-3-3 土壌 pH (H₂O)

6-3-4 土壌 pH (KC 1)

6-3-5 土壌 EC

6-3-6 交換酸度

6-3-7 交換性塩基

6-4 結果

6-4-1 溶出液 pH (H₂O)、EC の変化

6-4-1-1 溶出液 pH (H₂O) の変化

6-4-1-2 溶出液 EC の変化

6-4-2 土壌理化学性

6-4-3 交換性塩基 (カリウム・マグネシウム・カルシウム)

6-5 考察

第7章 要約

謝辞

引用文献

付表

第1章 緒論（廃石膏ボードの現状・目的）

日本では毎年 12.5 万トンの廃石膏ボードが、工場での製造時、住宅の新築時および建物の解体時に発生している。しかし、新築系・解体系の廃石膏ボードのリサイクルはほとんど進んでいない。さらに、2006 年環境省通達により、紙と分離しても管理型処分場でしか処分できなくなった。処分費用の高い管理型処分場での処分を避けるため、適切なリサイクル用途の開発が急がれている（社団法人石膏ボード工業会 2010）。

かつて廃石膏ボードにはヒ素・カドミウム・アスベストなどの環境汚染物質が混入していたことがあったが、現在生産されている石膏ボードにはこれらの物質は含まれていない。また、廃石膏ボードのうち汚染されたものを分別することも技術的に可能になった。

石膏ボードの主成分は硫酸カルシウムである。既に同じ主成分のリン酸石膏は、①アルカリ化を伴わないカルシウムの供給②硫黄の供給などを目的として特殊肥料として農業利用されている（藤間・三枝 2007）。また、藤間（1996）により、作土施用による強酸性黒ボク土の下層土酸性矯正などの効果も報告されている。従って、石膏ボードにもリン酸石膏と同程度の効果が期待でき、廃石膏ボードを有効利用出来ると考えた。

普通肥料公定規格申請の為、コマツナを使用したポット試験と植害試験を行った。また、発芽率をより正確に調べるため、インキュベータを使用した出芽試験も行った。さらに、石膏は溶解度が高いため、土壤中で移動しやすくその他の交換性陽イオンの挙動にも影響を及ぼすと考えられる。このことを明らかにするため、カラム溶出試験も行った。

2 章 実験 1 ポット試験①

2-1 目的

廃石膏ボードを有効利用するにあたり、既に市販されているカルシウムを含む資材と肥効を比較することを目的とした。

2-2 材料・方法

2-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

	肥料の種類	肥料の名称	主成分	%
供試肥料		石膏ボード肥料	酸化カルシウム	32.1
			三酸化硫黄	43.7
			二酸化ケイ素	0.6
			酸化アルミニウム+酸化鉄(Ⅲ)	1.24
			酸化マグネシウム	0.16
			塩素	0.02
			酸化カリウム	0.003
			全アルカリ量	0.005
			酸化チタン	0.001
			五酸化リン	0.02
			フッ素	0.06
			銅	1.5
			亜鉛	6.7
		繊維分	0.5 以下	
対照肥料 1	特殊肥料	粒状	硫酸カルシウム	80

		硫酸カルシウム (ジプライト)	<ul style="list-style-type: none"> 〔 カルシウム 〔 硫黄 珪酸 苦土 リン酸 ホウ素 	<ul style="list-style-type: none"> 〔 32 〔 15 7 1 0.5 0.03
対照肥料 2	炭酸 カルシウム 肥料	炭酸カルシウム (くみあい タンカル)	アルカリ分	53.0

2-2-2 供試土壌

使用土壌：帯広畜産大学精密試験圃場の淡色黒ボク土

分析項目		分析値	単位
一般項目	pH(H ₂ O)	6.4	
	有効態リン酸 (P ₂ O ₅)	12.5	mg/100g
	交換性加里 (K ₂ O)	69.3	mg/100g
	交換性苦土 (MgO)	28.5	mg/100g
	交換性石灰 (CaO)	269.2	mg/100g
	苦土・加里比	1.0	当量比
	石灰・苦土比	6.8	当量比
	石灰飽和度	42.3	%
	塩基飽和度	55.0	%
微量元素	銅	0.58	ppm
	亜鉛	3.95	ppm

	マンガン	57.20	ppm
	ホウ素	0.93	ppm
窒素	熱水抽出性窒素	8.73	mg/100g
	全窒素	0.30	%
	硝酸態窒素	1.12	mg/100g
	アンモニア態窒素	0.90	mg/100g
土壌性質	リン酸吸収係数	1538	
	CEC	22.7	me/100g
	仮比重	0.70	
	腐植含量	富む	
	最大容水量	90.64	%
その他	腐植含量	5.4	%
	EC	0.07	ms/cm
	交換酸度(Y1)	0.19	
	炭素含量	3.13	%
	C/N比	10.4	
粒経組成	粗砂	46.26	%
	細砂	6.79	%
	シルト	44.42	%
	粘土	2.53	%

2-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

試験区名		施用量 (g/鉢)	成分量 (mg/鉢)		
			T-N	T-P ₂ O ₂	T-K ₂ O
標準区	資材無施用区	0	400	60	39.8
供試試料区	石膏ボード粉末区①	10 (CaO 3.26g)	400	60	39.8
	石膏ボード粉末区②	20 (CaO 6.52g)	400	60	39.8
対照肥料区 1	リン酸石膏肥料区①	10 (CaO 3.26g)	400	60	39.8
	リン酸石膏肥料区②	20 (CaO 6.52g)	400	60	39.8
対照肥料区 2	炭酸カルシウム区①	5.8 (CaO 3.26g)	400	60	39.8
	炭酸カルシウム区②	11.6 (CaO 6.52g)	400	60	39.8

供試肥料由来の成分量の他に、標準区と同量の尿素 857mg、KH₂PO₄ 115mg を施用

施肥法：ワグネルポット内の排水管が隠れる程度に赤玉土を充填し、その上に 2mm の篩を通した土壌 1 kg を置いた。

さらに上記の分量の肥料と各資材所要量を 1 kg の土壌とよく混合し、上記のワグネルポット内に充填した。

使用ポット 1/5000a ワグネルポット

反復数 5 ポット数 35 土壌充填量 2kg/ポット

各区に土壌採取用のポットを1個ずつ追加し、先端を切ったプラスチックシリンジで毎週0～5cmの深さから土壌を採取し、pH(H₂O)とECを測定した。

2-2-4 供試作物の種類及び品種

供試作物：コマツナ

品種：タキイ種苗 夏楽天

ポットの5か所に播種 1穴に3粒ずつ播種した。

播種は、土壌と肥料がなじんだ施肥5日後に行った。

2-2-5 試験期間

施肥	2010年6月3日
播種	2010年6月8日
出芽率調査	2010年6月8日～6月14日
収穫	2010年7月6日

2-2-6 管理状況

栽培場所：帯広畜産大学精密試験圃場

6月12日まで不織布をかけて栽培。

6月18日に間引きを行い、5苗/鉢に合わせた。

必要に応じて灌水した。

2-2-7 調査項目

栽培前後の土壌理化学性	pH、EC、CEC、交換性塩基
生育調査	作物の出芽状況 草丈・写真撮影(毎週) 収穫時の草丈・生体重・乾物重 異常症状の有無
コマツナ収穫後の植物体成分の分析	窒素、リン酸、カリウム、 マグネシウム、カルシウム

2-3 調査・分析方法及び定量方法

2-3-1 出芽

芽が出て地表に現れたものの本数を数えた。

播種後 7 日目の出芽数から出芽率を算出した。

2-3-2 草丈

コマツナの葉をまとめ、一番長いものの草丈を定規で測った。

2-3-3 生重地上部

コマツナ地上部を地表ぎりぎりの所でカッターで切断し、土や虫を落とした後に計測した。

2-3-4 乾物重

水道水で洗った後、イオン交換水ですすいだ。

紙袋に入れて乾燥機中でコマツナの水分がなくなるまで 70°C で乾燥した。

乾燥機から出し、デシケーター中に放冷した後計測した。

2-3-5 水分量

生重地上部の値から乾物重の値を引き、算出した。

2-3-6 植物体の窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カリウム

北海道立中央農業試験場編(1992)に基づき行った。

分解：硫酸 - 過酸化水素分解法

乾燥させたコマツナ試料を粉砕機で粉砕した。この試料 500mg を 300ml のトールビーカー中に測りとり、イオン交換水 1ml を加え、これに濃硫酸を分注器で 4ml 加え、よく振り混ぜた後過酸化水素を分注器で 2ml ずつ 2 度に分けて加えた。激しい反応がおさまってから時計皿で蓋をし、ホットプレートで 300℃ で加熱した。加熱後溶液が褐色化してきた場合は冷却後、過酸化水素を 2ml ずつ加えた。着色がなくなるまで分解を繰り返した。

分解が完了したら、トールビーカーをホットプレートから降ろし良く放冷した。イオン交換水を加え、分解液を 100ml のポリメスフラスコに移し、イオン交換水で液量を 100ml に合わせ、溶液を 100ml のポリビンに移し保管した。

この溶液を窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カリウムの定量に用いた。

窒素の定量：インドフェノール法(吸光光度分析法)

試料液から、1ml をマイクロピペットで正確に採取し、50ml のメスフラスコに移す。中和するために 0.5N NaOH 3ml を加え、イオン交換水を添加し容量を 50ml とした。

上記の試料液 1ml を試験管に取り、インドフェノール法用緩衝液 3ml、ニトロプルシッド・サリチル酸ナトリウム溶液 0.4ml、8 倍希釈した次亜塩素酸ナトリウム溶液 0.5ml を添加した。

試験管をよく振り混ぜで、25℃で 1 時間放置した。

その後、650nm の吸光度を測定した。検量線はアンモニウム態窒素濃度が 0, 1, 2, 3, 4ppm 標準液で作成した。

リン酸の定量：バナドモリブデン酸法(吸光光度法)

過酸化水素分解法により作成した試料液 1ml を取り、バナドモリブデン酸希釈発色液 4ml を添加しよく攪拌した。30 分以上室温に放置後、440nm の吸光度を測定した。

検量線は、0, 20, 50, 100, 150, 200ppm 標準液で作成した。

カリウム・マグネシウム・カルシウムの定量：原子吸光光度法

(原子吸光光度計 HITACHI Z-5010 を用いて測定)

カリウム：200 倍液で測定

過酸化水素分解法により作成した試料液 0.5ml を取り、 10^5 ppm ストロニウム 1ml を加え、イオン交換水で液量を 100ml に合わせた。なお、白い沈殿が生じた場合はアドバンテック No.6 ろ紙で再びろ過した。

検量線は、0, 2, 4, 6, 8, 10ppm 標準液で作成した。

マグネシウム・カルシウム：20 倍液で測定

過酸化水素分解法により作成した試料液 5ml を取り、 10^5 ppm ストロニウム 1ml を加え、イオン交換水で液量を 100ml に合わせた。

検量線は、Ca においては 0, 2, 4, 6, 8ppm、Mg においては 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0ppm 標準液で作成した。

2-3-7 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$

FI Astar 5000 Dual Channel System(フォス・ジャパン社)を用いて、フローインジェクション法により行った。

25 mg の乾燥植物体試料を 2N KCl 50ml で抽出し、Advantec No.6 ろ紙でろ過した溶液を定量に供試した。

2-3-8 土壌 pH(H₂O)

「土壌標準分析・測定法」 p. 70～71 のガラス電極法の通り行った。

すなわち、土壌 10 g に蒸留水 25ml を加え、1 時間振とうした後にガラス電極 pH メーターにより、pH を測定した。

2-3-9 土壌 EC

「土壌標準分析・測定法」 p. 74～76 の 1 : 5 水浸出法の通り行った。乾土に対する水の比が 1 : 5 になるように水を添加し 60 分振とうさせた後、EC メーターを用いて測定した。

2-4 結果

統計ソフト JMP8.0 を使用し、Tukey-Kramer の HSD 検定法 ($p < 0.05$) を用いて有意差検定を行った。

2-4-1 コマツナ出芽調査成績

1 回目の出芽試験では、出芽率にばらつきが出た (図 1)。

石膏ボード粉末①②と炭酸カルシウム②は出芽率が悪く、発芽率 80%以下となった。

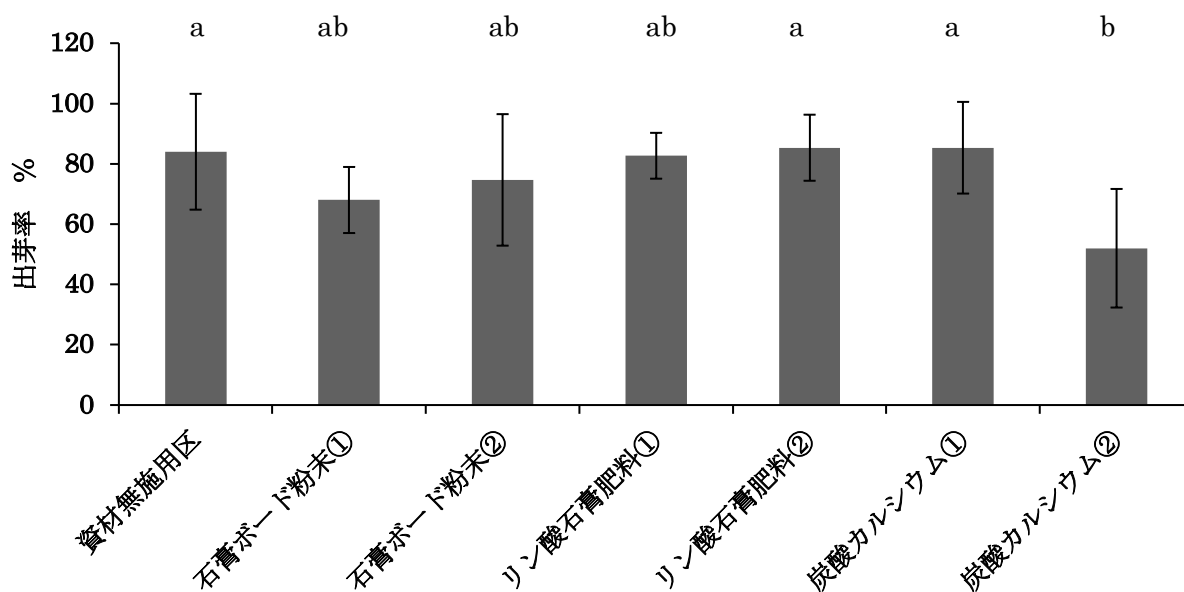


図 1. 6月14日におけるコマツナ出芽率

2-4-2 コマツナ生育調査成績

2-4-2-1 コマツナ生育調査（日付ごと）

コマツナの草丈は、6月22日では石膏ボード粉末②・リン酸石膏肥料①②のみ資材無施用区を上回った（図2）。6月29日・7月6日では上記の区他に、石膏ボード粉末①も資材無施用区を上回った。日付を追うごとに成長に差がみられた。

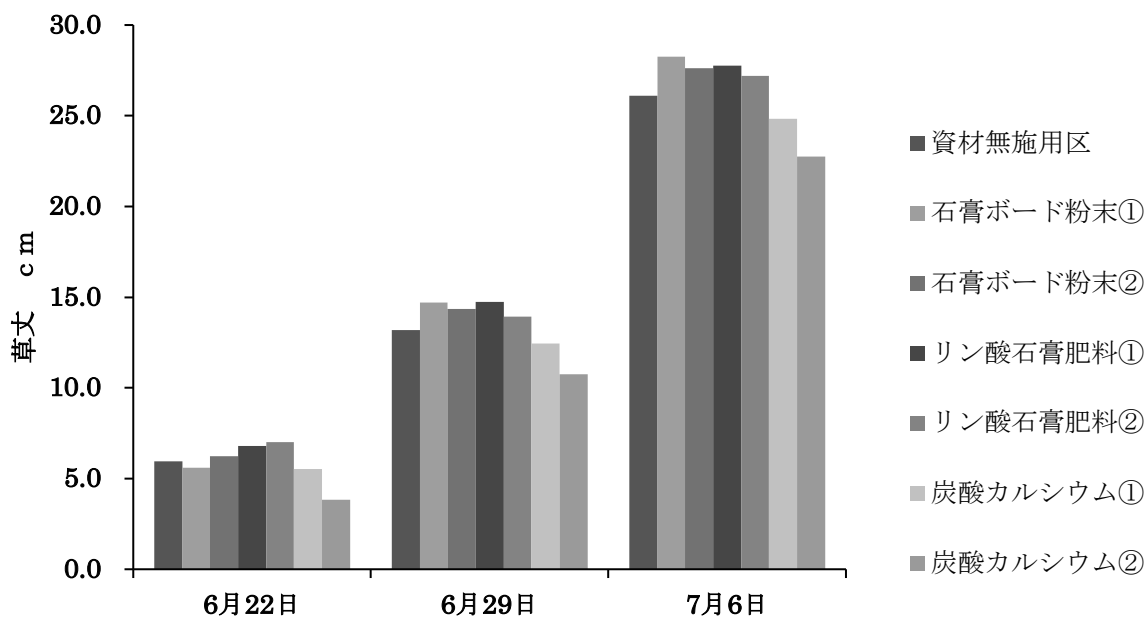


図2. コマツナ草丈の変化

2-4-2-2 コマツナ生育調査 収穫時

収穫時におけるコマツナの草丈は、石膏ボード粉末区・リン酸石膏肥料区は資材無施用区を上回ったが、有意差を示さなかった（図3）。炭酸カルシウム①②は資材無施用区よりも草丈が低く、炭酸カルシウム②においては有意差が認められた。石膏ボード粉末①の草丈が一番大きく、一番小さかった炭酸カルシウム②との間に5.6cm差が見られた。リン酸石膏肥料区と炭酸カルシウム区の間にも有意差が認められた。

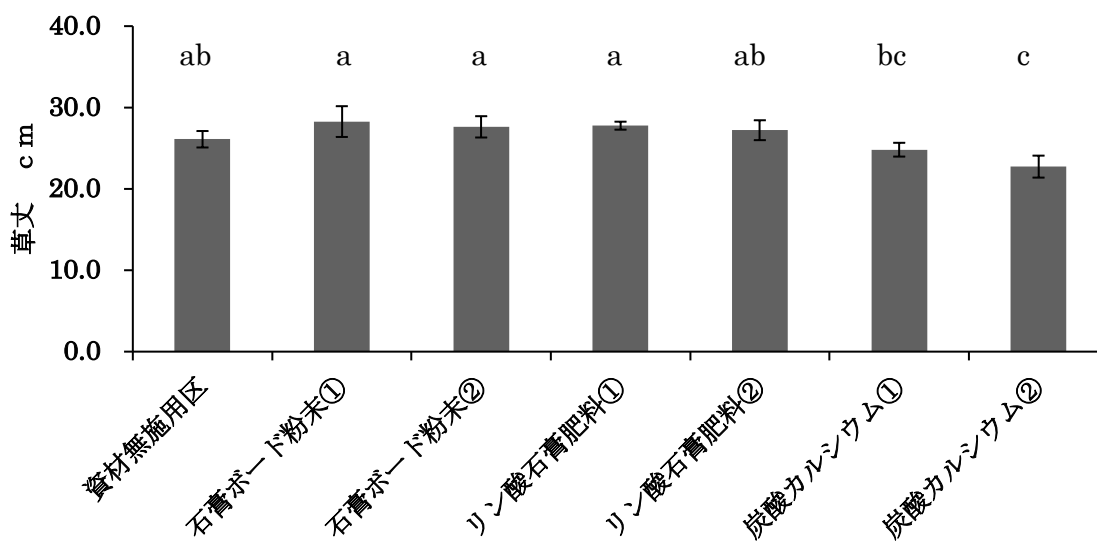


図3. 7月6日におけるコマツナ草丈の有意差

2-4-3 コマツナ収量調査成績

2-4-3-1 コマツナ地上部生重

コマツナの地上部生重は、資材無施用区よりも石膏ボード粉末区・リン酸石膏肥料区の値が大きく、石膏ボード粉末②・リン酸石膏肥料①②においては有意差が認められた(図4)。石膏ボード粉末区とリン酸石膏肥料区においては有意差を示さなかった。炭酸カルシウムは資材無施用区よりも値が小さく、炭酸カルシウム②においては有意差が認められた。地上部生重の重量が一番大きかった石膏ボード粉末②と資材無施用区の間には4.16g 差が見られ、石膏ボード粉末②と炭酸カルシウム②の間には8.72g 差が見られた。

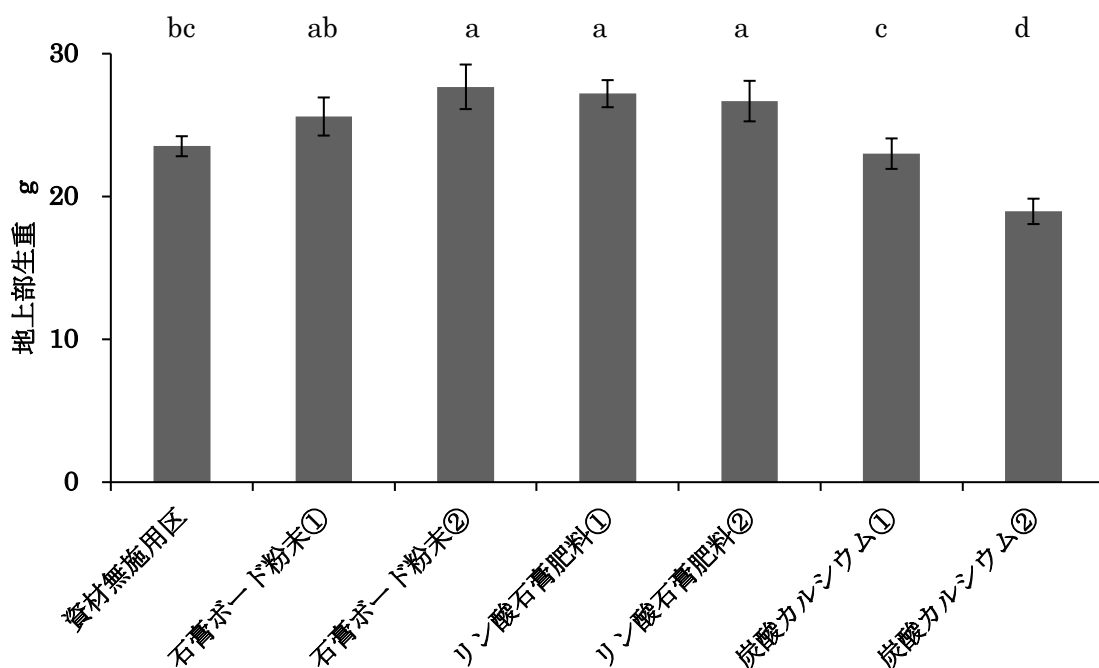


図4. コマツナ収穫時の地上部生重
(1ポット当たり)

2-4-3-2 コマツナ乾物重

コマツナ収穫時の乾物重の順位は、生重地上部と同じだった（付表 表1）。石膏ボード粉末②と資材無施用区の間には1.28gの差が見られ、有意差も認められた。資材無施用区・石膏ボード粉末①・リン酸石膏肥料においては有意差を示さなかった。炭酸カルシウム②においては資材無施用区との間に1.6gの差が見られ、有意差も認められた。

2-4-3-3 コマツナ水分量

コマツナ収穫時の水分量は生重地上部と同じ順位だった（付表 表1）。いずれの区においても有意差を示さなかったものの、生育が2番目に悪かった炭酸カルシウム①の水分量が94%と一番高いという結果になった。炭酸カルシウム②は77.9%と飛びぬけて低かった。

