本邦に於ける所謂黒土の組成並びに不良原因に就て（第三報）

燐酸と可溶性礬土に就て

細田克巳
（鳥取高等農業學校）

礬土が多くの植物體内に含有されて居ることは植物の灰分分析の結果 Pfeiffer 氏[29]、Tobson 氏[20]及び Robinson, Steinkoenig and Miller 氏[35]等の諸氏に依り立證せられたれども其の含量極めて少く、且つ形態並びに生理的價値は尚ほ不明にして一般に植物に對し必要缺ぐべからざる元素にはあらずと信ぜらる。

唯其の含水硅酸鹽及び酸化物は土壤中に於て植物榮養分を吸收保持し流亡を防ぐの役をなすこと、及び礬土鹽類の極微量の存在は刺戟劑として又接觸劑として植物の發芽並びに成長に貢獻せりとの報告あり。卽ち Pfeiffer and Blanck 氏[27]は硫酸礬土と硫酸滿俺を微量に混用する時は穀物の增收を來し、其の量多き時は却つて減收することを實驗し、Stoklasa 氏[36]は甜菜の一ヘクターに九瓩の硫酸滿俺及び四・四八瓩の硫酸礬土を施し三〇―五〇%の增收を得、礬土は滿俺、亞鉛、銅と等しく接觸劑として炭素同化作用を促進せしめ從つて成長を促すものなりと說明せり。Boullange 氏[3]も亦礬土、滿俺、第一鐵、ウラニウムの硫酸鹽の接觸作用を研究し、其の施用は一般に增收を來すと報告せり。其

の他麥類の發芽に微量の礫土の効果に就き Jost 氏[21]、Maze 氏[23]、山野氏[40]等の實驗あり。

然れども亦多くの實驗は礫土が植物の發芽成長に對し極めて有毒なる事を證明し、Fluri 氏[10]は Spirogyra Elodea 及び Lemara 等を使用して礫土の硝酸鹽、鹽化物、重炭酸鹽等の有害作用を研究し、澱粉形成作用の阻害さるゝを以つてヂアスターゼに作用するものなりと推論せり。Herbert 氏[15]は硫酸礫土の豌豆、菜種、小麥等の發芽に Varvaro 氏[38]は礫土の酸化物が、菜豆の發芽に Michaels and DeHeen 氏[25]は種々の礫土鹽の小麥の發芽に各著しき有毒作用を認めたり。Kratzmann 氏[41]は多くの作物に就き成長と各種礫土鹽の効果を研究し、濃度〇・〇〇五%に達する時成長を阻害するも〇・〇〇〇一%以下にては却つて刺戟作用を呈し、好結果を來せりと云へり。House and Giles 氏[18]及び山野氏[40]等は又礫土の有害作用は其の濃度に依ると云ひ、山野氏は大麥、亞麻に於て實驗し礫土の微量は成育を助長するも明礫〇・二%は既に成育を害し〇・八%に至れば數日にして枯死すと發表せり。Kuperth 氏[32]は水耕法の結果硫酸礫土は〇・〇〇四%にして著しき有害作用を呈し、Abbott, Conner and Smalley 氏[1]も土壤浸出液に〇・〇〇〇五規定の硝酸礫土が玉蜀黍の發芽を阻害し、三宅博士[39]の實驗も亦水稻の水耕法の結果鹽化礫土の〇・〇〇〇一三三規定にして有害作用を呈せり。又 Mirasol 氏[26]も硫酸礫土を以つて大麥の發芽を試驗し〇・〇一規定にして害著しく、〇・〇〇一規定にて多少有害作用を呈し、〇・〇〇〇一規定にて反應なく、〇・〇〇〇〇五規定に於て刺戟作用ある事を報告せり。之等の報告を綜合して考ふるに礫土鹽の有害限度は作物の種類、鹽の種類により異るも凡そ〇・〇〇〇一—〇・〇〇一規定の如く、刺戟作用は極く微量に於てのみ行なはるゝものゝ如し。

土壤中に存在する礫土に關し Abbott, Conner and Smalley 氏[1]は印度の不良土を研究し其の浸出液中に硝酸礫土の

存在を認め、培養試験の結果該不良土の原因は可溶性礬土の存在によることを報告し、Ruprecht and Morse 氏[4]は土壌に硫酸アンモニヤの連用は硫酸礬土を生じ、之れが土壌酸性と作物不作の原因をなすと云ひ、Hartwell and Pember 氏[14]も亦硫酸アンモニヤ連用土壌の大麥不作の原因を礬土に基因せしめたり。其の後 Conner and Sears 氏[8]、Denison 氏[9]、Gilbert and Pember 氏[12]等に依り水耕法並びに植木鉢試験の兩方面より研究し酸性土壌の不良原因は其の酸度よりむしは可溶性礬土の存在によることを力說せらるゝに至れり。

然れども之の說に對しては尙ほ異議多く例へ培養試験の結果礬土の植生に有害なる事は確實と雖も、はたして礬土は土壌溶液中に有害限度以上の濃度に溶解して存在するや否や疑問にして Magistad 氏[22]は土壌中に於ける溶解礬土及び鐵の濃度は土壌のPHに支配されPH四・七—八・〇の間に於ては百萬分中三以上に存在せざることを發表し、Pollard 氏[31]は代入法による土壌溶液を分析しPH四・〇—七・五又は八・〇の土壌には殆んど礬土の存在を認めず、Joffe and McLean 氏[19]は分散度大なるゾルも亦植物に利用され得るとの Comber 氏[7]の意見に從ひ種々礬土鹽の凝縮とPHの關係を實驗し礬土の凝縮は含有する陰イオンに依り著しく支配され、凝縮完成PHは燐酸のPH三・二、硫酸のPH四・八、鹽素のPH五・八、硝酸のPH六・〇及び硫酸、鹽素、硝酸の混合に於てPH四・九なりと報告せり。卽