2-4-4 コマツナ成分濃度

2-4-4-1 窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カルシウム濃度

窒素:コマツナ茎葉中の窒素濃度は、いずれの区も2.16~2.81g/100gの間に収まり、有意差を示さなかった（付表 表2）。資材を施用した区すべてが資材無施用区を下回り、その中でもリン酸石膏肥料区の値が低かった。コマツナの窒素濃度とコマツナ生育調査と比較すると、コマツナの生育が良いほど、窒素濃度が低い傾向が見られた。

リン酸:コマツナ茎葉中のリン酸濃度は、いずれの区も0.42~0.55g/100gの間に収まり、有意差を示さなかった（付表 表2）。資材を施用した区すべてが資材無施用区を上回った。

カリウム：コマツナ茎葉中のカリウム濃度は、いずれの区も 5.35～5.95g/100g の間に収まり、有意差を示さなかった（付表 表2）。炭酸カルシウム②以外の資材を施用した区は、資材無施用区を上回った。

マグネシウム：コマツナ茎葉中のマグネシウム濃度は、石膏ボード粉末区は他の区に比べ値が低く、資材無施用区と有意差が認められた（図5）。

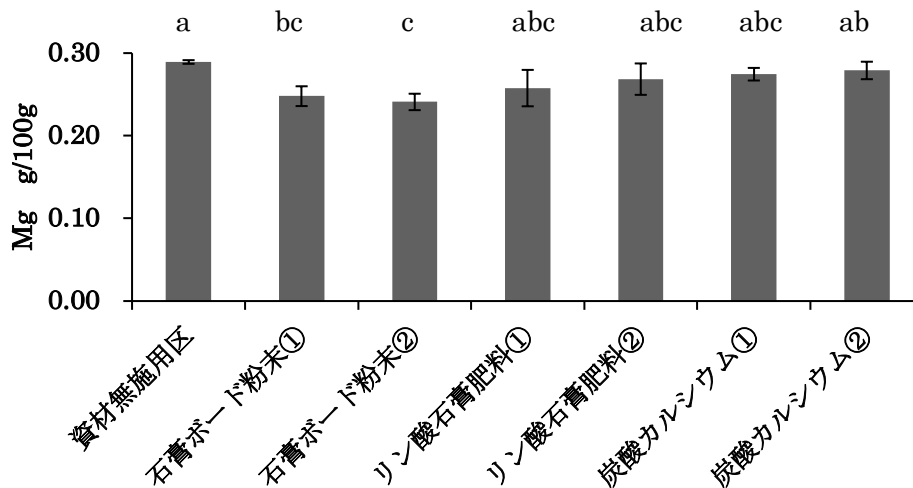


図5.コマツナ茎葉中のMg濃度

カルシウム：コマツナ茎葉中のカルシウム濃度は、いずれの区も 2.21～2.35g/100g の間に収まり、有意差を示さなかった（付表 表2）。資材無施用区で栽培したコマツナ中のカルシウム濃度が、全ての試験区の中で最も高かった。

2-4-4-2 NO₃-N、NH₄-N 濃度

NO₃-N：コマツナ茎葉中の NO₃-N 濃度は有意差を示さなかったが（図 6）、コマツナ収量調査と比較すると、コマツナの収量が多いほど、NO₃-N の濃度が低い傾向が見られた。炭酸カルシウム②のみ資材無施用区を上回った。

NH₄-N：コマツナ茎葉中の NH₄-N 濃度は石膏ボード粉末①の値が一番大きかったのに対し、石膏ボード粉末②の値が一番小さく、有意差も認められた（付表 表 2）。石膏ボード粉末①・炭酸カルシウム①のみ資材無施用区を上回った。

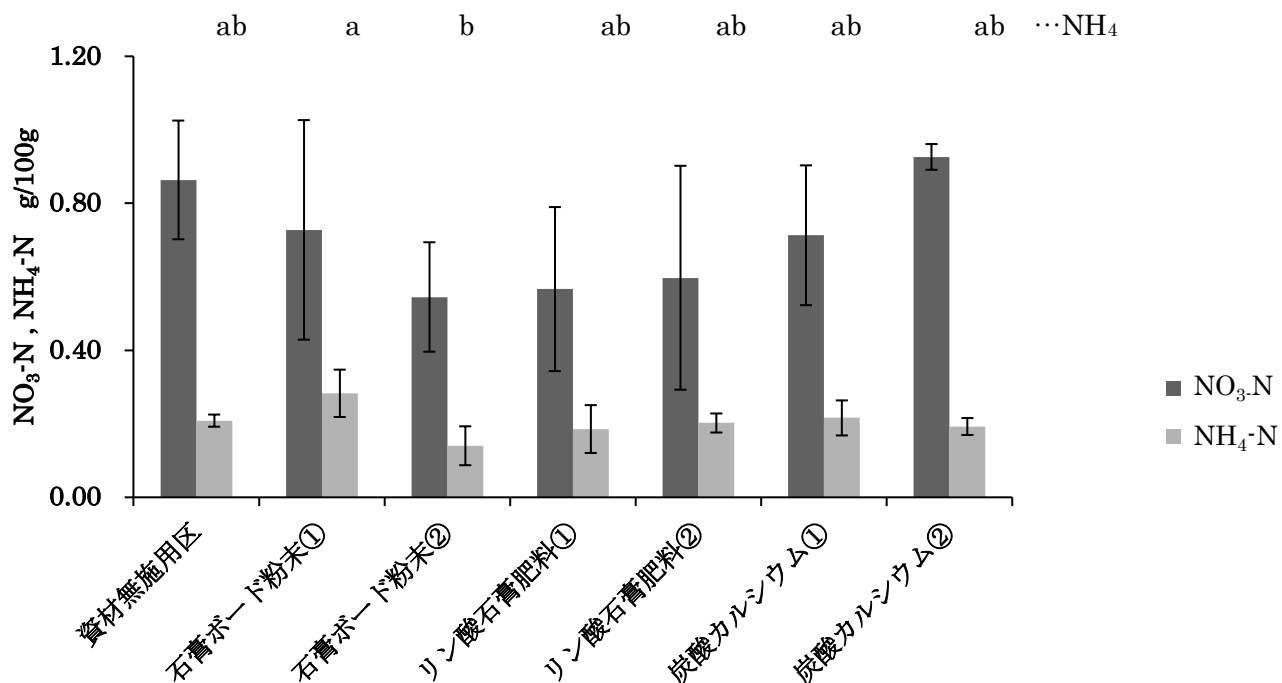


図 6.コマツナ茎葉中のNO₃-N, NH₄-N濃度 (ポット試験①)

2-4-5 異常症状

いずれの区においてもコマツナの生育に異常は認められなかった。

2-4-6 ポット栽培期間中の温度変化

温度記録ロガー「おんどとり TR-52」により、植物の直上部で測定した。

不織布をかけていたため、播種後4日目に47℃まで上昇した。(図7)

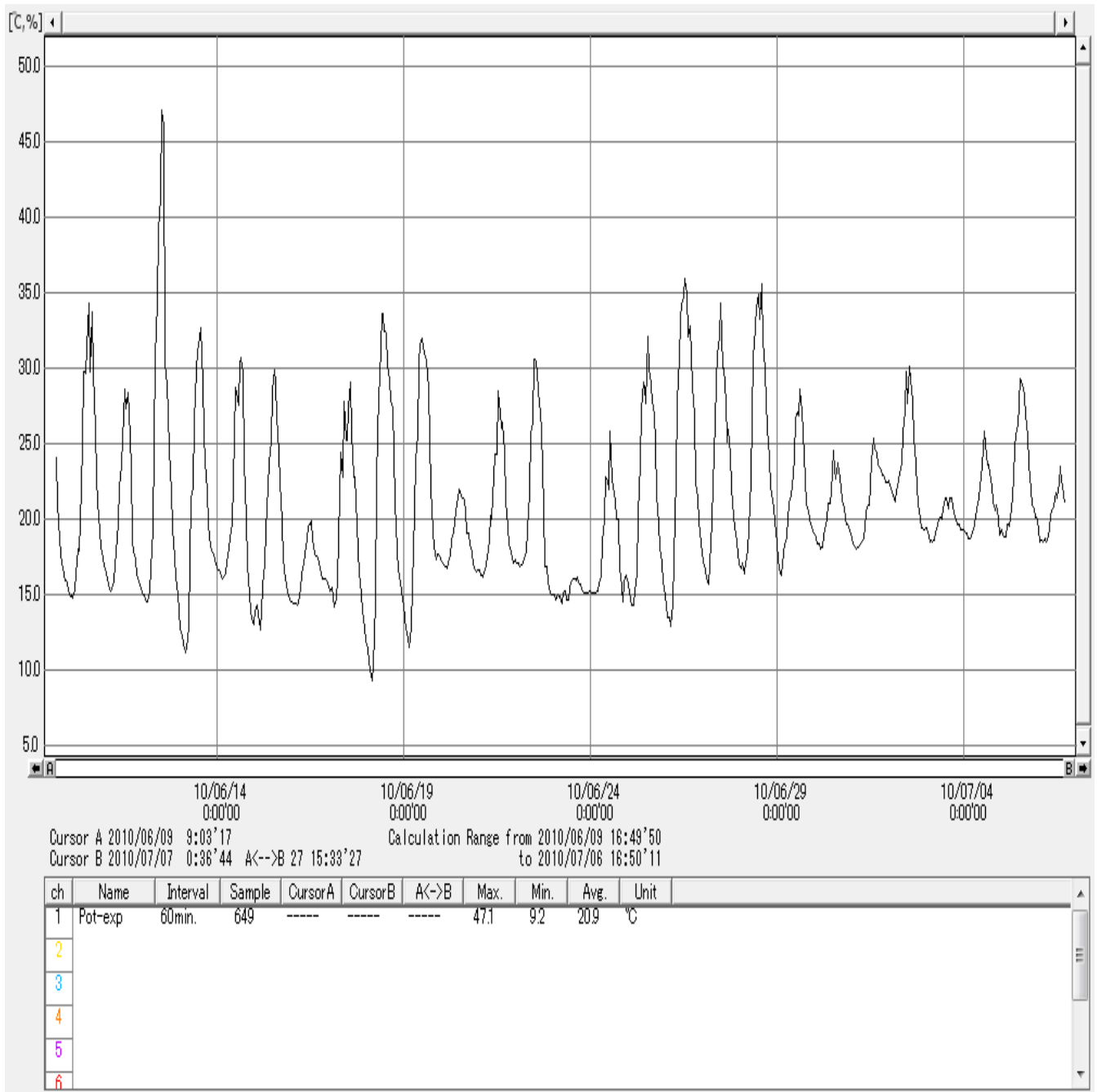


図7. ポット栽培期間中の温度変化

2-4-7 ポット試験中の土壌 pH (H₂O)、EC の変化

2-4-7-1 土壌 pH (H₂O)

石膏ボード粉末区・リン酸石膏肥料区の土壌 pH は資材無施用区の値よりも低かった (図 8)。炭酸カルシウム区の土壌 pH は他の区の値よりも著しく高かった。

炭酸カルシウム区以外の土壌 pH は土壌診断基準 pH5.5~6.5 の範囲内だった。

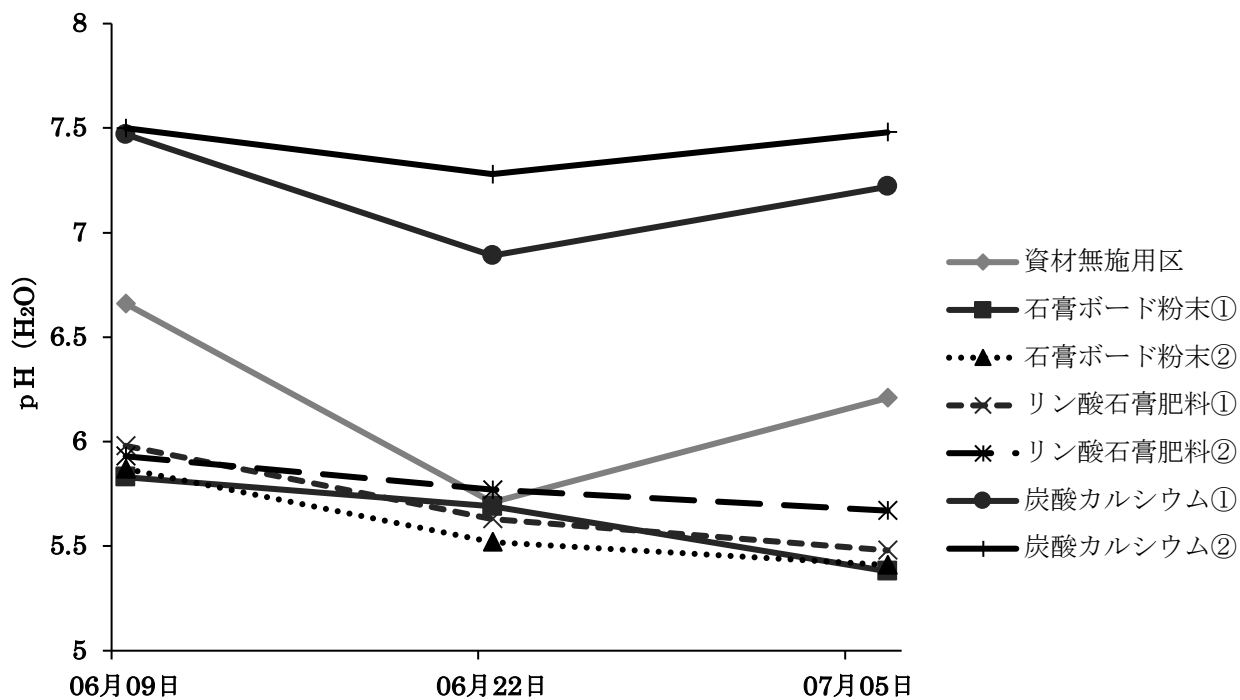


図 8. 土壌 pH (H₂O) の変化

2-4-7-2 土壌 EC

土壌 EC はいずれの区も資材無施用区の値を上回った (図 9)。

石膏ボード粉末区・リン酸石膏肥料区の EC の増大が大きかった。

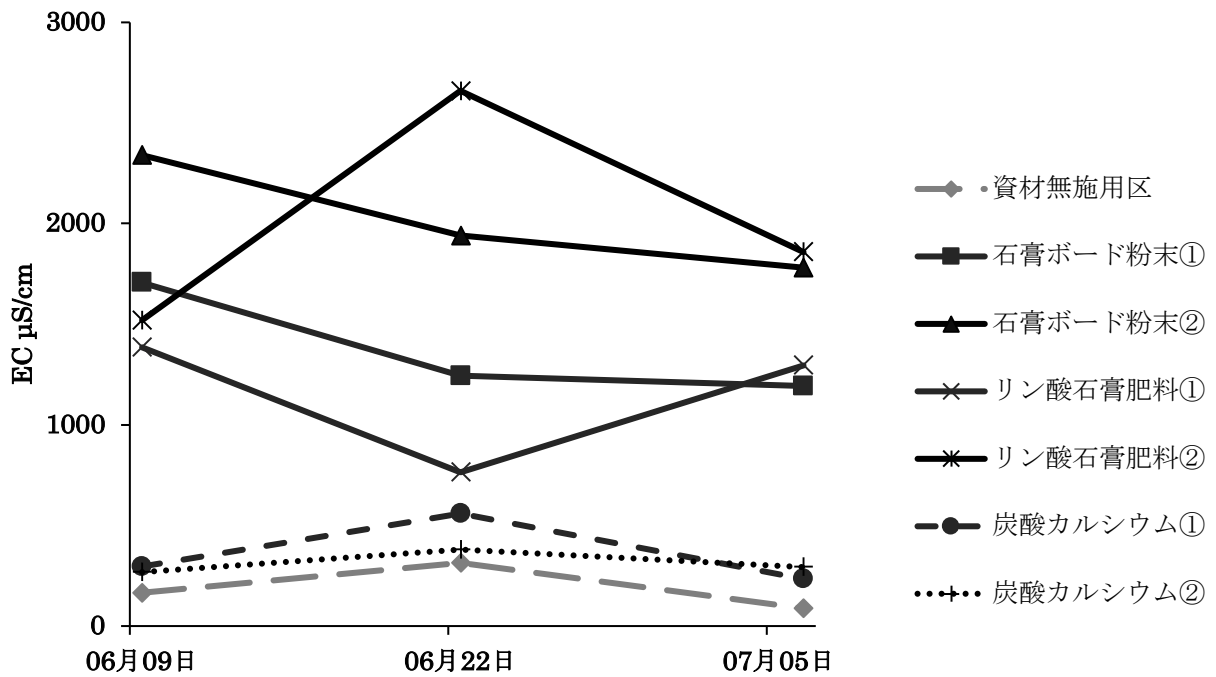


図 9. 土壌 EC の変化

2-5 考察

出芽率に差が見られたのは、6月12日に不織布下が47℃まで上がってしまい、出芽していた芽がいくつか死んでしまったためと考えられる。

炭酸カルシウム区の草丈が他の区よりも有意に低くなったのは、炭酸カルシウム区の土壌pHが土壌診断基準5.5～6.5の範囲を超えていて、コマツナの生育に適さない環境になっていたためと考えられる。資材無施用区・石膏ボード粉末区・リン酸石膏肥料区のpHは土壌診断基準内に収まっていたため、pHが植物生育の阻害要因にはならなかったと言える。また、石膏ボード粉末及びリン酸石膏の施用に伴う土壌中の養分状態の変化も各区の間で著しい違いをもたらさなかったため、両区での生育に有意差が認められなかった物と考えられる。ただし、石膏含有資材を施用した区の生育が無施用区よりも良い傾向を示したのは石膏の施用によって、他の養分、窒素、リン酸等の可給性が高まったためと考えられる。

植物成分濃度に関してはコマツナの窒素濃度とコマツナ生育調査と比較すると、コマツナの生育が良いほど、窒素濃度が低い傾向が見られた。これは、生育が進むにつれ上位葉が下位葉を遮蔽するため、光合成機能を支えている窒素は葉の光合成と成長、維持のための消費との収支の結果、減少するからだと考えられる。また、植物体のマグネシウム濃度が石膏ボード粉末区と資材無施用区で有意差がみられたのは、元々土壌中に含まれていた K^+ が非常に多かったことに加え、資材を施用したことにより Ca^{2+} が増加し、 Mg^{2+} とのイオン交換が起こり、 Mg^{2+} が溶脱され、資材無施用区よりも吸収できる Mg^{2+} が減少した可能性があると考えられる。また、養分吸収における Ca^{2+} と Mg^{2+} の拮抗作用も考えられる(牧野2001)。

資材無施用区・炭酸カルシウム区で全体的に土壌ECの値が低かったのは、資材無施用区では当然の結果であり、他方、炭酸カルシウム区では炭酸カルシウムの溶解度が石膏よりも低いためだと考えられる。

この実験より、石膏ボード粉末は、リン酸石膏と同等の肥料効果を示すことがわかった。

第3章 実験2 ポット試験②

3-1 目的

実験1では窒素肥料のみを通常量施用し、リン酸とカリウムは通常量の1/10の量を施用した。実験2では窒素・リン酸・カリウム全ての肥料成分を通常量の施肥量とした場合に、資材施用間に差が出るかを明らかにする。

3-2 材料・方法

3-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

実験1と同じ

3-2-2 供試土壌

実験1と同じ

3-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

試験区名		施用量 (g/鉢)	成分量 (mg/鉢)		
			T-N	T-P ₂ O ₂	T-K ₂ O
標準区	資材無施用区	0	400	600	398
供試試料区	石膏ボード粉末区①	10 (CaO 3.26g)	400	600	398
	石膏ボード粉末区②	20 (CaO 6.52g)	400	600	398
対照肥料区 1	リン酸石膏肥料区①	10 (CaO 3.26g)	400	600	398
	リン酸石膏肥料区②	20 (CaO 6.52g)	400	600	398
対照肥料区 2	炭酸カルシウム区①	5.8 (CaO 3.26g)	400	600	398
	炭酸カルシウム区②	11.6 (CaO 6.52g)	400	600	398

供試肥料由来の成分量の他に、標準区と同量の尿素 857mg KH₂PO₄ 1150g を施用

施肥法：ワグネルポット内の排水管が隠れる程度に赤玉土を充填し、その上に 2mm の篩を通した土壌 1 kg を置いた。

各資材所要量を 1 kg の土壌とよく混合し、ワグネルポットのすでに充填した土壌の上にのせた。

その上から、イオン交換水に溶かした上記の肥料を均一に施用した。

使用ポット 1/5000a ワグネルポット

反復数 5 ポット数 35 土壌充填量 2kg/ポット

各区に土壌採取用のポットを 1 個ずつ追加し、

経時的に pH、EC を測定した

3-2-4 供試作物の種類及び品種

実験 1 と同じ

3-2-5 試験期間

施肥	2010 年 7 月 22 日
播種	2010 年 7 月 27 日
出芽率調査	2010 年 7 月 27 日～8 月 2 日
収穫	2010 年 8 月 24 日

3-2-6 管理状況

不織布は使用しなかった。

8 月 6 日に間引きを行い、6 苗/鉢に合わせた。

収穫時は 6 苗の中から成長の良いものを 5 苗選び、収穫・測定を行った。

3-2-7 調査項目

実験 1 と同じ

3-3 分析方法及び定量方法

実験 1 と同じ

3-4 結果

統計ソフト JMP8.0 を使用し、Tukey-Kramer の HSD 検定法 ($p < 0.05$) を用いて有意差検定を行った。

3-4-1 コマツナ出芽調査成績

いずれの区も出芽率はほぼ 80% を超えたが、グラフ全体としては実験①とは違う傾向が見られ、実験①で出芽率が高かった資材無施用区・リン酸石膏肥料区が低くなり、逆に実験②で出芽率が高かった石膏ボード粉末区・炭酸カルシウム②の値が高くなった(図 10)。炭酸カルシウム①の出芽率に変化は見られなかった。各区の出芽率の間に有意差は認められなかった。

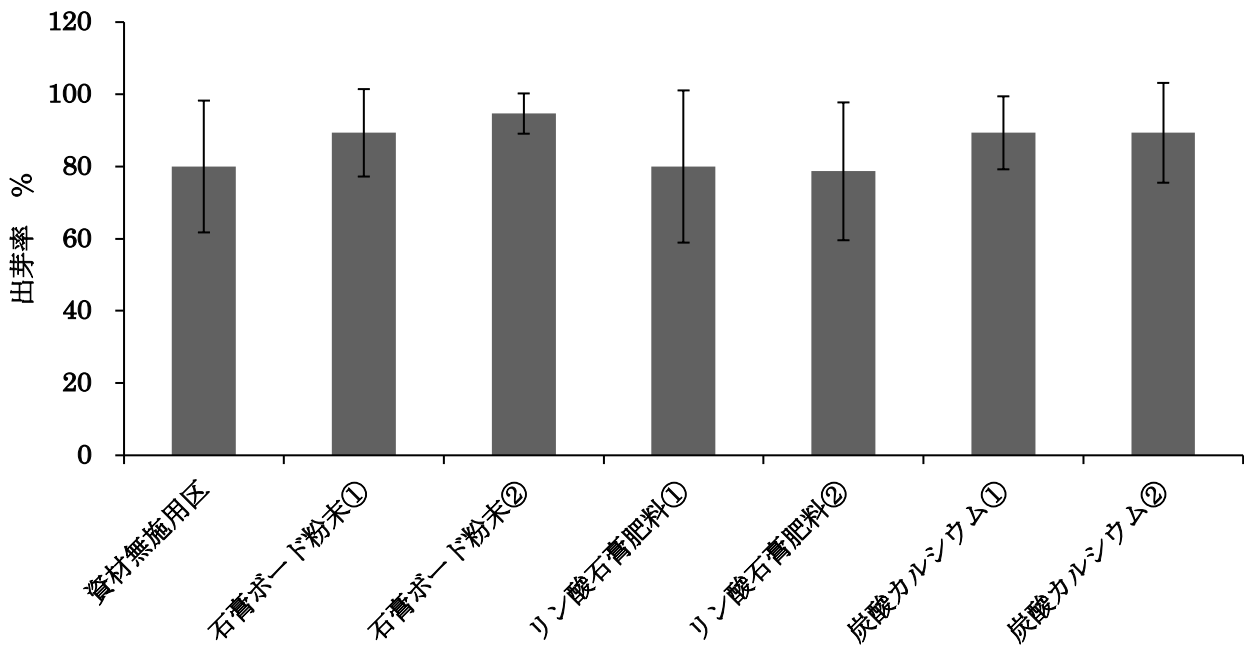


図10. 8月2日におけるコマツナ出芽率

3-4-2 コマツナ生育調査成績

3-4-2-1 コマツナ生育調査（日付ごと）

草丈はいずれの区においても有意差を示さなかった（図 11）。

8月17日から24日にかけてあまり成長しなかったため、収穫時の草丈は、ワグネルポット1回目の結果の半分ほどの値となった。炭酸カルシウム②は実験1と同様に生育が他の区よりも悪かったが、炭酸カルシウム①は他の資材施用区と同等の値となった。8月11日に調査した際は資材無施用区の生育が一番悪かったが、収穫時の調査では他の区よりも生育が良かった。

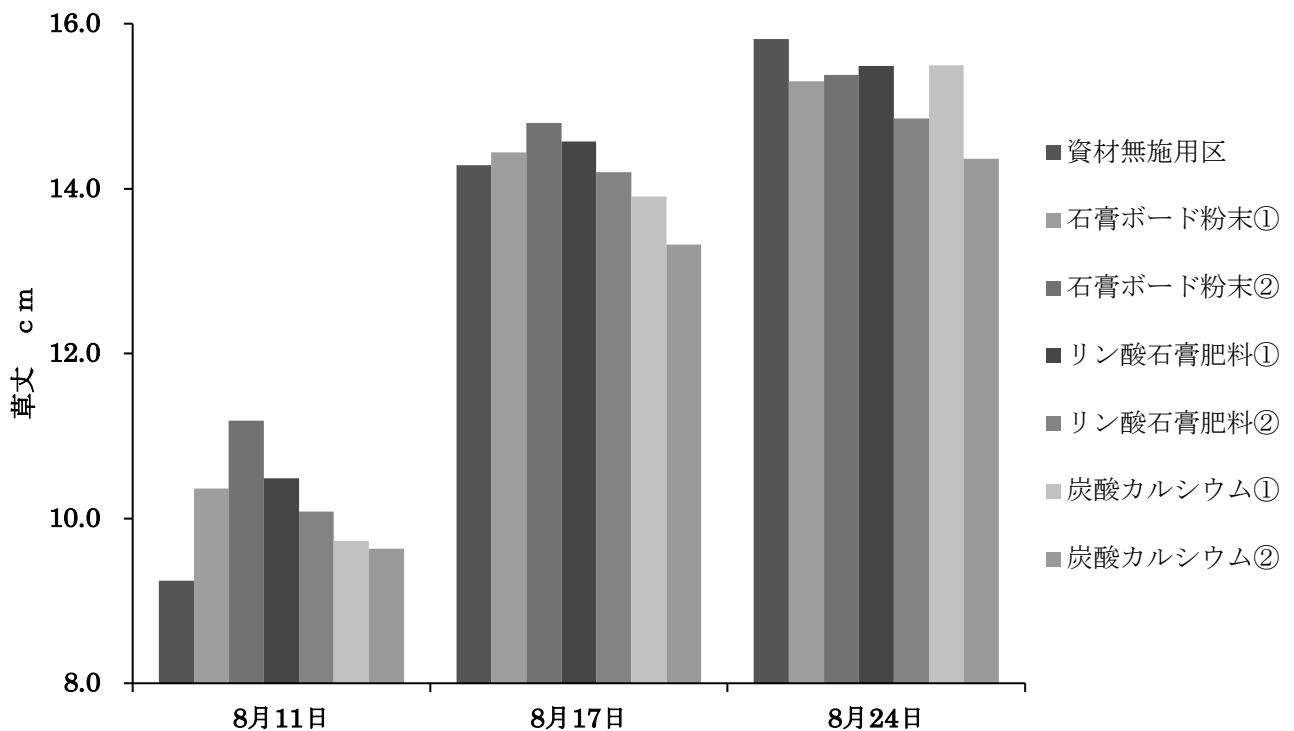


図11. コマツナ草丈の変化

3-4-3 コマツナ収量調査成績

3-4-3-1 コマツナ地上部生重

地上部生重は、資材を施用した全ての区で資材無施用区を下回った（図12）。

石膏ボード粉末区・炭酸カルシウム②における生重地上部は資材無施用区より有意に低かった。

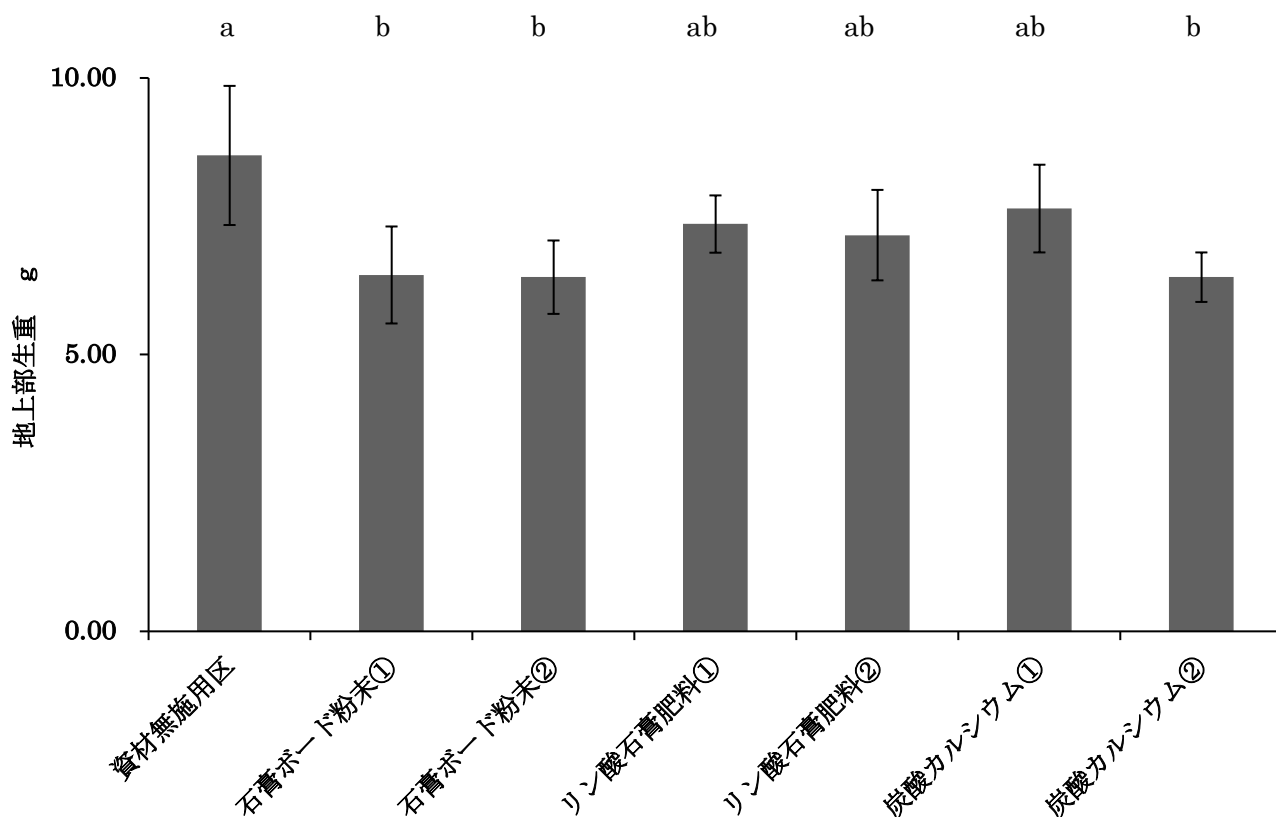


図12. コマツナ収穫時の地上部生重
(1ポット当たり)

3-4-3-2 コマツナ乾物重

コマツナ収穫時の乾物重の順位はほぼ生育調査の結果順になったが、2番目に草丈が高かった炭酸カルシウム①の乾物重は6番目の重さとなり、草丈が高い割に乾物重が軽い結果となった。（付表 表5）いずれの区においても有意差を示さなかった。

3-4-3-3 水分量

水分量は、資材を入れた全ての区で資材無施用区を下回った（図13）。

石膏ボード粉末区・炭酸カルシウム②の水分量は、資材無施用区より有意に低かった。

全体として、コマツナの草丈が高いと水分量も多い傾向が見られた。

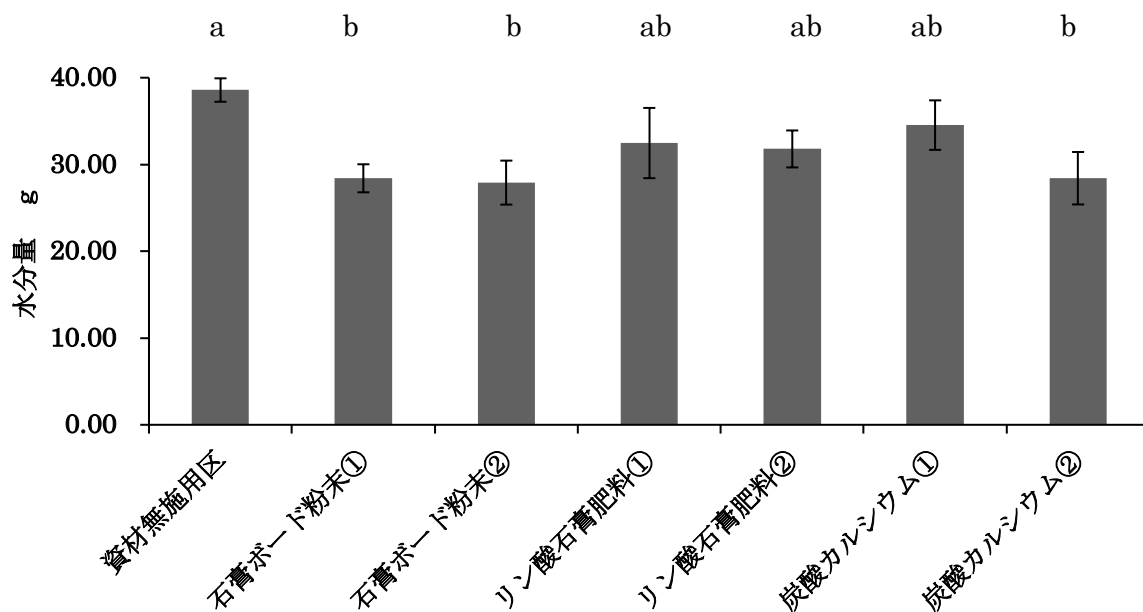


図13. コマツナ茎葉中の水分量
(1ポット当たり)

3-4-4 コマツナ成分濃度

3-4-4-1 窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カルシウム濃度

窒素:コマツナ茎葉中の窒素濃度は、いずれの区も 1.32~1.85 の間に収まり、有意差を示さなかった。全体的に実験 1 の結果を下回った (付表 表 6)。

リン酸: コマツナ茎葉中のリン酸濃度は炭酸カルシウム①の値が最も高く、リン酸石膏肥料①と有意差が認められた (図 14)。他の区では有意差を示さなかった。全体的に実験 1 よりも値が下回った。

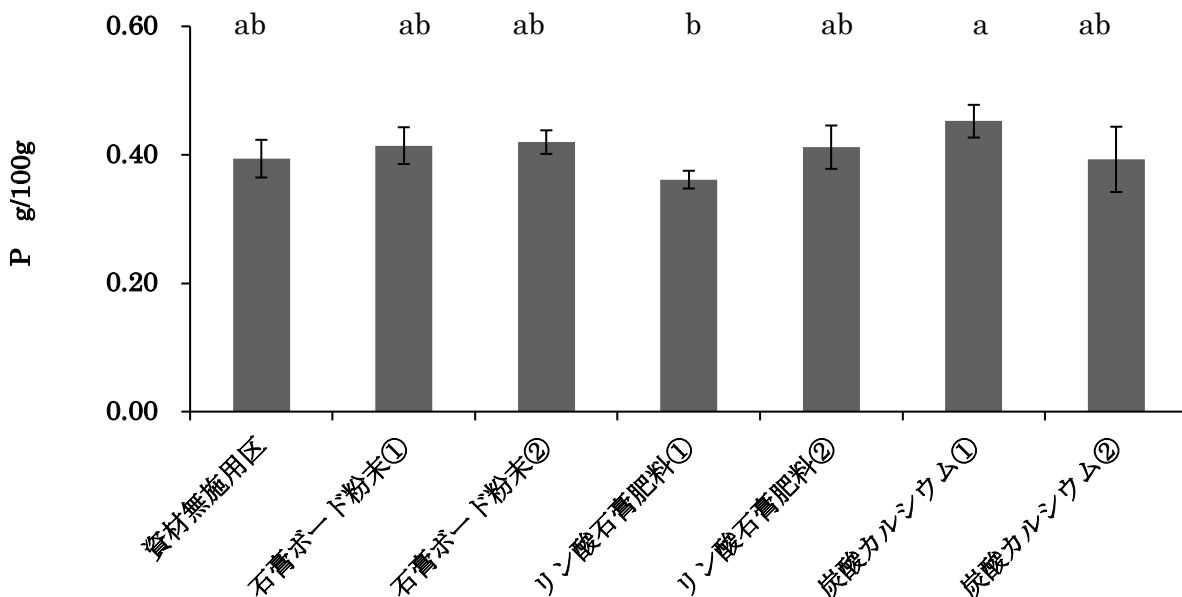


図14. コマツナ茎葉中のP濃度

カリウム:コマツナ茎葉中のカリウム濃度はいずれの区も 3.57~4.47 の間に収まり、有意差を示さなかった (付表 表 6)。炭酸カルシウム①のみが資材無施用区を上回った。全体的に実験 1 の結果を下回った。

マグネシウム：コマツナ茎葉中のマグネシウム濃度は石膏ボード粉末区の値が低く、資材無施用区と有意差が認められた（図15）。また、石膏ボード粉末①においては炭酸カルシウム①より、石膏ボード粉末②においては炭酸カルシウム①②より有意差に低かった。リン酸石膏肥料区と炭酸カルシウム区は、資材無施用区と有意な差を示さなかった。全体的に実験1とあまり値に変化はなかった。

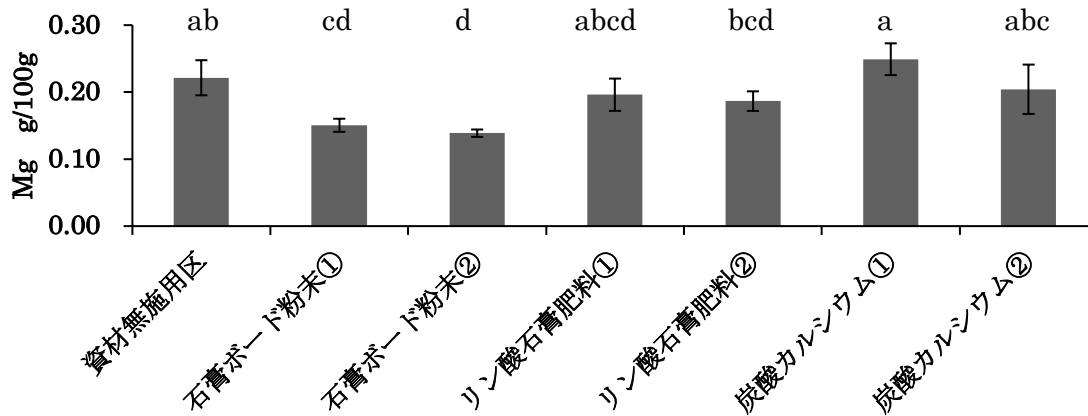


図15. コマツナ茎葉中のMg濃度

カルシウム: コマツナ茎葉中のカルシウム濃度は、資材を施用した区全てが資材無施用区を上回った(図 16)。炭酸カルシウム①の値が最も高く、資材無施用区よりも有意に高かった。他の区では有意差を示さず、全体的に実験 1 と値に変化はなかった。

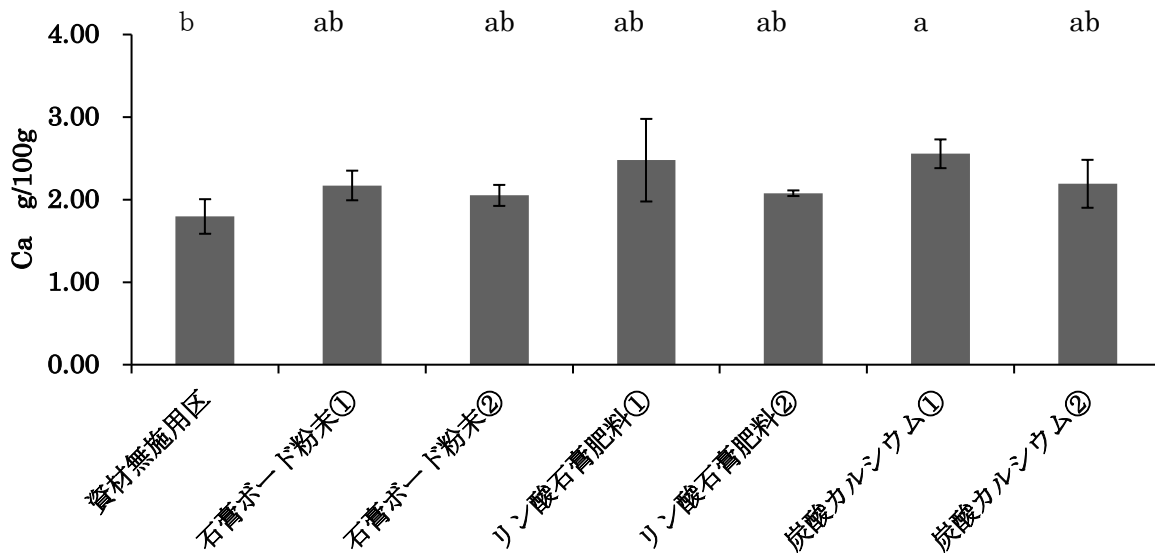


図16. コマツナ茎葉中のCa濃度

3-4-4-2 NO₃-N、NH₄-N 濃度

NO₃-N: コマツナ茎葉中の NO₃-N 濃度は、資材を施用した区では 0ppm、資材無施用区で 0.1ppm と微量だった(付表 表 6)。

NH₄-N: コマツナ茎葉中の NH₄-N 濃度はいずれの区も 0.25~0.36 の間に収まり、有意差を示さなかった(付表 表 6)。全体的に実験 1 を上回った。

3-4-5 異常症状

いずれの区においてもコマツナの生育に異常は認められなかった。

3-4-6 ポット栽培期間中の温度変化

温度記録ロガー「おんどとり TR-52」により、植物の直上部で測定した。

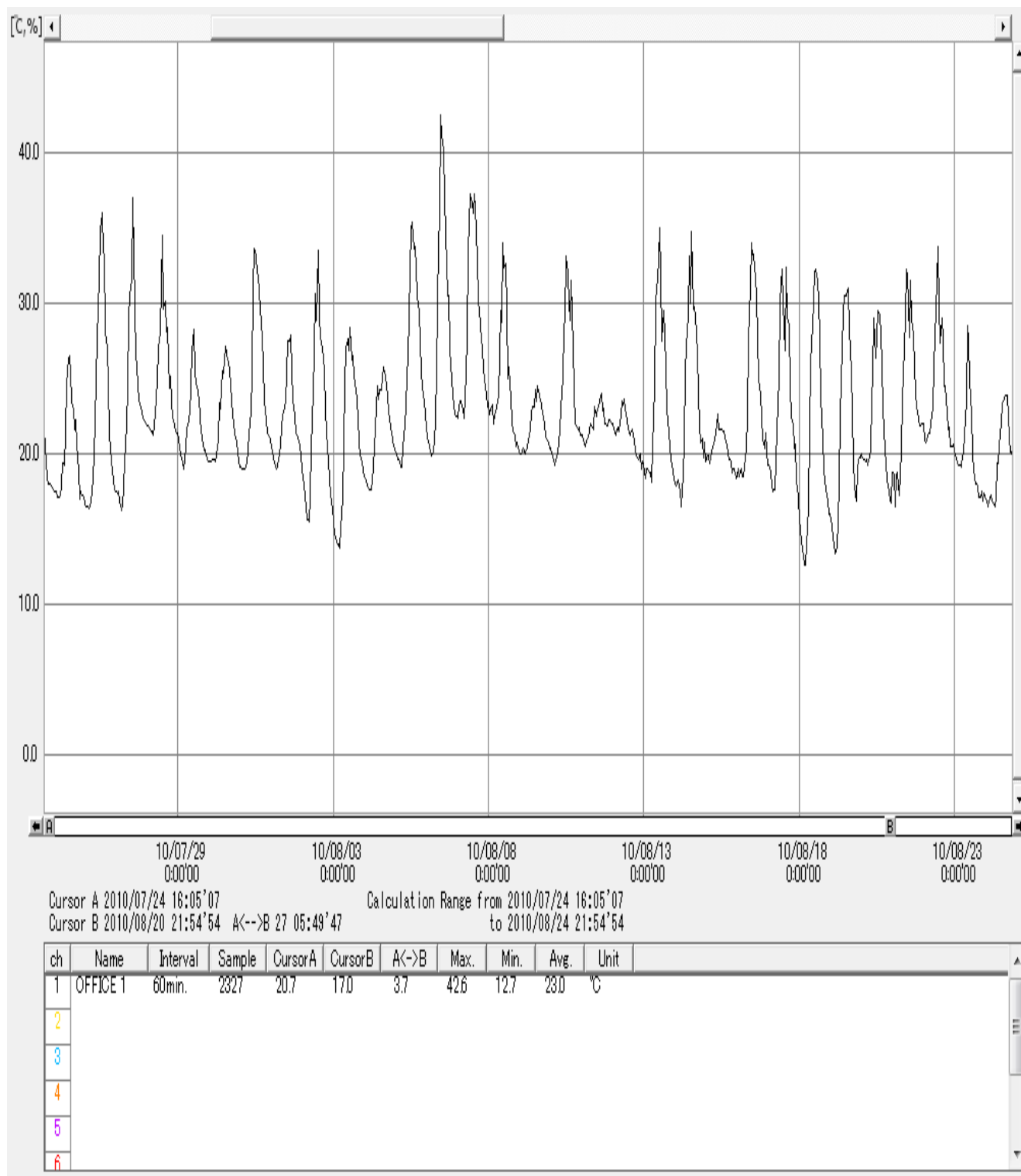


図 17. ポット栽培期間中の温度変化

3-4-7 ポット試験中の土壌 pH (H₂O)、EC の変化

3-4-7-1 土壌 pH (H₂O)

石膏ボード粉末区・リン酸石膏肥料区の土壌 pH は資材無施用区の値よりも低かった (図 18)。炭酸カルシウム区の土壌 pH は他の区の値よりも著しく高かった。炭酸カルシウム区以外は土壌診断基準 pH5.5~6.5 の範囲内だった。

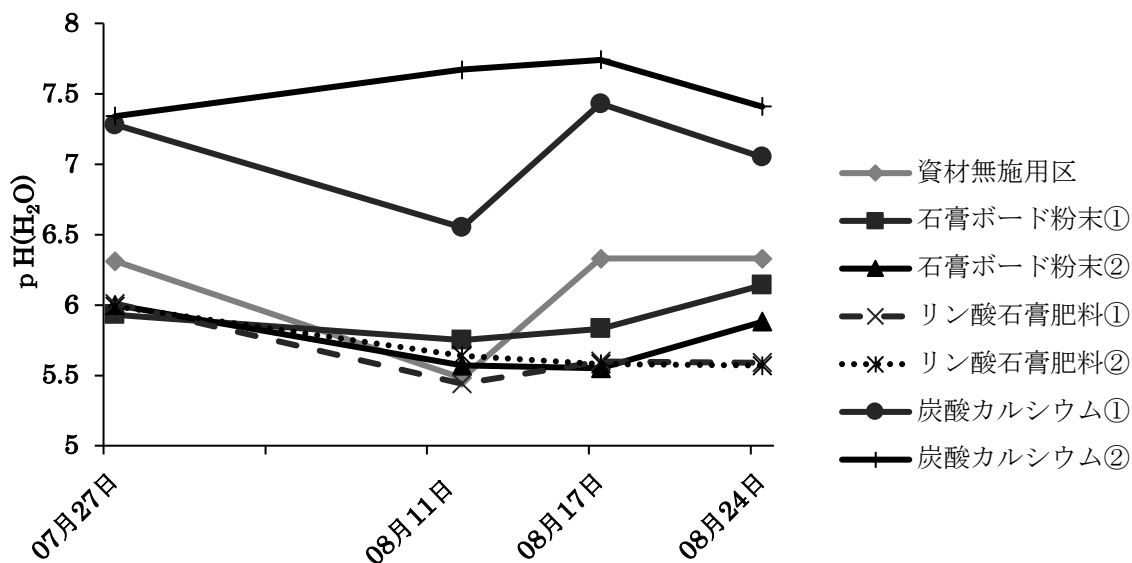


図18. 土壌pH(H₂O)の変化

3-4-7-2 土壌 EC

石膏ボード粉末区・リン酸石膏肥料区の土壌 EC は資材無施用区の値を上回った (図 19)。土壌 EC の値はいずれの区も減少していった。

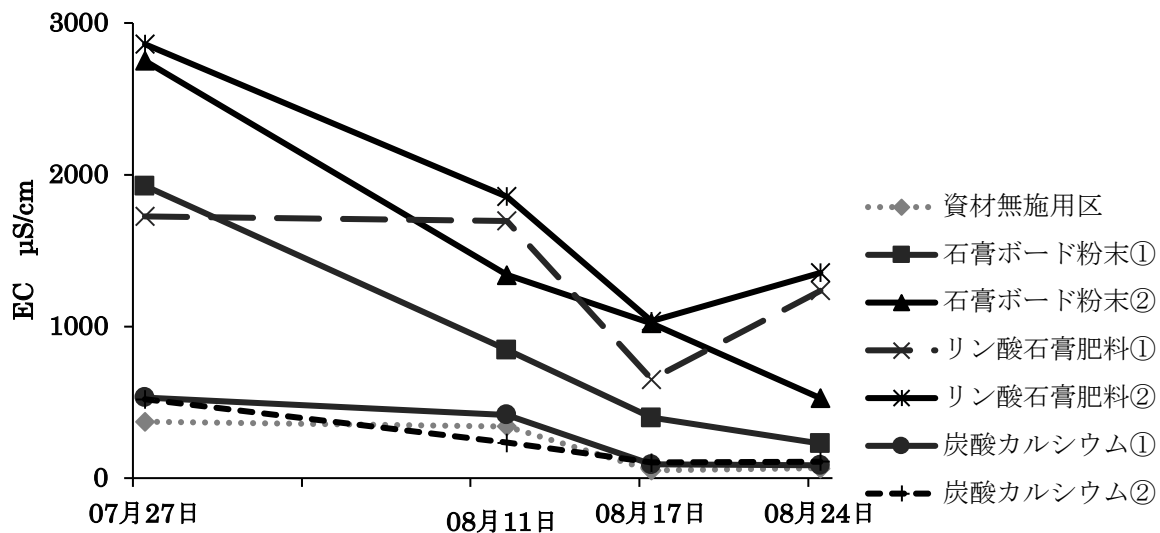


図19. 土壌 EC の変化

3-5 考察

2 回目のポット試験においても出芽率にばらつきが見られたのは、水分条件や日照条件の変動による可能性がある。

8 月 17 日～24 日にかけてコマツナの生育が悪かったのは、1 週間大雨が続いたことが影響していると考えられる。

全体的に植物成分濃度の値が実験 1 よりも低かったのは、8 月 18 日以降の大雨の影響で無機養分が溶脱したためである。窒素濃度が実験 1 とは異なり、生育と正の相関関係が見られたのは、大雨期間中の生育が停滞したため、葉の間での光の相互遮断が起こらず、また、光合成に必要なエネルギーをあまり必要としなかったからだと考えられる。石膏ボード粉末区のマグネシウム量が他の区よりも低かったのは、溶けやすい石膏ボード粉末が土壤中に溶けだし、 Ca^{2+} と土壤中の Mg^{2+} がイオン交換をし、大雨によって他の区よりも多く Mg^{2+} が溶脱し、コマツナが吸収出来る Mg^{2+} 量が減少したためである。他方、リン酸石膏「ジプライト」には 1%の MgO が含まれているため、 Mg^{2+} の減少が緩和されたものである。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 0 だったのは、大雨によって水に溶けやすい $\text{NO}_3\text{-N}$ が溶脱したためである。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が実験 1 より多かったのは、悪天候、低日照の下でコマツナの葉内でアンモニウム態窒素の有機化が遅れたためと考えられる。

土壌 EC は実験 1 とは異なり日付を追うごとに減少し、石膏ボード粉末区とリン酸石膏肥料区においては大幅に減少した。これは、大雨の影響で無機養分が溶脱したからである。また、石膏ボード粉末区とリン酸石膏区では施用した段階での EC はほぼ同じにも関わらず、最終的に差が見られたことから、石膏ボード粉末は微粉末のためリン酸石膏よりも溶けやすいためである。炭酸カルシウムは施用した段階から EC が低かったが、これは石膏ボード粉末やリン酸石膏肥料よりも溶解度が低いためである。

第4章 実験3 出芽試験

4-1 目的

実験1の際、種子の出芽にばらつきが出たため、厳密な温度・日照・水分条件で出芽試験を行い、資材の種類・施用量が出芽に関係するかを明らかにする。

4-2 材料・方法

4-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

実験1・2と同じ

4-2-2 供試土壌

実験1・2と同じ

4-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

試験区名		施用量 (g/鉢)	成分量 (mg/鉢)		
			T-N	T-P ₂ O ₂	T-K ₂ O
標準区	資材無施用区	0	24.0	36.0	23.9
供試試料区	石膏ボード粉末区①	0.6 (CaO 0.2g)	24.0	36.0	23.9
	石膏ボード粉末区②	1.2 (CaO 0.39g)	24.0	36.0	23.9
	石膏ボード粉末区③	1.8 (CaO 0.59g)	24.0	36.0	23.9
	石膏ボード粉末区④	2.4 (CaO 0.78g)	24.0	36.0	23.9
対照肥料区 1	リン酸石膏肥料区①	0.6 (CaO 0.2g)	24.0	36.0	23.9
	リン酸石膏肥料区②	1.2 (CaO 0.39g)	24.0	36.0	23.9
	リン酸石膏肥料区③	1.8 (CaO 0.59g)	24.0	36.0	23.9
	リン酸石膏肥料区④	2.4 (CaO 0.78g)	24.0	36.0	23.9
対照肥料区 2	炭酸カルシウム区①	5.8 (CaO 0.2g)	24.0	36.0	23.9
	炭酸カルシウム区②	11.6 (CaO 0.39g)	24.0	36.0	23.9

供試肥料由来の成分量の他に、標準区と同量の尿素 51.42mg、 KH_2PO_4 69mg をイオン交換水に溶かして施用した。

施肥法：各資材所要量を 120g の土壌とよく混合し、水に溶かした上記の肥料を均一になるようにかける

使用ポット 種苗用の黒いビニールポット（容量 150g）

反復数 10 ポット数 110 土壌充填量 120g/ポット

4-2-4 供試作物の種類及び品種

供試作物：コマツナ

品種：タキイ種苗 夏楽天

5×4 の升目状になるように 20 粒播種した

播種は、土壌と肥料がなじんだ後行った(5 日後)

4-2-5 試験期間

施肥	2010 年 7 月 4 日
播種	2010 年 7 月 9 日
調査	2010 年 7 月 15 日

4-2-6 管理状況

栽培場所：インキュベータ内（SANYO INCUBATOR MIR-553 製造番号 060245）

一日の内、25℃で12時間（6～18時）

18℃で12時間（18～6時）になるよう設定

灌水：各区から一つポットを選び、ポットの重さを測定した。

最大容水量の60%の状態の重さから測定した値を引き、減った分の水の重さを算出し、その平均値のイオン交換水を与えた。

毎日15時半～16時半に行った

（インキュベータでの時間は6時半～7時半）

4-2-7 調査項目

出芽状況

4-3 調査方法

実験1・2と同じ

4-4 結果

統計ソフト JMP8.0 を使用し、Tukey-Kramer の HSD 検定法 ($p < 0.05$) を用いて有意差検定を行った。

厳密な温度・日照・水分条件下でのコマツナの出芽率は有意差を示さなかった (図 20)。いずれの区も発芽率 85% を超えた。

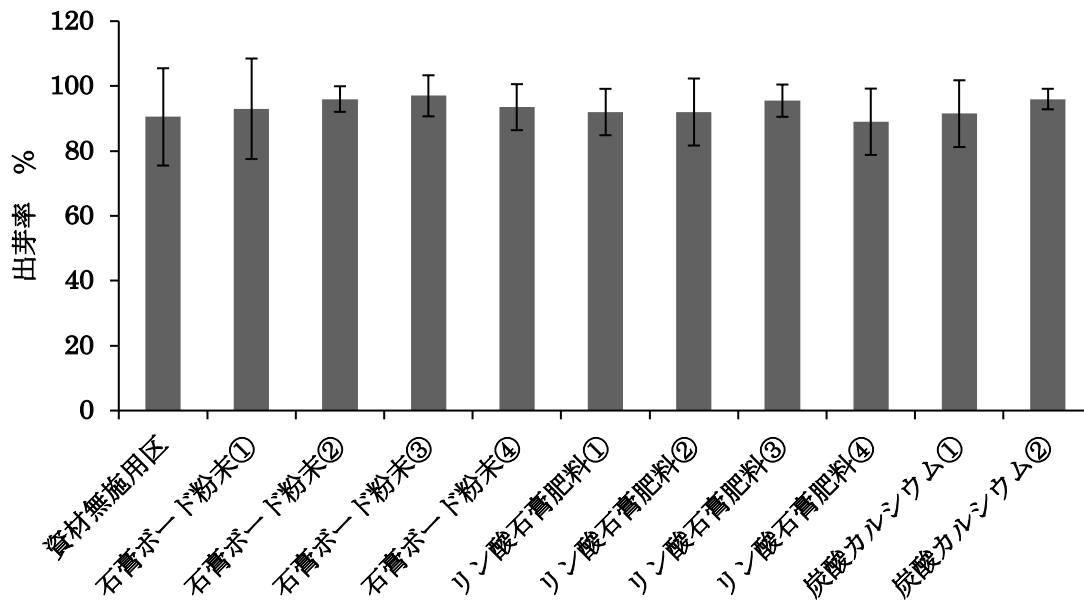


図20. 出芽試験におけるコマツナ出芽率

4-5 考察

厳密な温度・日照・水分条件下でのコマツナの出芽率は、いずれの区においても有意差を示さず、高い出芽率を示したことから、石膏ボード粉末や他の資材を多量に施用しても、出芽に影響しないといえる。

実験 1・2 で出芽率にばらつきが出たのは、水分条件・日照条件の変動及び野外での栽培に伴う様々な不確定要因によるものと考えられる。また、実験 1 の際には 6 月 12 日に不織布下が 47°C まで上がってしまい、出芽した芽の何本かが死んでしまったことも、影響している。

第5章 実験4 植害試験(ノイバウエル法)

5-1 目的

石膏ボード粉末に、リン酸石膏肥料と同等あるいはそれ以上の効果が見られるかどうかを検証する。また、多量施用のもとで生育阻害が出ないかを検証する。

5-2 材料・方法

5-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

実験1・2・3と同じ

5-2-2 供試土壌

実験1・2・3と同じ

5-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

試験区名		施用量 (g/鉢)	成分量 (mg/鉢)		
			T-N	T-P ₂ O ₂	T-K ₂ O
標準区	資材無施用区	0	90	135	89.7
供試試料区	石膏ボード粉末区①	2.25 (CaO 0.7335g)	90	135	89.7
	石膏ボード粉末区②	4.5 (CaO 1.467g)	90	135	89.7
	石膏ボード粉末区③	6.75 (CaO 2.2005g)	90	135	89.7
	石膏ボード粉末区④	9 (CaO 2.934g)	90	135	89.7
対照肥料区 1	リン酸石膏肥料区①	2.25 (CaO 0.7335g)	90	135	89.7
	リン酸石膏肥料区②	4.5 (CaO 1.467g)	90	135	89.7
	リン酸石膏肥料区③	6.75 (CaO 2.2005g)	90	135	89.7
	リン酸石膏肥料区④	9 (CaO 2.934g)	90	135	89.7

供試肥料由来の成分量の他に、標準区と同量の尿素 192.6mg、KH₂PO₄ 259.2mg を施用

施肥法：各資材所要量を 450g の土壌とよく混合してノイバウエルポットに充填した後、イオン交換水に溶かした上記の肥料を均一になるように施用した。

使用ポット ノイバウエルポット

反復数 5 ポット数 45 土壌充填量 450g/ポット

5-2-4 供試作物の種類及び品種

供試作物：コマツナ

品種：タキイ種苗 夏楽天

5×4 の升目状になるように 20 粒播種

播種は、土壌と肥料がなじんだ後行った(5 日後)

5-2-5 試験期間

施肥	2010 年 7 月 2 日
播種	2010 年 7 月 7 日
出芽率調査	2010 年 7 月 7 日～7 月 13 日
収穫	2010 年 8 月 3 日

5-2-6 管理状況

栽培場所：帯広畜産大学 地域共同センター内温室

灌水：各区からひとつポットを選び、ポットの重さを測定した。

最大容水量の 60%の状態の重さから測った値を引き、減った分の水の重さを算出し、

その平均値のイオン交換水を毎夕与えた。

7 月 20 日に間引きを行った。

5-2-7 調査項目

栽培前後の土壌理化学性	pH、EC、最大容水量
生育調査	作物の出芽状況 草丈、写真撮影(毎週) 収穫時の草丈・生体重・乾物重 異常症状の有無
コマツナ収穫後の植物体成分の分析	窒素、リン酸、カリウム、 マグネシウム、カルシウム

5-3 分析方法及び定量方法

実験 1・2 と同じ

5-4 結果

統計ソフト JMP8.0 を使用し、Tukey-Kramer の HSD 検定法 ($p < 0.05$) を用いて有意差検定を行った。

5-4-1 コマツナ出芽調査成績

コマツナの出芽率は全ての区で 85% を超えた (図 21)。

いずれの区においても有意差を示さなかった。

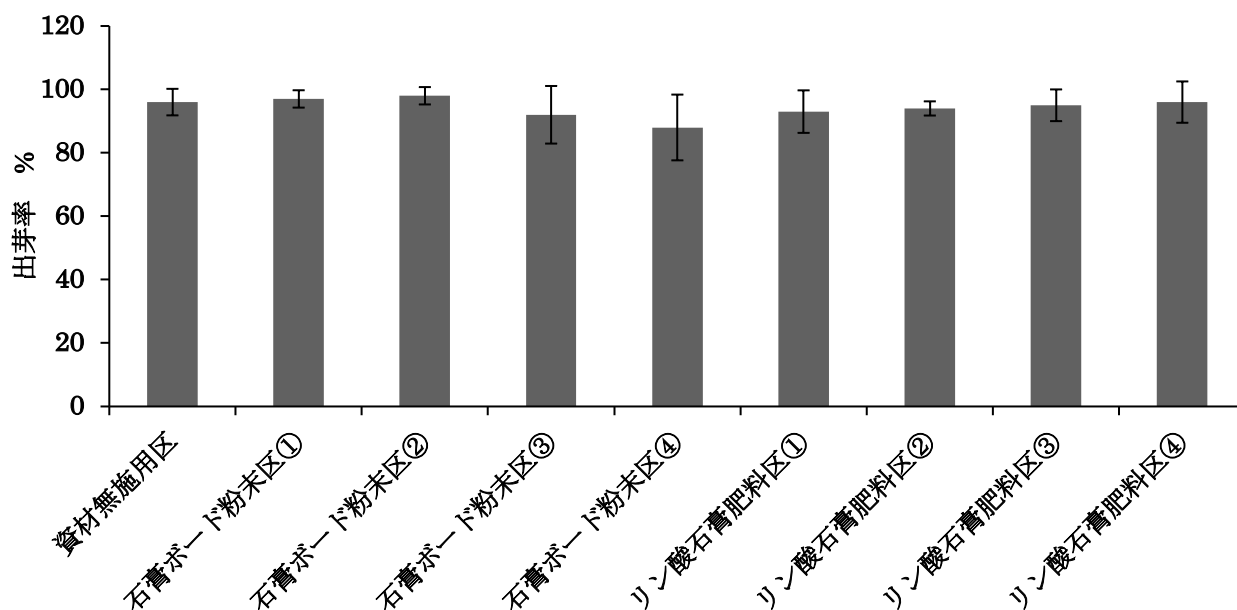


図21. 7月13日におけるコマツナ出芽率

5-4-2 コマツナ生育調査成績 収穫時

コマツナの草丈は、収穫日のみ測定した。

石膏ボード粉末区③④とリン酸石膏肥料区①で他の区よりも高い草丈となったが、石膏ボード粉末③とリン酸石膏肥料区①においてはばらつきが大きかった（図 22）。

いずれの区においても有意差を示さなかった。

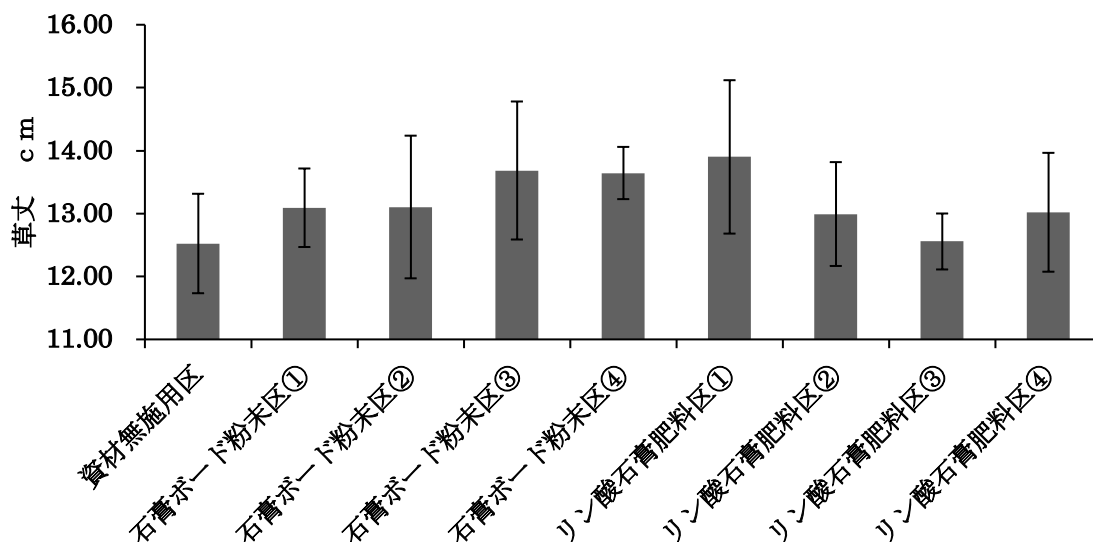


図22. コマツナ収穫時草丈

5-4-3 コマツナ収量調査成績

5-4-3-1 コマツナ地上部生重

コマツナの地上部生重は、いずれの区においても有意差を示さなかった(付表 表9)。

草丈と同じ順位となった。

5-4-3-2 コマツナ乾物重

コマツナの乾物重は、いずれの区においても有意差を示さなかった(付表 表9)。

草丈とほぼ同じ順位となった。

5-4-3-3 コマツナ水分量

コマツナ的水分量は、いずれの区においても有意差を示さなかった（付表 表9）。
順位は草丈・乾物重とは逆の傾向が見られた。

コマツナ的水分量とコマツナの草丈・乾物重を比較すると、コマツナの草丈・乾物重が高いほど、水分量が低い傾向が見られた。

5-4-4 コマツナ成分濃度

5-4-4-1 窒素・リン酸・カリウム・マグネシウム・カルシウム濃度

カリウム：コマツナ茎葉中のカリウム濃度は、石膏ボード粉末区①②・リン酸石膏区①は資材施用区を上回った（図23）。石膏ボード粉末区③④・リン酸石膏区③④は資材無施用区とほぼ同じ値だった。リン酸石膏区②は資材無施用区よりも下回った。

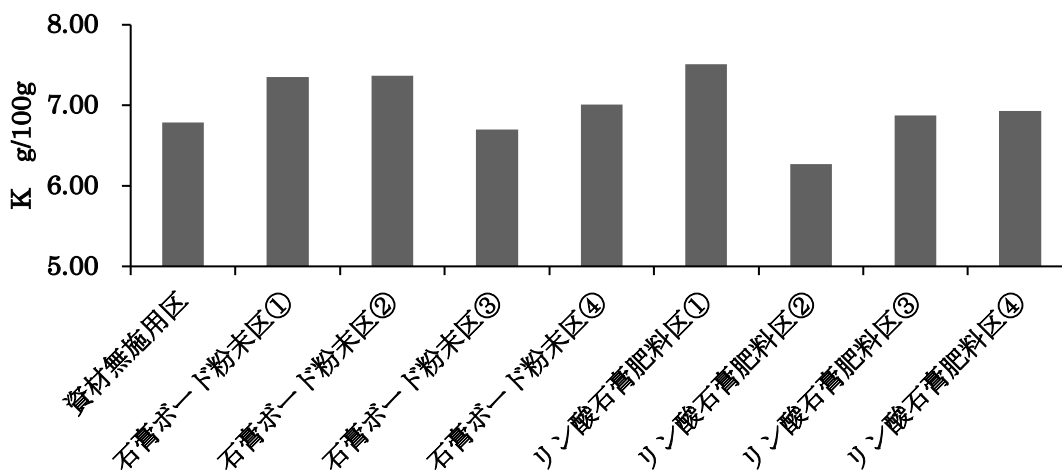


図23. コマツナ茎葉中のK濃度

マグネシウム・リン酸：コマツナ茎葉中のマグネシウム濃度については、いずれの区も資材無施用区を下回った(図 24)。

コマツナ茎葉中のリン酸濃度については、いずれの区も資材無施用区を上回った(図 24)。

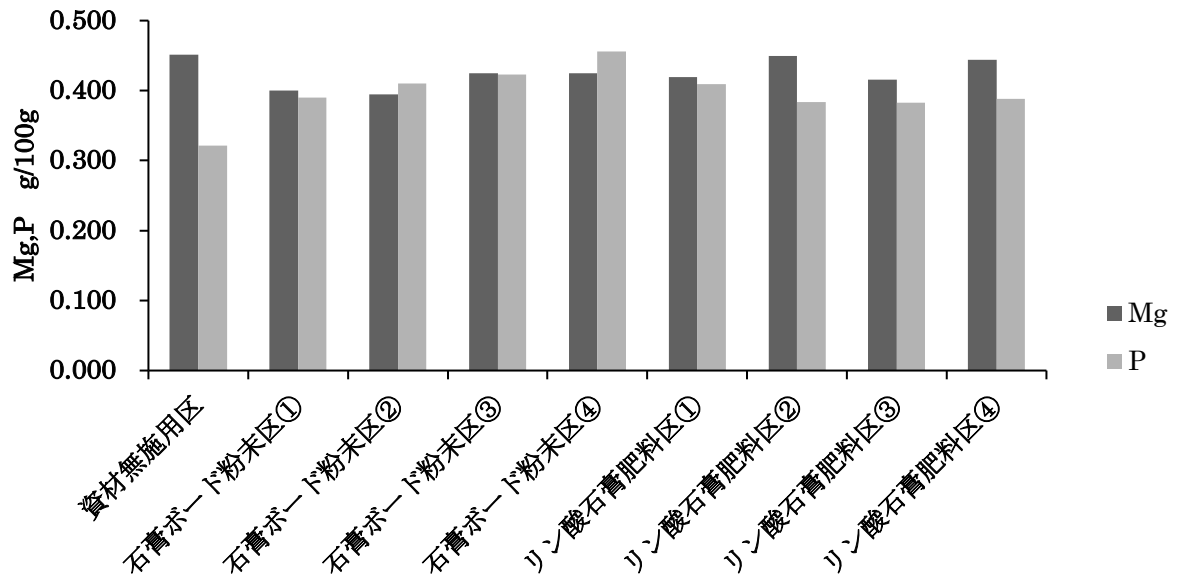


図24. コマツナ茎葉中のMg, P濃度

カルシウム・窒素：コマツナ茎葉中のカルシウム濃度については、いずれの区も差は見られなかった(図 25)。

コマツナ茎葉中の窒素濃度については、石膏ボード粉末区②、リン酸石膏肥料区①②④が資材無施用区の約倍の値になった。順位は草丈・乾物重と同じ傾向が見られた(図 25)。

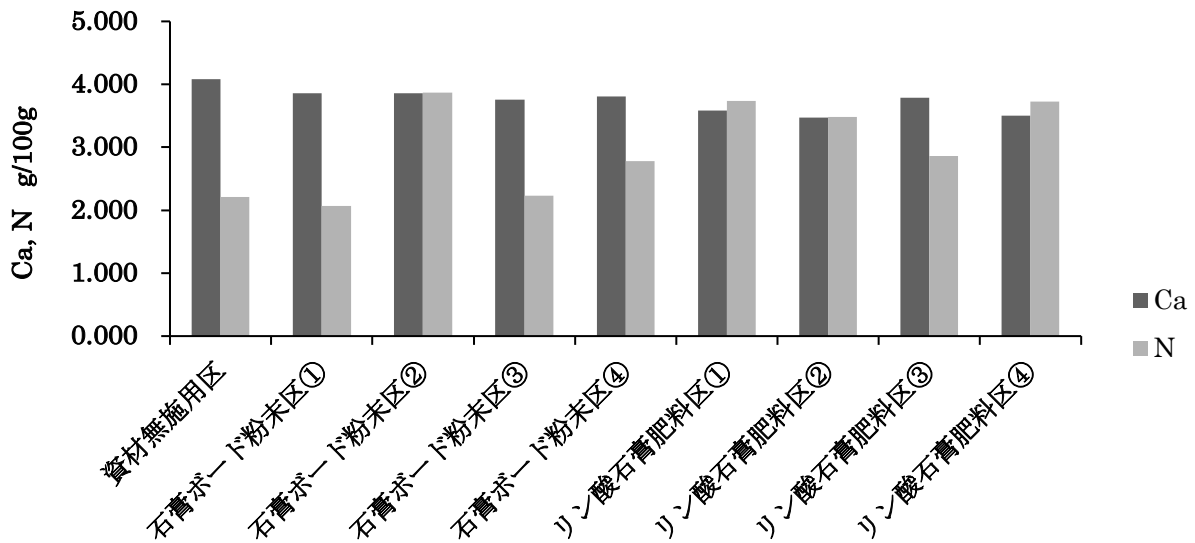


図25. コマツナ茎葉中のCa, N濃度

5-4-4-2 NO₃-N、NH₄-N 濃度

NO₃-N：コマツナ茎葉中の NO₃-N 濃度は、いずれの区も資材無施用区を下回った(図 26)。

石膏ボード粉末区の方が、全体的にリン酸石膏肥料区よりも濃度が高くなった。

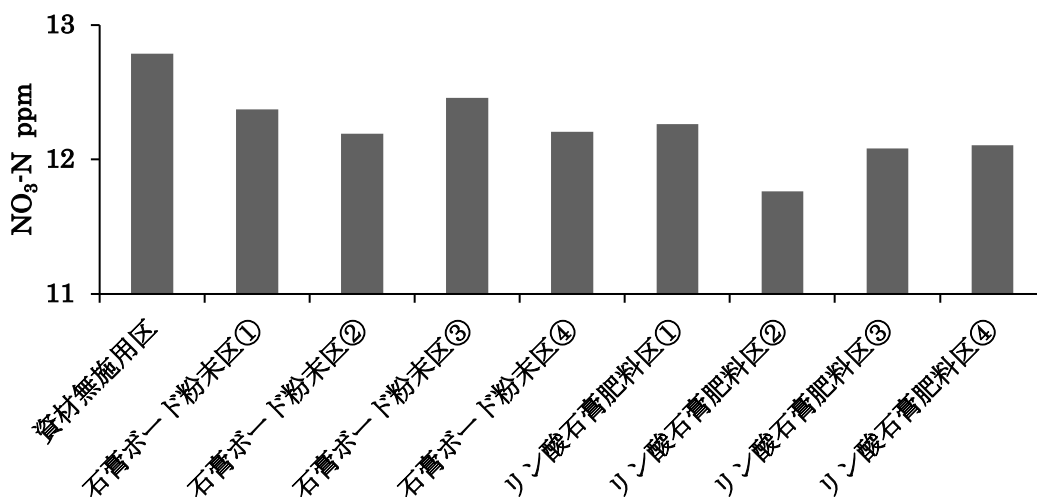


図26. コマツナ茎葉中のNO₃-N濃度

NH₄-N：コマツナ茎葉中の NH₄-N 濃度は、いずれの区においても差が見られなかった(図 27)。

石膏ボード粉末区の方が、全体的にリン酸石膏肥料区よりも濃度が高くなった。

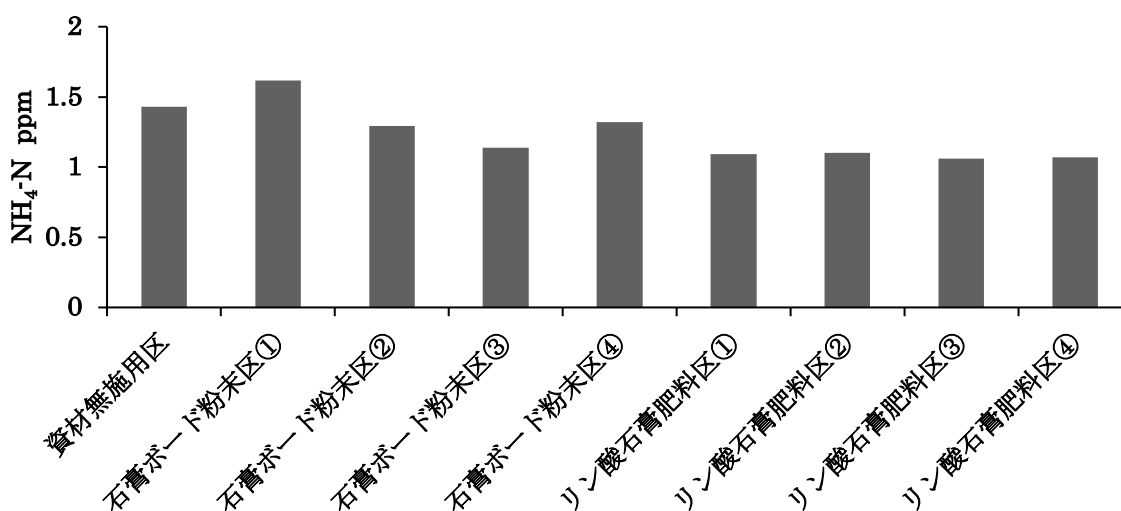


図27. コマツナ茎葉中のNH₄-N濃度

5-4-5 異常症状

いずれの区においてもコマツナの生育に異常は認められなかった。

5-4-6 ポット栽培期間中の温度変化

温度記録ロガー「おんどとり TR-52」により、植物の直上部で測定した。

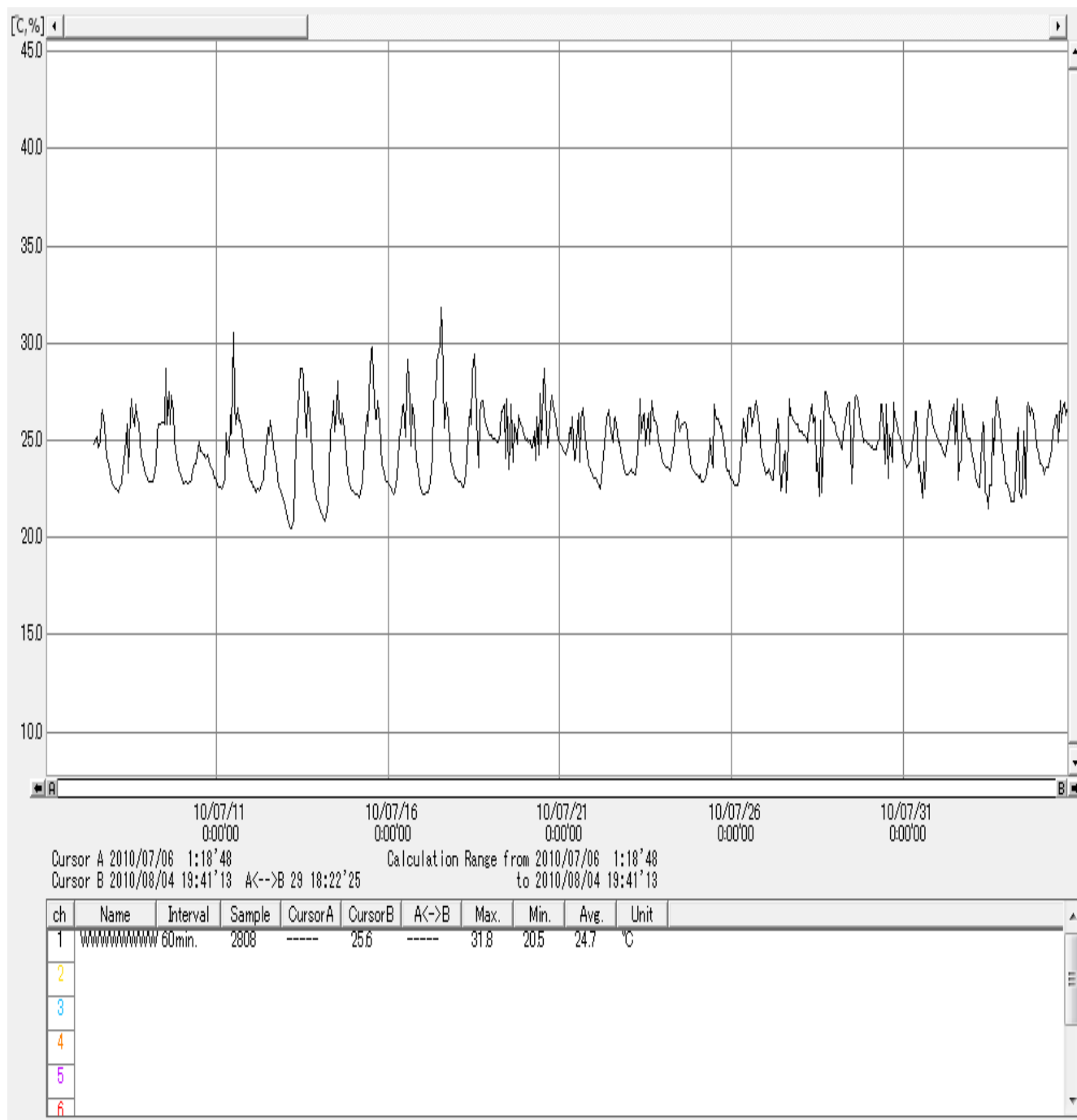


図 28. ポット栽培期間中の温度変化

5-4-7 ポット試験前後の土壌 pH (H₂O)、EC の変化

土壌 pH(H₂O) : ポット試験前後の土壌 pH は、いずれの区においても差が見られず、試験後は試験前よりも pH が上昇する傾向が見られた (図 29)。

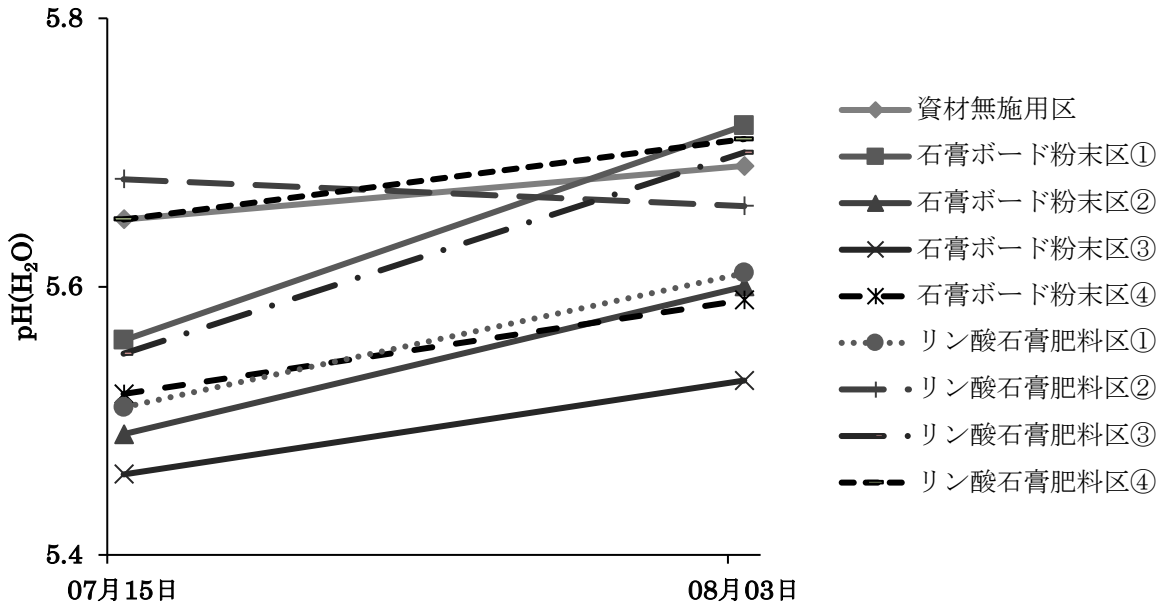


図29. 土壌 pH(H₂O)試験前後の変化

土壌 EC : 土壌 EC は、試験前後で大きな変動はなく、いずれの区も資材無施用区の値を上回った(図 30)。資材を多く入れたものの値が大きかった。

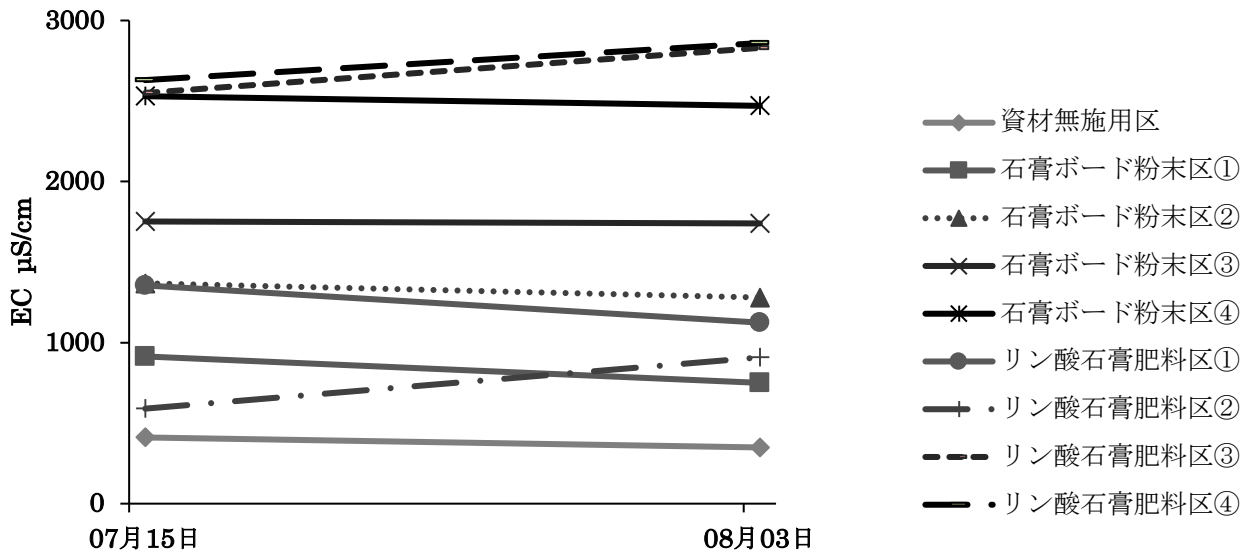


図30. 土壌EC試験前後の変化

5-5 考察

石膏ボード粉末およびリン酸石膏肥料を高濃度レベルまで施用した植害試験においても出芽率に差が見られなかったため、資材を多量に施用しても出芽に影響しないことがわかった。また、収穫調査で有意差が見られなかったため、資材を多量に施用しても生育に影響しないことがわかった。

植物体中のカリウム・マグネシウム・カルシウムの濃度と $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度がポット試験の場合よりも高かったのは、ノイバウエルポットには排水管がなく、溶脱を防ぐことが出来たからだと考えられる。また、ポット試験では植物体中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度が低かったにも関わらず、植害試験で高かったことから、肥料として施用された $\text{NH}_4\text{-N}$ が土壌中で硝酸化成作用により、 $\text{NO}_3\text{-N}$ に変化し、その後溶脱することなく植物に吸収されたためと考えられる。また、石膏資材を施用した区では窒素の濃度が資材無施用区の 2 倍近くまで増大していたことから、 Ca^{2+} との共存は、硝酸塩イオンの吸収を著しく促進することが推察された。リン酸の濃度も石膏資材の施用によりいずれの区でも増加したことから、石膏はリン酸肥料の可給性も高める効果があることが示された。植物体中のマグネシウムの濃度は石膏資材の施用によって減少したが、これは Ca^{2+} と Mg^{2+} の吸収には拮抗関係があることが従来から指摘されており（牧野 2001）、そのことを反映する結果となった。

土壌 EC の値が資材無施用区よりも高く、試験後も特に変化が見られなかったのは、溶脱が起こらなかったからだと考えられる。

第6章 実験5 作土に施用した石膏肥料の下層土改良効果

6-1 目的

リン酸石膏は溶解度が高いため、下層土改良効果が期待されている（藤間 1996）。
石膏ボード粉末にもリン酸石膏と同程度の下層土改良効果があるかどうかを検討する。

6-2 材料・方法

6-2-1 供試肥料・対照肥料の種類・名称及び分析成績書

実験1・2・3・4と同じ

6-2-2 供試土壌

実験1・2・3・4と同じ

6-2-3 施肥の設計及び試験区の名称

試験区名		施用量 (g/カラム)
標準区	資材無施用区	0
供試試料区	石膏ボード粉末区①	0.9 (CaO 0.2934g)
	石膏ボード粉末区②	1.8 (CaO 0.5868g)
対照肥料区 1	リン酸石膏肥料区①	0.9 (CaO 0.2934g)
	リン酸石膏肥料区②	1.8 (CaO 0.5868g)
対照肥料区 2	炭酸カルシウム区①	0.5 (CaO 0.2934g)
	炭酸カルシウム区②	1.0 (CaO 0.5868g)

使用カラム：プラスチックカラム 500ml (直径 5cm、長さ 25cm 藤原製作所製)

反復数 2 カラム数 14 土壌充填量 377g/カラム

6-2-4 試験方法

1. カラムの底にろ紙を敷いた。
2. 100ml ずつ土壌を 4 回充填し、その都度イオン交換水で湿らせて最大容水量の 60%にした。本供試土壌の場合、100ml84g の風乾土に 41ml のイオン交換水を添加した。全体に水分が行き渡るように、5 日間放置する。この間底から水が抜けないようにテープを張った。
3. 資材所要量を 42 g の土壌とよく混合し、土壌を充填したカラムの上部にろ紙をひいてから重ね、20ml の水で湿らせた。
4. 毎日降雨量 23mm 分の蒸留水 46ml を与えた。
カラムはスタンドで固定し、ビーカーに溶出液を集めた。

イオン交換水の量は、1971 年～2000 年までの帯広市の 6 月～9 月の平均降雨量 4 カ月分である 459.3mm を 20 日で割り、算出した。

6-2-5 試験期間

土壌充填	12 月 10 日(金) (最大容水量の 60%に合わせる)
試験期間	12 月 15 日(水)～1 月 3 日(月)の 20 日間

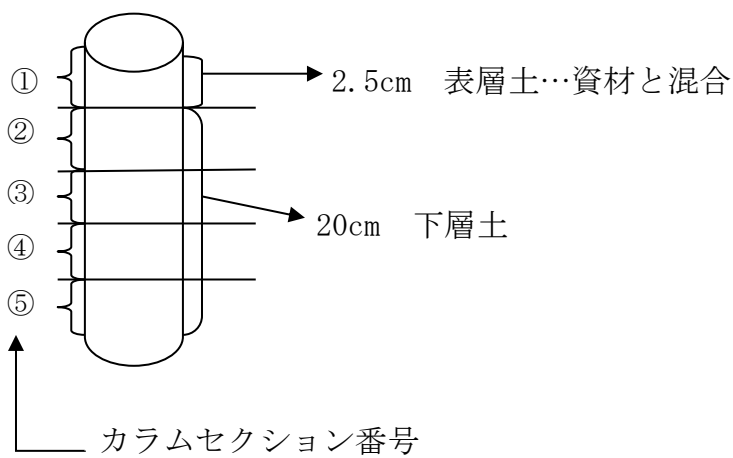
6-2-6 調査項目

試験前後の土壌の pH(H₂O) ・ pH(KC 1) ・ EC

(試験後は、表層土 2.5cm、下層土 5cm×4 の区画にカッターで切り分けて土壌を取り出し、46 度で風乾した後測定した。)

区画ごとのカリウム ・ マグネシウム ・ カルシウム量 ・ 交換酸度を測定した。

溶出液の pH(H₂O) ・ EC は毎日測定した。



6-3 分析方法及び定量方法

6-3-1 溶出液 pH (H₂O)

溶出液をそのまま pH メーターで測定した。

6-3-2 溶出液 EC

溶出液をそのまま EC メーターで測定した。

6-3-3 土壌 pH (H₂O)

実験 1・2・4 と同じ

6-3-4 土壌 pH (KC 1)

「土壌および作物栄養の診断基準—分析法（改訂版）—北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課編(1992)」 p 56 に基づき行った。

6-3-5 土壌 EC

実験 1・2・4 と同じ

6-3-6 交換酸度

土壌および作物栄養の診断基準—分析法（改訂版）—北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課編(1992)」 p 56 に基づき行った。

6-3-7 交換性塩基

「土壤環境分析法 土壤環境分析法編集委員会編」 p 218 に基づき行った。

定量：簡易法・バッチ法—b

0.05M 酢酸アンモニウム—0.0114M 塩化ストロンチウム溶液：

$\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 3.04g および酢酸アンモニウム 3.85g を水に溶かして 1L に希
積した

風乾土 0.5g を 250ml 容のポリエチレン振とうビンに入れ、酢酸アンモニウム—
塩化ストロンチウム溶液を 100ml 加え、1 時間浸透し、ろ紙 No. 6 でろ過し
た。

カリウム・マグネシウムはろ液をそのまま、カリウムはろ液を 10 倍希釈して
から原子吸光光度計 HITACHI Z-5010 で測定した。

6-4 結果

統計ソフト JMP8.0 を使用し、Tukey-Kramer の HSD 検定法 ($p < 0.05$) を用いて有意差検定を行った。

6-4-1 溶出液 pH (H_2O)、EC の変化

6-4-1-1 溶出液 pH (H_2O) の変化

溶出液 pH (H_2O) はいずれの区も上昇していった(図 31)。

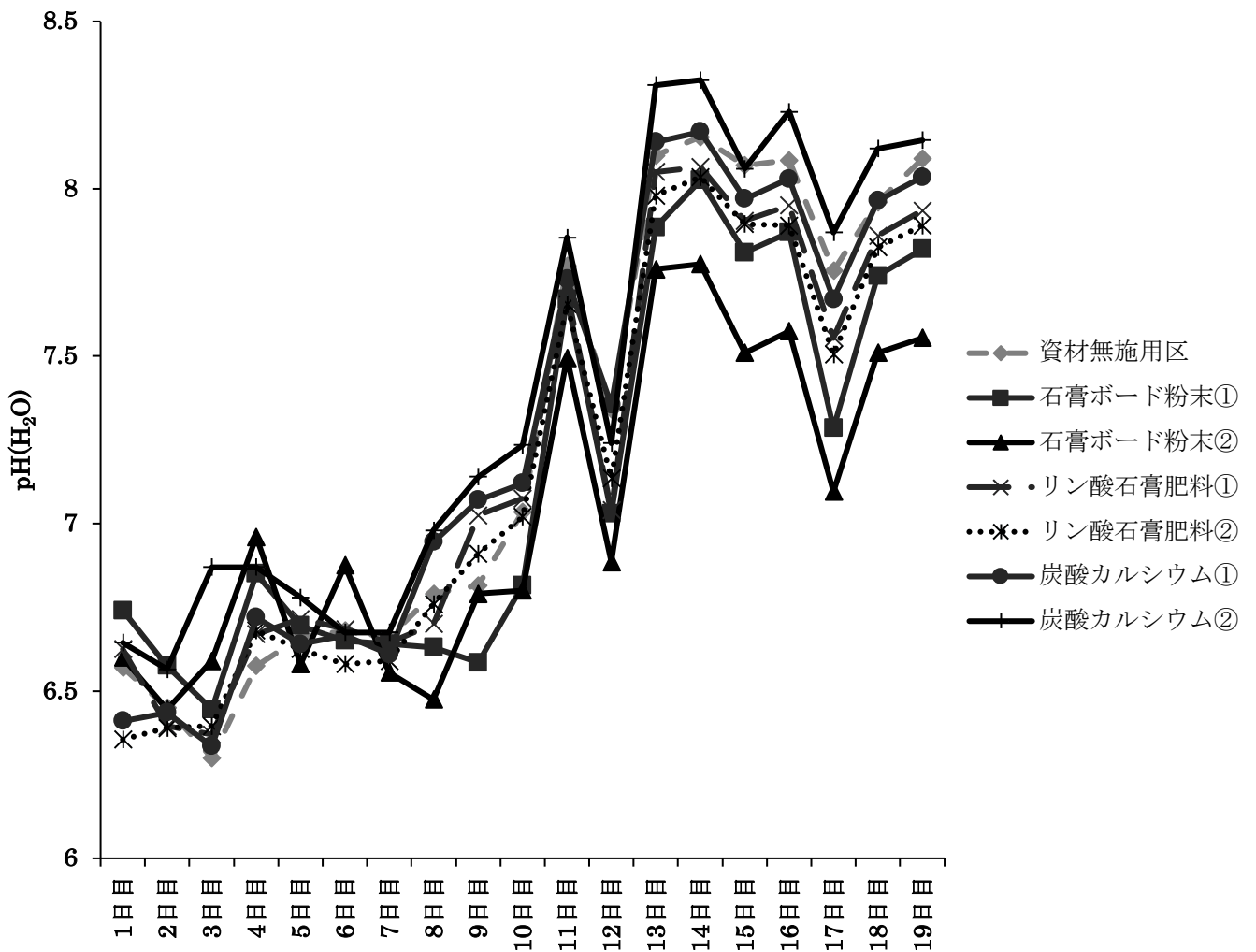


図31.溶出液 pH (H_2O) の変化

溶出液 pH (H₂O) の変化を資材無施用区と石膏ボード粉末区で比べると、6 日目までは石膏ボード粉末区の溶出液 pH (H₂O) の方が高い値となったが、7 日目以降は資材無施用区の方が高い値となった (図 31-1)。12 日目まではいずれの区においてもさほど差は見られなかったものの、13 日目以降は差が見られ、資材無施用区、石膏ボード粉末①、石膏ボード粉末②の順に値が高く、石膏ボード粉末施用量が多いほど、溶出液の pH が著しく低くなった。

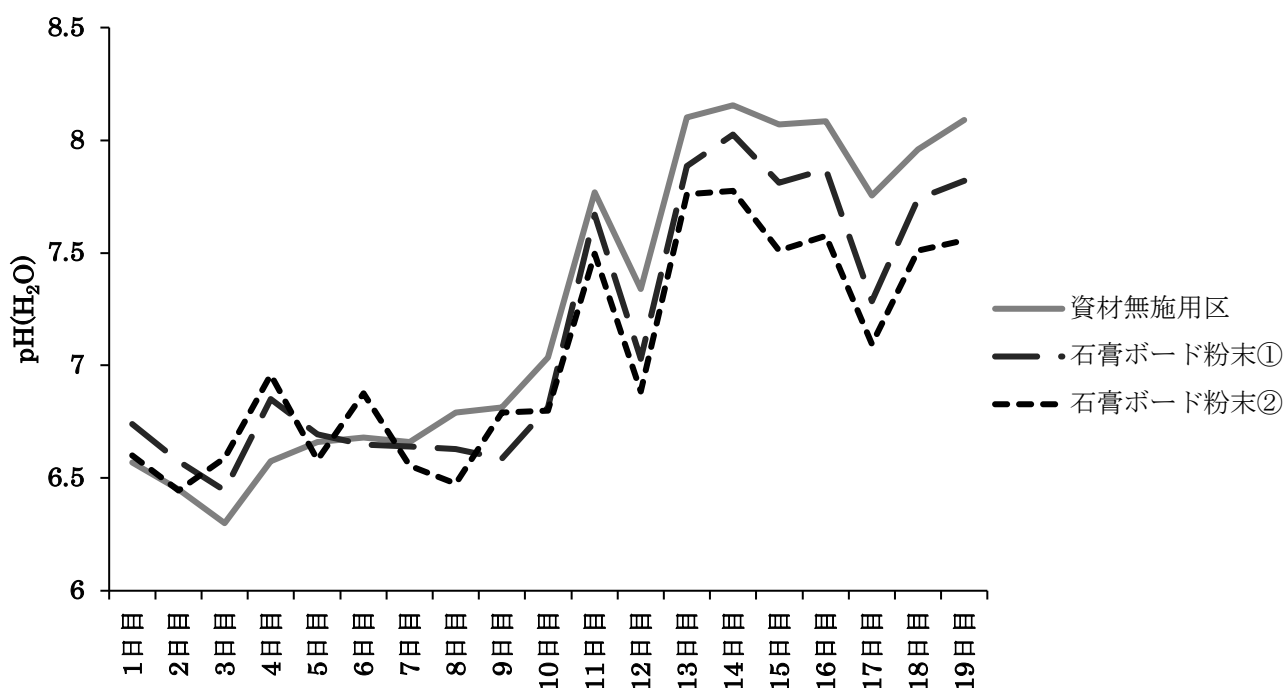


図31-1.資材無施用区と石膏ボード粉末区の溶出液 pH(H₂O) の変化

溶出液 pH (H₂O) の変化を資材無施用区とリン酸石膏肥料区で比べた (図 31-2)。リン酸石膏肥料を施用した場合も 13 日以降溶出液の pH が資材無施用区よりも低下したが、石膏ボード粉末区 (図 31-1) と比べると、pH 低下の度合いは低く、施用量の違いも影響を及ぼしていなかった。

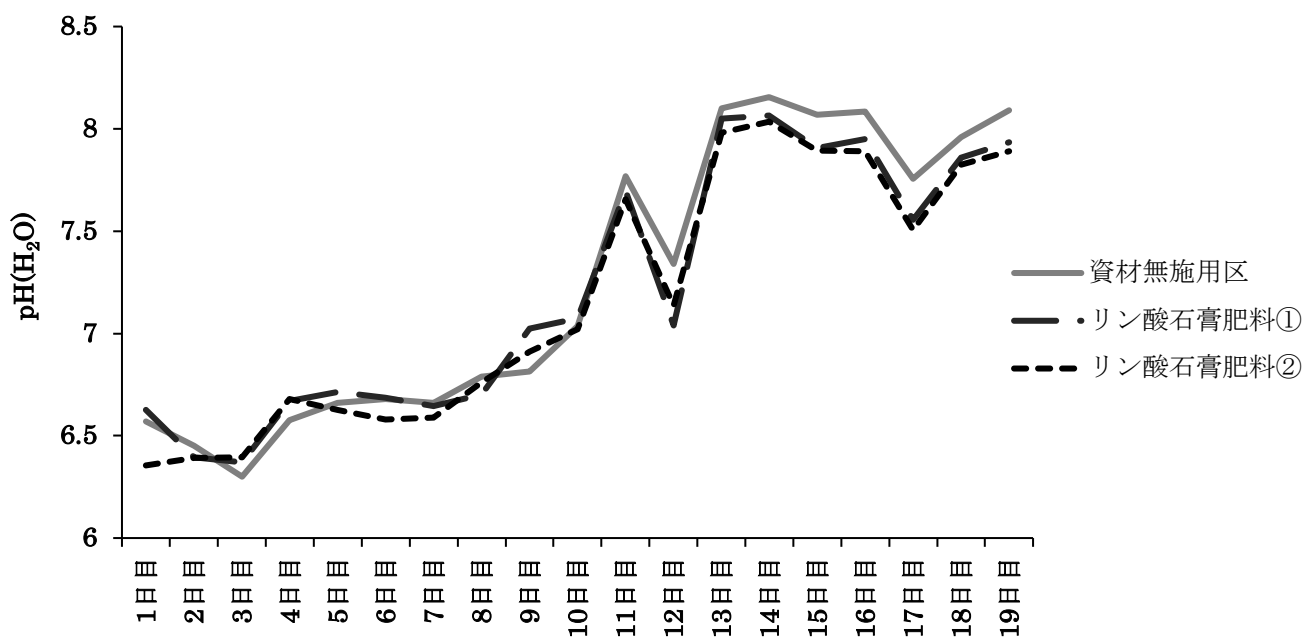


図31-2. 資材無施用区とリン酸石膏肥料区の溶出液 pH(H₂O) の変化

溶出液 pH (H₂O) の変化を資材無施用区と炭酸カルシウム区で比べると、資材無施用区と炭酸カルシウム①ではさほど差は見られなかったものの、炭酸カルシウム②においては、12日目以外資材無施用区と炭酸カルシウム①を上回る値となった (図 31-3)。

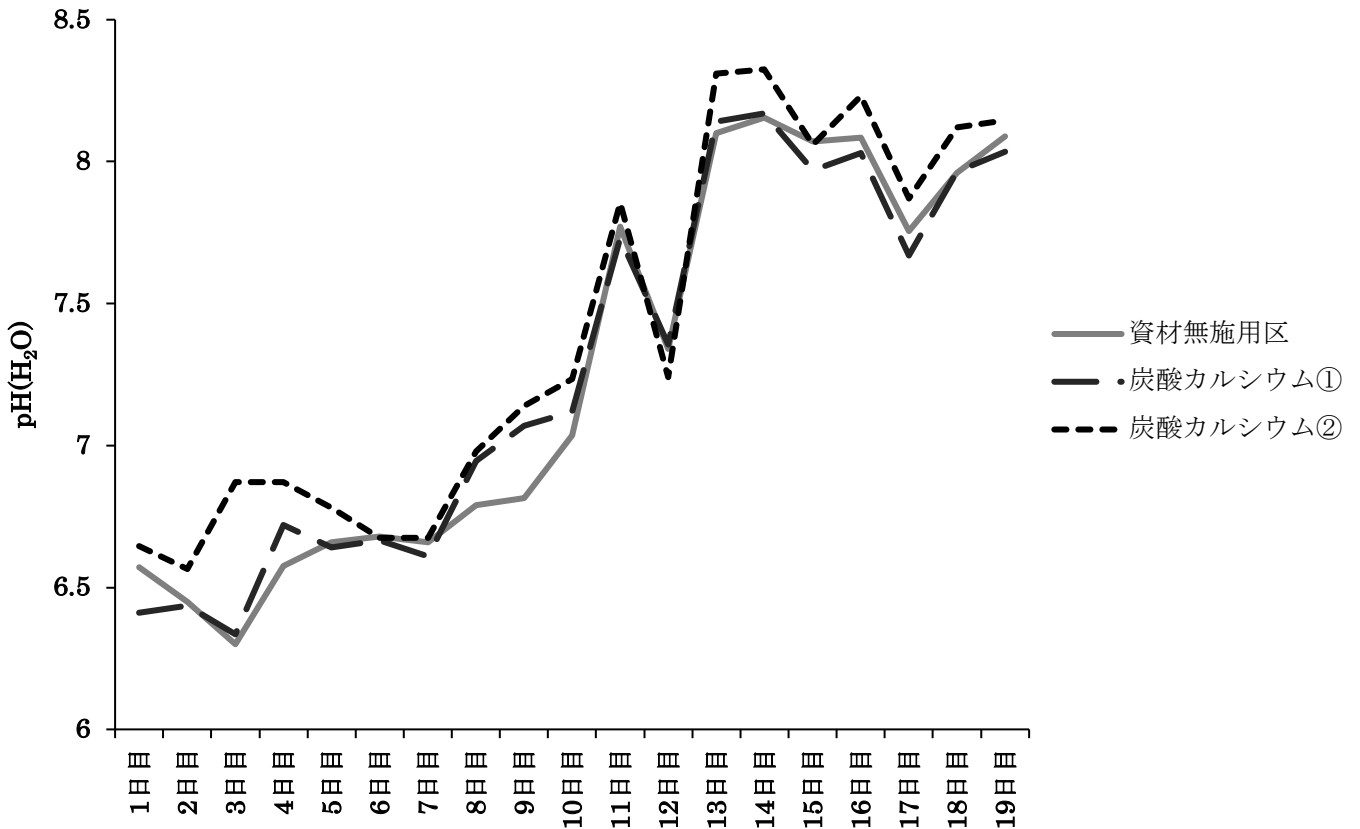


図31-3. 資材無施用区と炭酸カルシウム区の溶出液 pH(H₂O) の変化

6-4-1-2 溶出液 EC の変化

溶出液 EC は、いずれの区も 5 日目までは減少した (図 32)。

5 日目以降は資材無施用区・炭酸カルシウム区は変化がなかったものの、石膏ボード粉末区とリン酸石膏区の EC は増大した。リン酸石膏肥料の上昇は緩やかだったのに対し、石膏ボード粉末区は急激に上昇した。

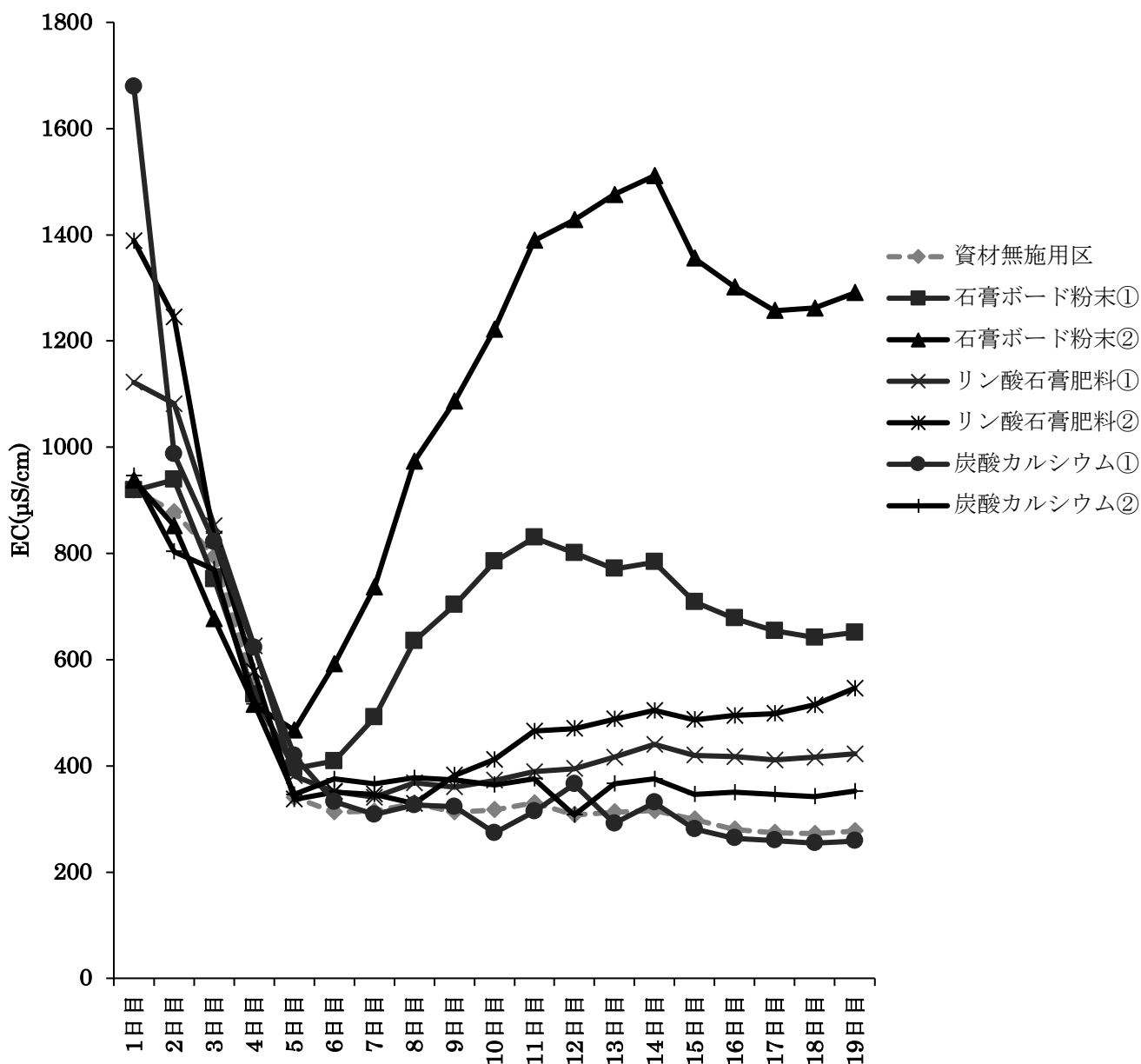


図32. 溶出液ECの変化

溶出液 EC の変化を資材無施用区と石膏ボード粉末区で比べると、5 日目までの溶出液 EC の減少時の値はほぼ同じであった（図 32-1）。しかし、5 日目以降資材無施用区は一定の値を保っていたのに対し、石膏ボード粉末①は緩やかな上昇が見られ、石膏ボード粉末②は急激な上昇がみられた。EC の増加値は石膏ボード粉末施用量とほぼ比例していた。

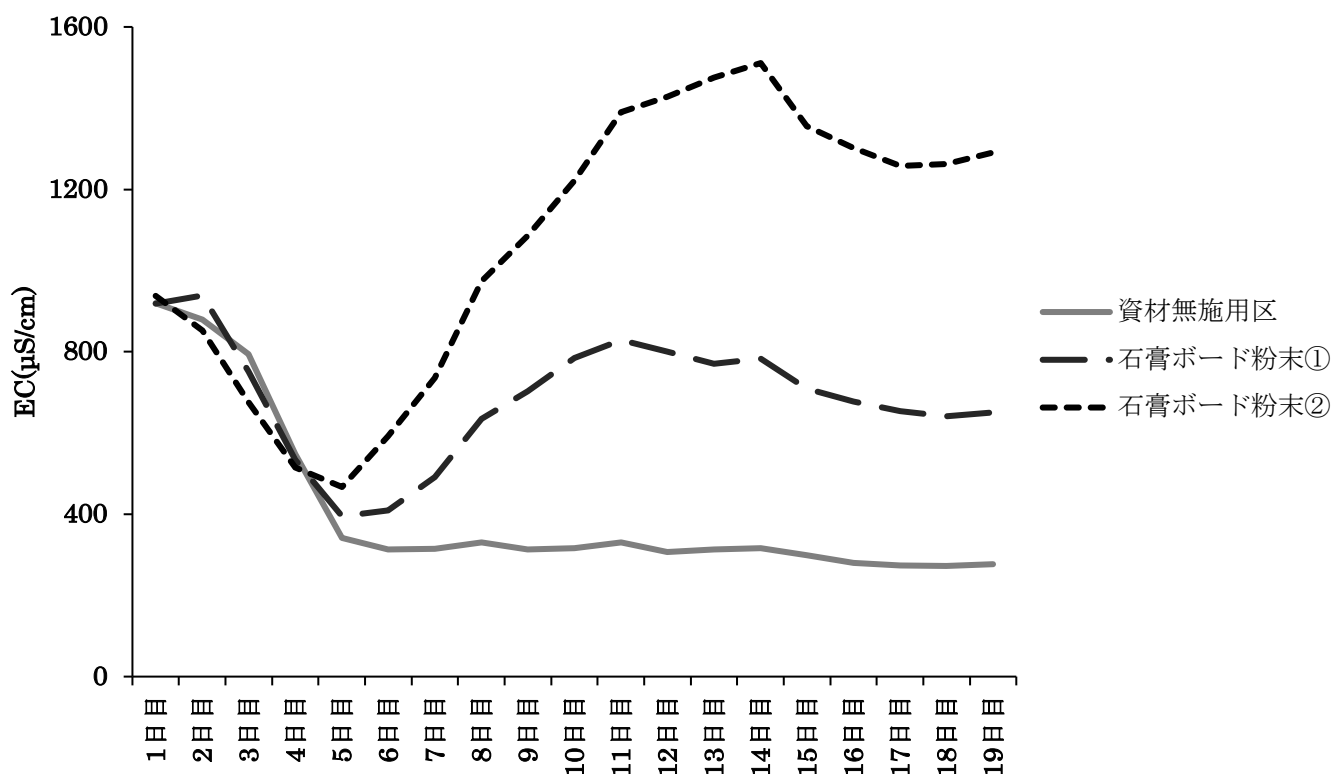


図32-1. 資材無施用区と石膏ボード粉末区の溶出液ECの変化

溶出液 EC の変化を資材無施用区とリン酸石膏肥料区で比べると、資材を施用した直後の1日目ではリン酸石膏肥料②、リン酸石膏肥料①、資材無施用区の順で高くなり値の差も見られたが、3日目にはほぼ同じ値となり、5日目まで同じように減少していた(図32-2)。リン酸石膏肥料区は5日目から9日目までは資材無施用区と同じように一定の値を保っていたが9日目以降は緩やかに上昇していった。リン酸石膏肥料①よりリン酸石膏肥料②の方が、上昇が大きかった。資材施用直後の溶出液 EC がリン酸石膏肥料の施用量が多いほど高かったのは、リン酸石膏肥料「ジプライト」に含有されていた可溶性成分(おそらくマグネシウム塩)によるものと考えられる。

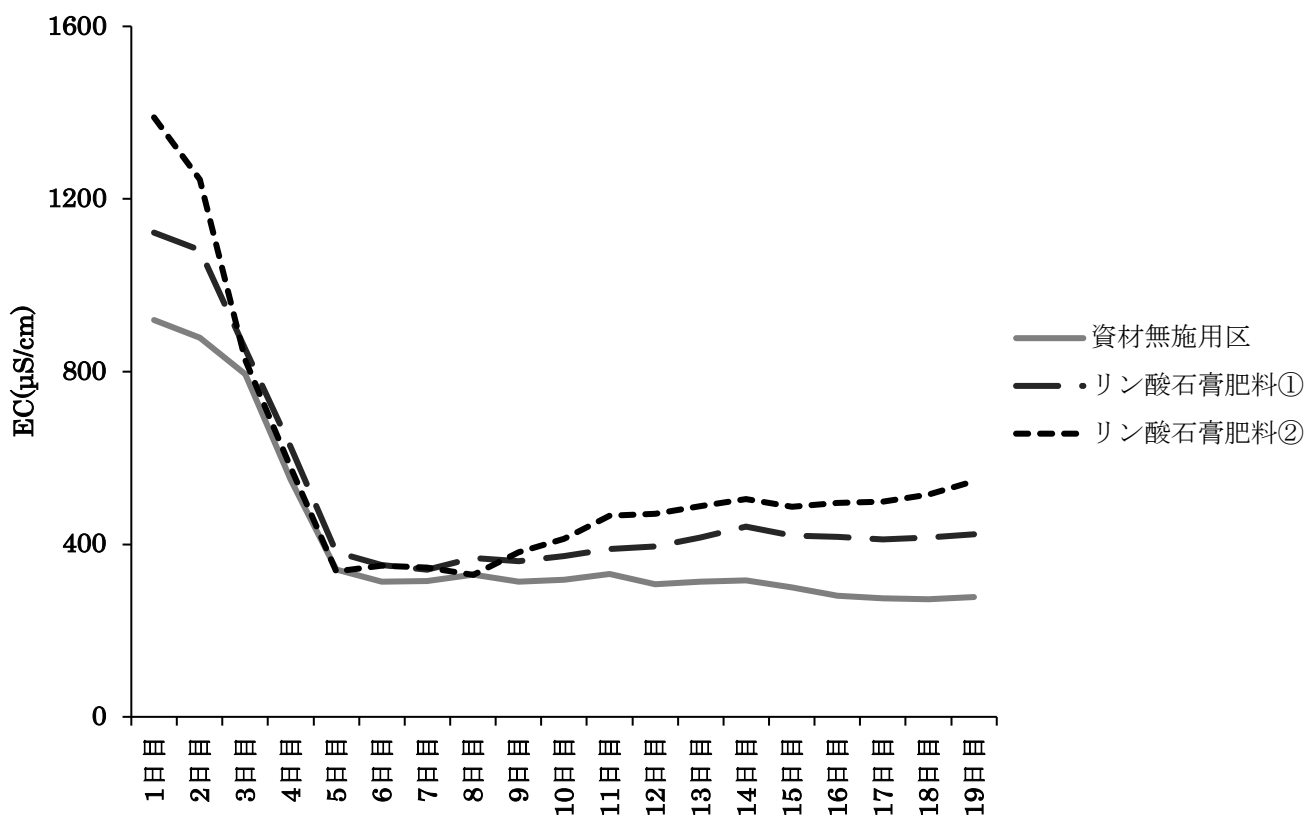


図32-2. 資材無施用区とリン酸石膏肥料区の溶出液ECの変化

溶出液 EC の変化を資材無施用区と炭酸カルシウム区で比べると、資材を施用した直後の1日目では資材無施用区と炭酸カルシウム②の値がほぼ同じだったのに対し、炭酸カルシウム①の値は大幅に大きかった。2日目にはいずれの区もほぼ同じ値になり、5日目まで同じように減少し、5日目以降も一定を保っていた。

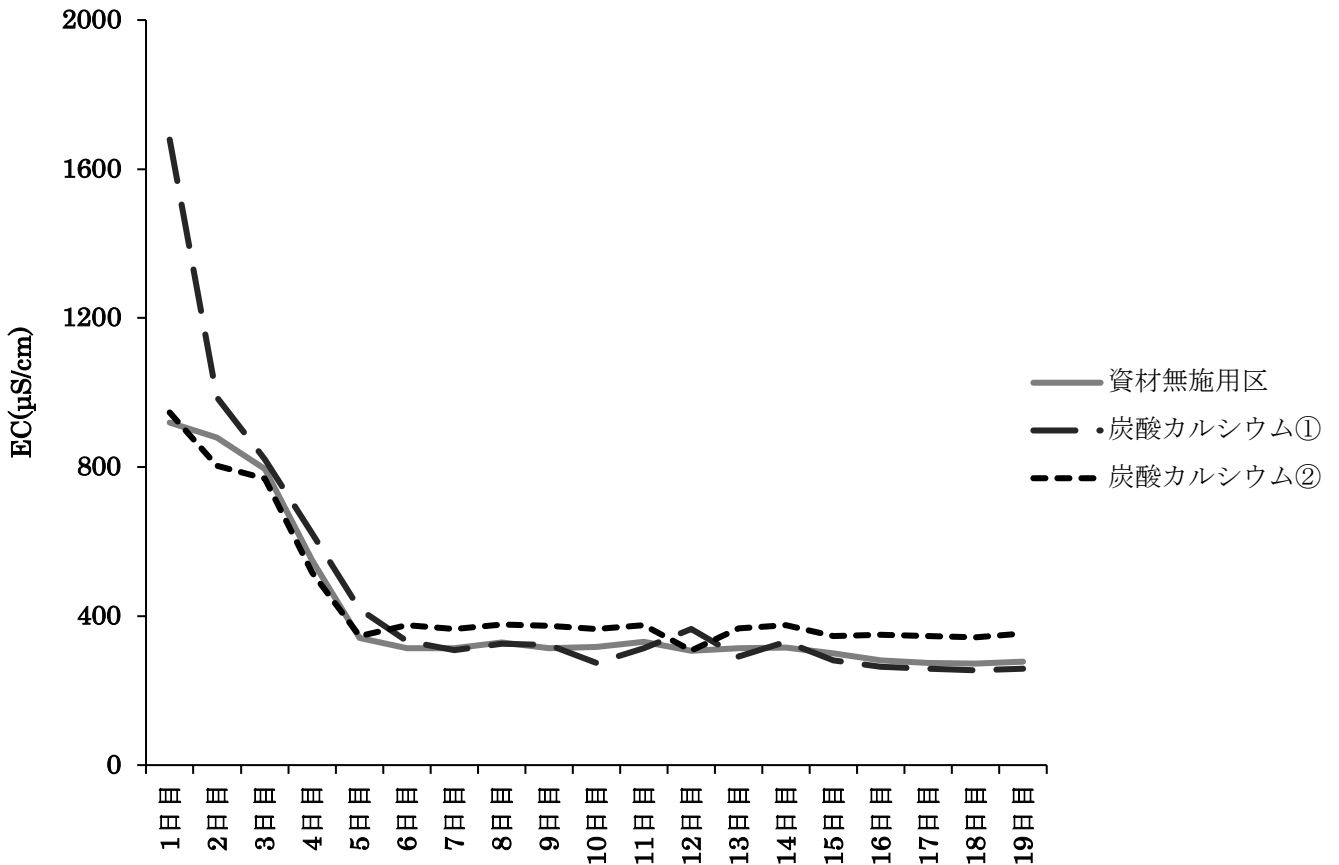


図32-3. 資材無施用区と炭酸カルシウム区の溶出液ECの変化

6-4-2 土壤理化学性

土壤 pH (H₂O) : 石膏ボード肥料区の土壤 pH はいずれの層においても pH6.5 以下であった (図 33)。資材無施用区・炭酸カルシウム区はいずれ層でも pH6.5 を上回り、炭酸カルシウム区においては 1 層目が pH7.5 を超えた。リン酸石膏肥料区では 5 層目のみ pH6.5 を上回った。

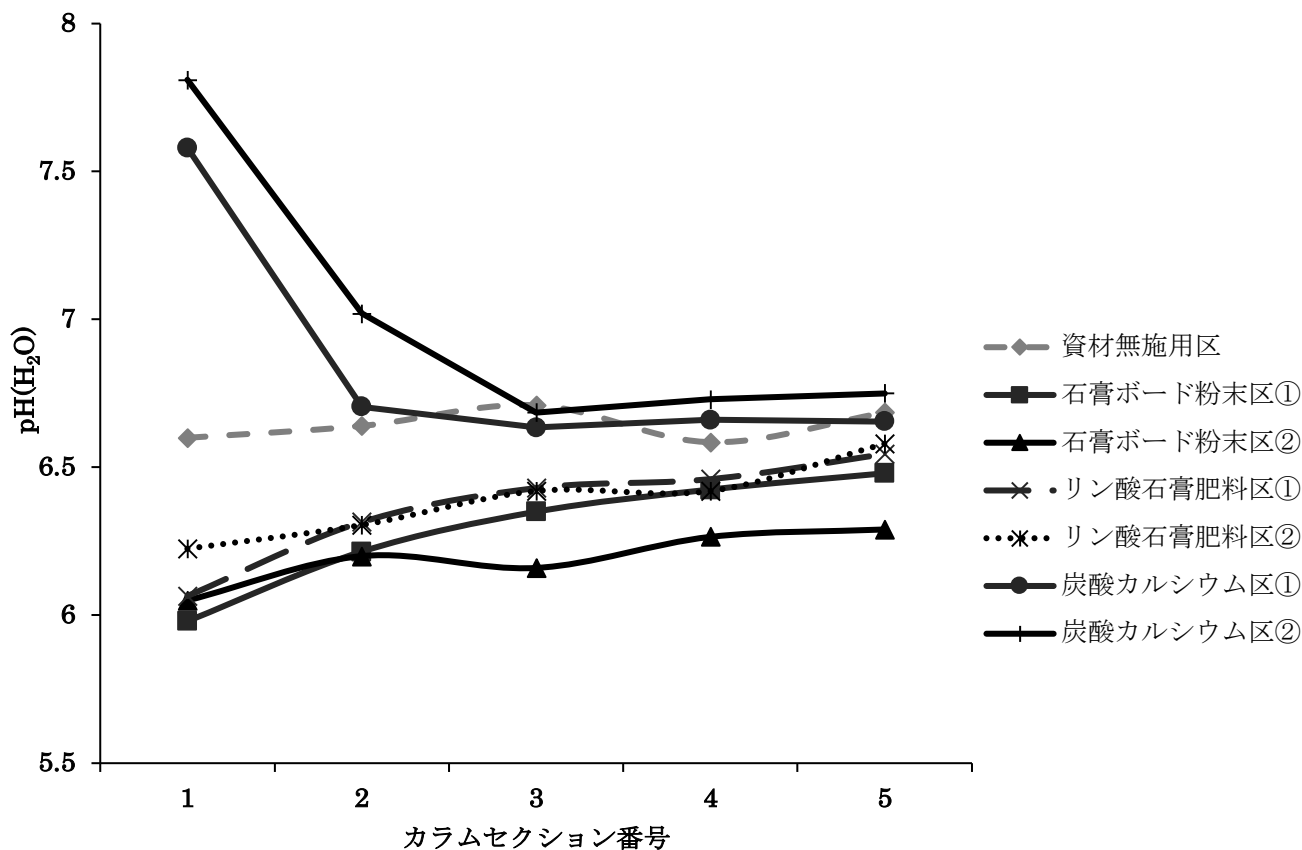


図33. 深さごとの土壤 pH(H₂O)の違い

土壌 pH (KCl) : 1 層目の土壌 pH (KCl) はいずれの区も資材無施用区を上回った (図 34)。

資材無施用区・石膏ボード粉末区の土壌 pH(KCl)にそこまで違いは、見られなかったが、リン酸石膏肥料区は石膏ボード粉末区より高い値を示した。炭酸カルシウム区は他の資材を施用した区よりも大幅に高い値を示し、pH(KCl)6.5 を超えた。2 層目は炭酸カルシウム区のみが資材無施用区を上回り、その他の区はほぼ同じ値となった。3 層目以降はいずれの区も一定を保ち、差は見られなかった。

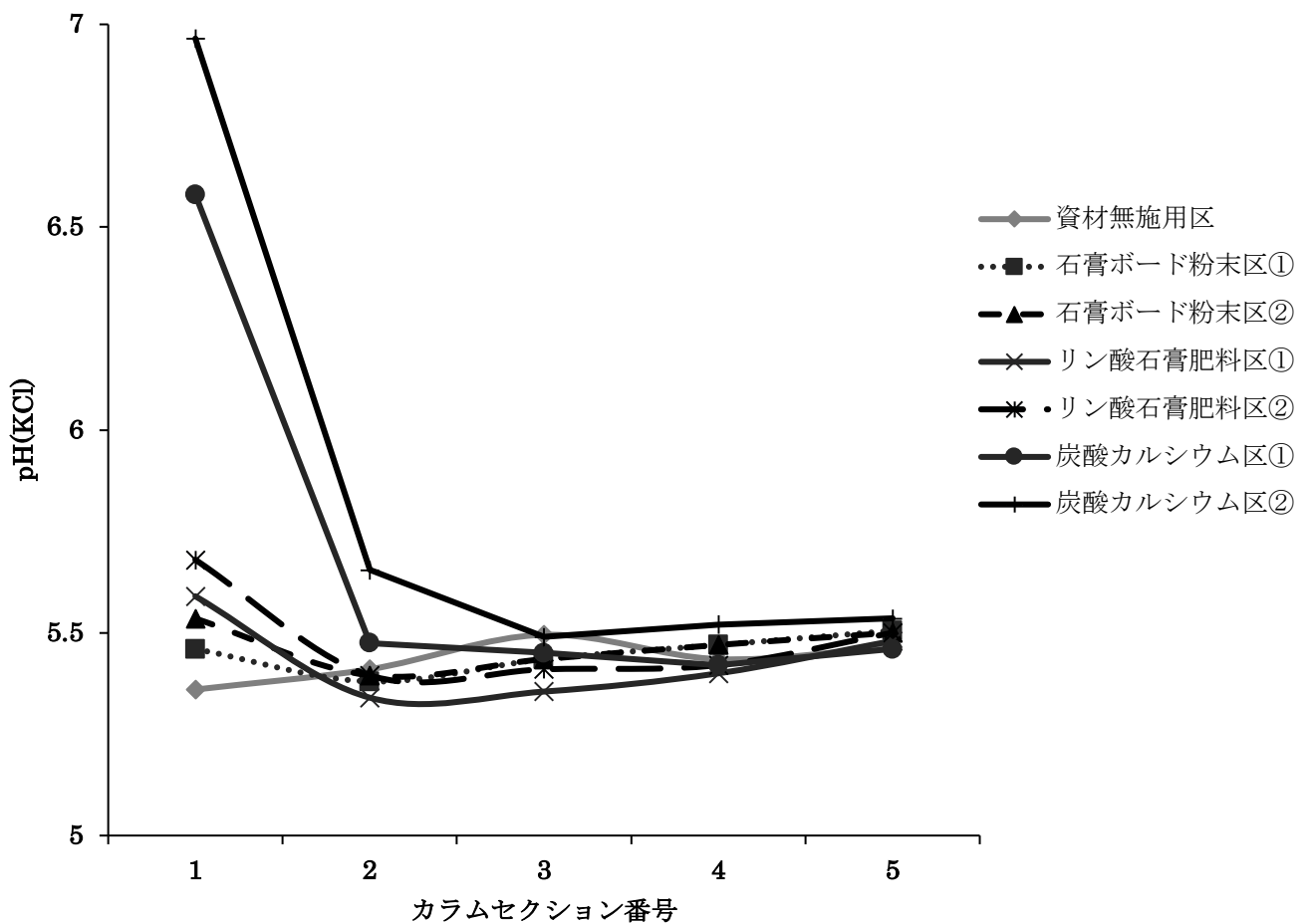


図34. 深さごとの土壌 pH(KCl)の違い

土壌 EC：資材無施用区はいずれの層でも低い EC 値を保った（図 35）。1 層目の土壌 EC は資材無施用区・炭酸カルシウム区に比べ、石膏ボード肥料区とリン酸石膏肥料区の値が大幅に高かった。同じ資材施用間では、多く施用した方の値が高くなった。1 層目ではリン酸石膏肥料の方が石膏ボード粉末区より値が高かったのに対し、2 層目以降は石膏ボード粉末の方が高くなった。2 層目以降はいずれの区もほぼ一定の値を保った。炭酸カルシウム区の 1 層目は石膏ボード粉末区・リン酸石膏肥料区ほど高くはならなかったが、資材無施用区よりは高くなった。

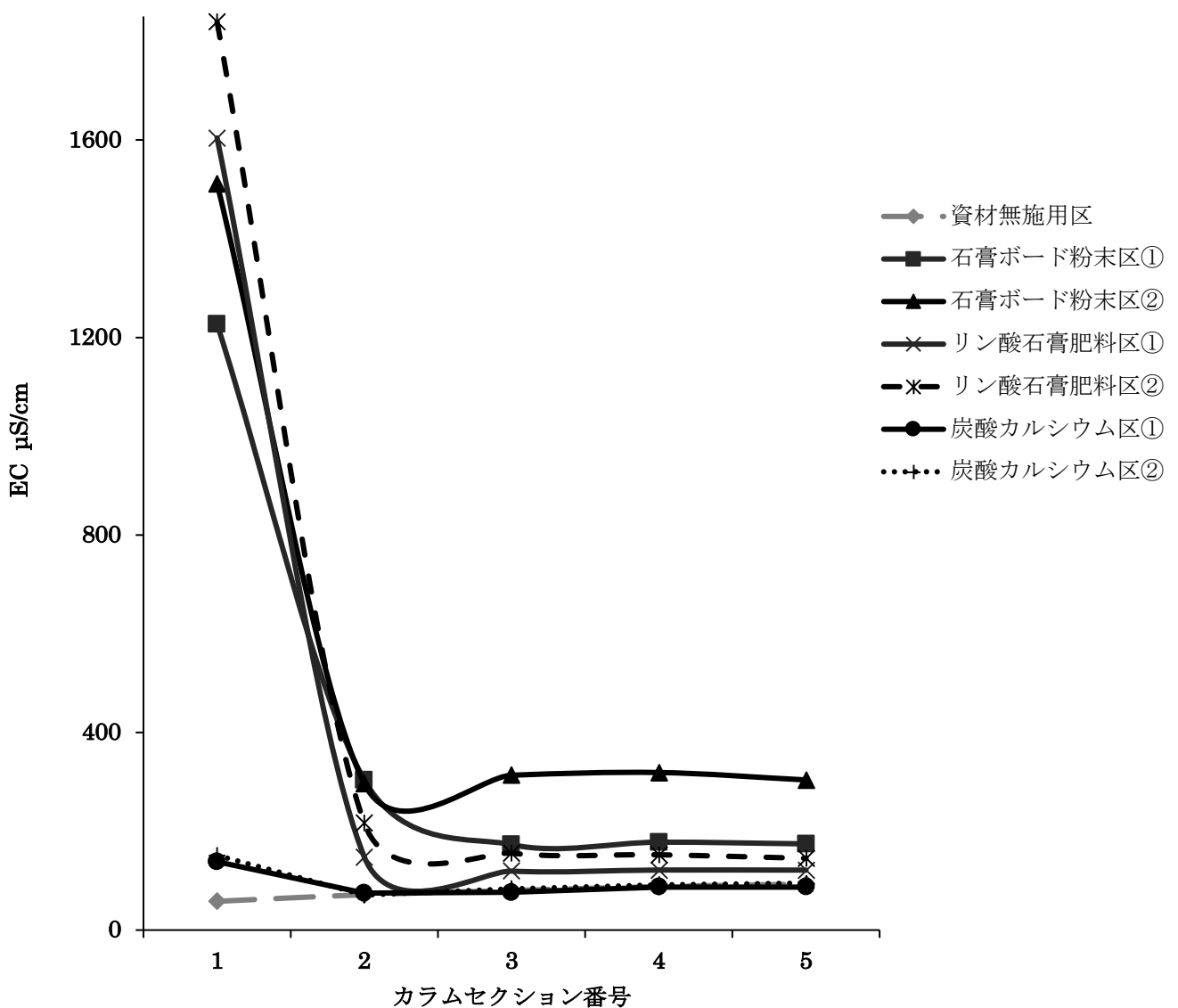


図35. 深さごとの土壌ECの違い

交換酸度 (Y1) : 資材無施用区の交換酸度は2層目のみ少し低かったものの、全ての区ではほぼ一定を保った (図 36)。1層目の交換酸度は、資材無施用区・リン酸石膏区①以外の区が元の土 (0.75) よりも値が低かった。2層目も石膏ボード粉末区②とリン酸石膏肥料区②では元の土より値が低かった。全ての区が下層土へ行くほど値が高くなっていった。元々交換酸度が非常に低い土壌を用いたが、いずれの資材を施用しても交換酸度を減少させた。

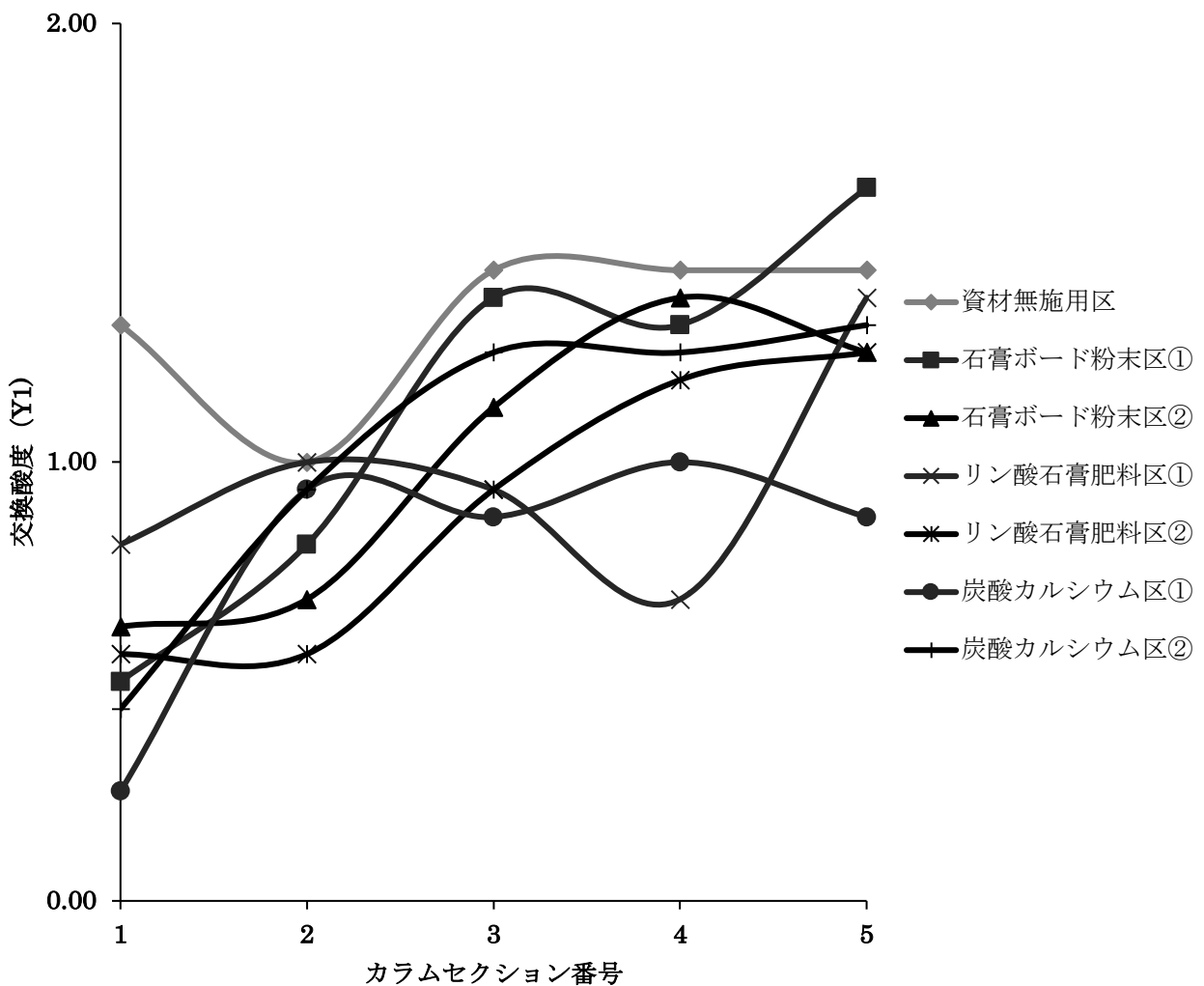


図36. 深さごとの交換酸度

6-4-3 交換性塩基 (カリウム・マグネシウム・カルシウム)

深さごとの土壌中 K_2O 量は、いずれの区においても差は見られなかったが、資材を施用した1層目の K_2O 量が少なく、下層土へ行くにつれ、 K_2O 量は増加した (図 37)。

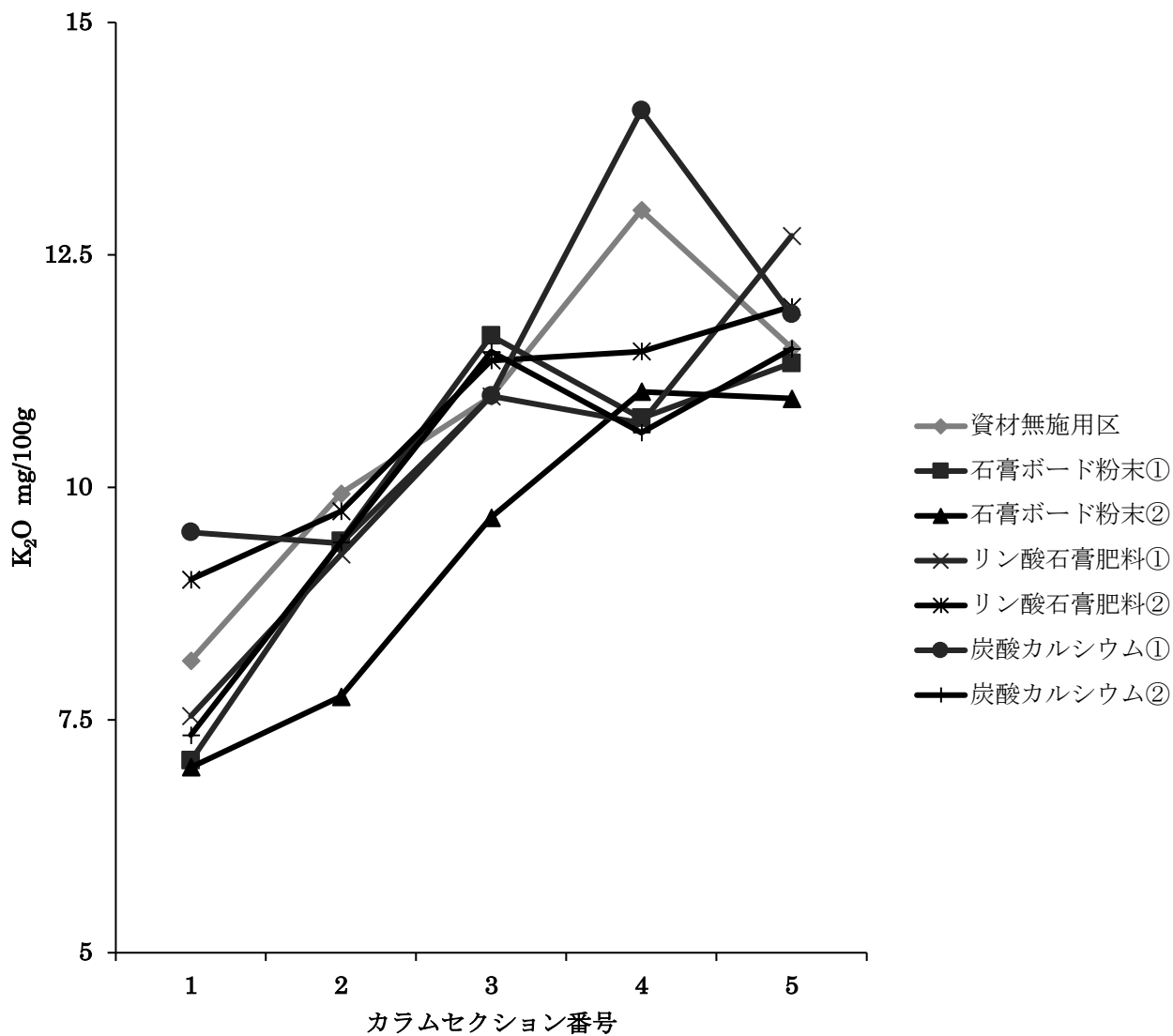


図37. 深さごとの土壌中 K_2O 量

深さごとの土壌中 MgO 量は、1 層目では資材無施用区以外の全ての区で低い値となった(図 38)。石膏ボード粉末区はリン酸石膏肥料区・炭酸カルシウム区よりも大幅に MgO 量が少なくなり、石膏ボード粉末①は 2 層目まで、石膏ボード粉末②は 3 層目まで低い値となった。資材無施用区は全ての層で一定量を保ち、リン酸石膏肥料区・炭酸カルシウム区も 2 層目以降は資材無施用区と同程度の値を保った。

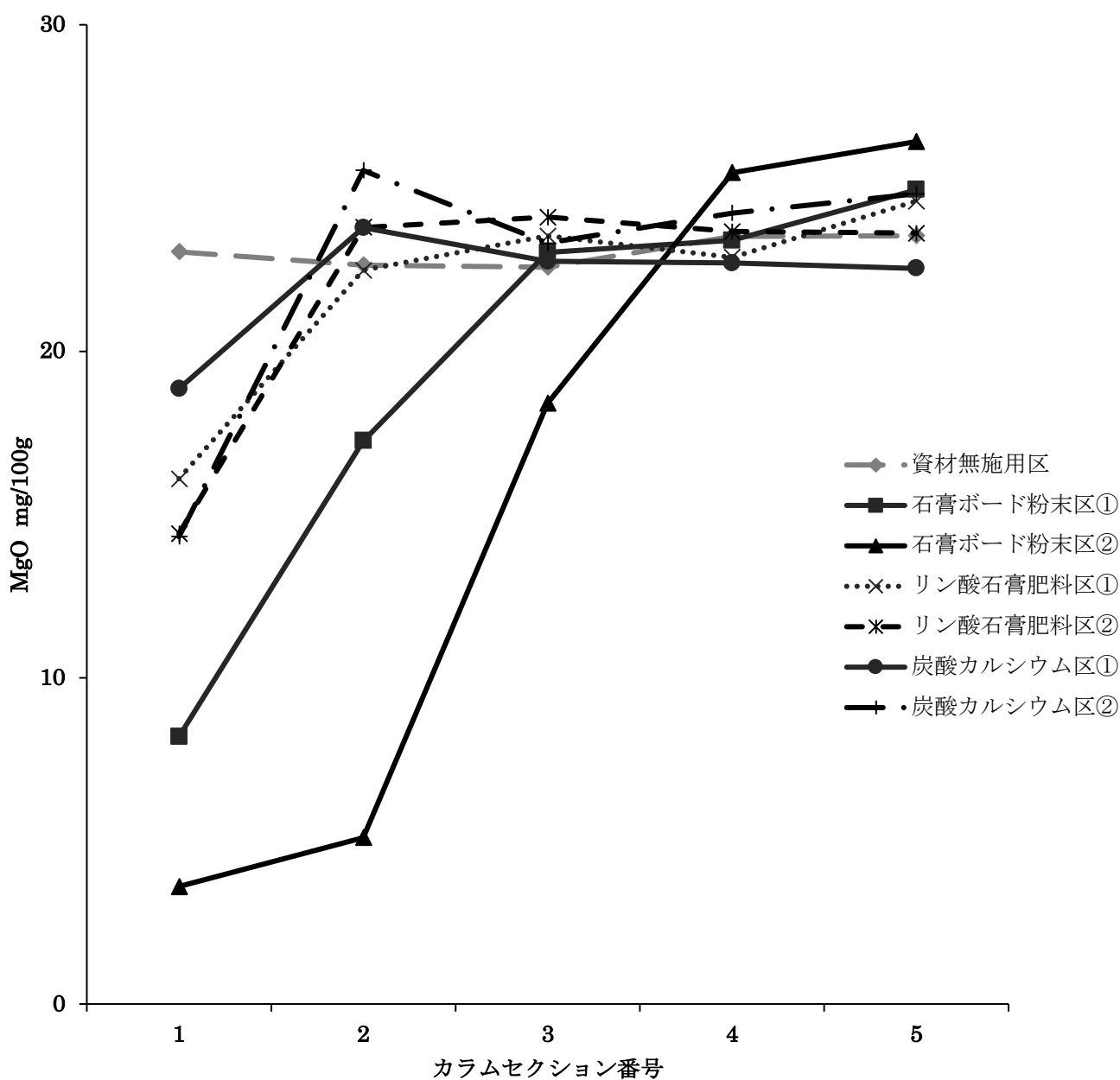


図38. 深さごとの土壌中MgO量

深さごとの土壌中 CaO 量は、1 層目では石灰資材を施用した区全てで資材無施用区よりも高い値を示した。2 層目も 1 層目ほどではないが、石灰資材を施用した区全てで資材無施用区より高い値を示した。3 層目は石膏ボード粉末区のみ高い値を示し、リン酸石膏肥料区・炭酸カルシウム区は資材無施用区と同程度となった。4 層目で石膏ボード粉末①の CaO 量が資材無施用区・リン酸石膏肥料区・炭酸カルシウム区と同程度となったが石膏ボード粉末②は 5 層目まで他の区よりも高い値を示した。石膏ボード粉末からは最も多くの Ca 量が溶けて下層に移行した。

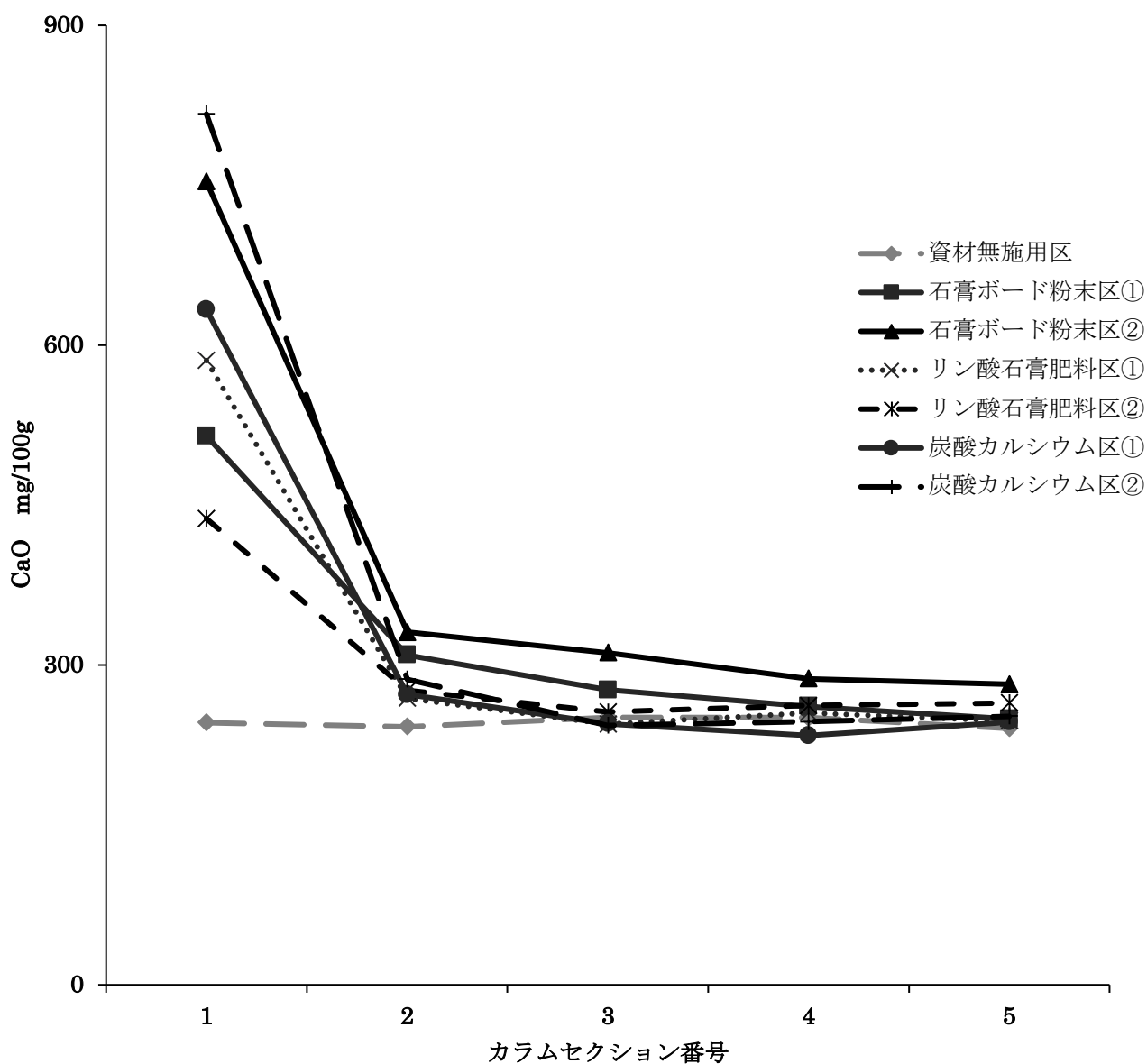


図39. 深さごとの土壌中CaO量

6-5 考察

溶出液の EC は、いずれの区も 5 日目まで値が減少し、5 日目以降は、資材無施用区はそのままの値を維持したが、特に石膏ボード粉末を施用した区では著しく増大した。

これは 5 日目までにもともと土壤中に含まれていた可溶性イオンが溶脱し、5 日目以降には石膏ボード粉末に含まれていた Ca^{2+} が溶出したと考えられる。この結果より石膏ボードは溶けやすく、下層土まで移動しやすいと考えられる。

土壌の pH は、いずれの深さでも、炭酸カルシウム区、資材無施用区、リン酸石膏区、石膏ボード粉末区の順に低くなっていた。炭酸カルシウム区以外の土壌 pH は土壌診断基準 5.5 ~6.5 の範囲内であった。この結果より、石膏ボードは炭酸カルシウムのように土壌 pH を上げないと分かった。

土壌 EC は、石灰資材を施用した 1 層目の試料では、石膏ボード粉末区・リン酸石膏区のどちらとも高い値を示したが、次の層からはどの区も値が下がった。石膏ボード粉末区②では下層土まで、他の区よりも少し高い値を示したが、施用した石膏ボード粉末がリン酸石膏肥料よりも微細な粉末であるため、より多くの CaSO_4 が溶けだして、下層土まで移動したためと考えられる。

交換酸度は、資材無施用区では元の土よりも値が高くなっていたが、石膏資材を施用した区では 1 層目はほとんどの区で値が下がっていたことから、石膏資材を施用することで交換酸度を下げる効果があると考えられる。2 層目でも石膏ボード粉末区②とリン酸石膏肥料区②で元の土よりも値が低かったことから、資材を施用する量を増やすことによって、下層土まで交換酸度を下げることが出来ると考えられる。炭酸カルシウムが交換酸度を下げるとは既知の事実である。

交換性陽イオンについては、まず Ca は、表層では石灰資材を施用した区では値が高くなったものの、次の層からは少なくなっていた。しかしながら、石膏ボード粉末区では下層土まで他の区よりも Ca 含量が少し高く、 Ca^{2+} イオンが移動したことを示した。

K は表層ほど減少していたが、資材無施用区でも著しく減少していたことから、 K^{2+} の溶脱は水のみによっても容易に起こると考えられる。しかし、石膏ボード粉末区の値が他の区よりも低かったのは、 Ca^{2+} イオンとのイオン交換も影響により K^{+} の溶脱がさらに促進されたためと考えられる。

Mg は、リン酸石膏区・炭酸カルシウム区でも表層で減少していたが、石膏ボード区ではさらに著しく減少していた。これは石膏ボード粉末区では Ca^{2+} イオン濃度が増加したことにより Mg^{2+} イオンとのイオン交換が起こり、 Mg^{2+} イオンが溶脱したためと考えられる。

以上のことから、まず、石膏ボード粉末は炭酸カルシウムのように土壌の pH を上げないことが分かった。また、溶出液・土壌の EC, 交換性陽イオンの結果から、 Ca^{2+} イオンを下層土まで届けることが出来ることが示された。従って、石膏ボード粉末の施用により下層土改良効果が期待でき、ジャガイモのソウカ病抑制にも有効であると言える。

しかし、微細な粉末状態では簡単に溶けてしまう為、造粒による溶けやすさの調節や、Mg の溶脱を抑えるなどの課題があると考えられる。

第7章 要約

石膏ボード粉末は多量に施用しても生育異常はみられず、リン酸石膏と同等の肥料効果および安全性が確認できた（実験1・2・4）。

石膏ボード粉末を多量に施用しても出芽に影響しないことがわかった（実験3）。また、コマツナによる窒素、リン酸の吸収を促進した（実験2・4）。さらに、Mgの溶脱を促進し、コマツナによる Mg^{2+} の吸収を減少させた（実験2・4）。

石膏ボード粉末は溶けやすく、下層土までCaOを届けることが出来た（実験5）。しかし、肥料化に向けては造粒による溶けやすさの調節や、Mgの溶脱抑制などの課題が上げられると考えられる。

謝辞

本研究は、帯広畜産大学畜産学部筒木潔教授のご指導のもとに行われたものである。本論文を終えるにあたり、氏の懇切なるご指導とご校閲の労に対して、心から御礼申し上げます。

そして実験や結果に対する貴重なアドバイスをして下さいました山本紳朗教授、秋本正博准教授、ポットに使用する土振るいを手伝って下さいました別科2年生の皆さまに厚く御礼申し上げます。

引用文献

著書

- 1) 尾上雅典 2007. 最新 産廃処理の基と仕組みがよ〜くわかる本, p48-49, 52-53. 秀和システム
- 2) 鎌田春海 2007. 肥料土づくり大辞典, p209. 農文協
- 3) 亀和田國彦 1997. 土壌化学. 土壌環境分析法編集委員会編日本土壌肥料学会監修 土壌環境分析法, p218. 博友社
- 4) 高桑亮 1998. 岸國平編 日本植物病害大辞典, p96-97. 全国農村教育協会
- 5) 伊達昇 1986. 土壌標準分析・測定法委員会編 土壌標準分析・測定法, p70-71, 74-76. 博友社
- 6) 橋本均 1992. 土壌化学性, 作物栄養. 北海道立中央農業試験場, 北海道農政部農業改良課 土壌および作物栄養の診断基準—分析法 (改訂版) 一, p56, 106
- 7) 藤間充・三枝正彦 2007. 肥料土づくり大辞典, p531-535
- 8) 牧野周 2001. 植物の成育と栄養システム. 森敏・前忠彦・米山忠克編 植物栄養学, p122-123, 146, 150. 文永堂出版
- 9) 松中照夫 2003. 土壌学の基礎, p200-201, 272-273. 農文協
- 10) 三枝正彦 1998. 植物生育と肥料. 松本聰・三枝正彦編 植物生産学 (II) 一土環境技術編一, p79. 文永堂出版
- 11) 和田信一郎 1998. 植物生育と養分の動態. 松本聰・三枝正彦編 植物生産学 (II) 一土環境技術編一, p68. 文永堂出版
- 12) HENRY D. FOTH 1984. FUNDAMENTALS OF SOIL SCIENCE 7th Ed, p194, 324-326

論文

- 1 3) 藤間充・M. E. Summer・N. P. Oafoku・三枝正彦・瀬古秀文 2001. 変異荷電性土壌に対する石膏の施用効果—第1報：非アロフェン質黒ボク土における石膏の移動—
- 1 4) 三枝正彦・藤間充・西谷光生・渋谷暁一・阿部篤朗 1991. 非アロフェン質黒ボク土の酸性改良 第1報 草地における各種石灰資材の効果
- 1 5) 三枝正彦・藤間充・阿部篤朗 1991. 燐酸石膏による強酸性黒ボク土の下層土改良効果

ウェブ情報

- 1 6) 帯広市 2010. 帯広の気象データ.
<http://www.city.obihiro.hokkaido.jp/seisakusuisinbu/kouhoukouchouka/c070101kisyuu.jsp>
- 1 7) 社団法人石膏ボード工業会 2010. 廃石膏ボードの対策について.
http://www.gypsumboard-a.or.jp/h_use.shtml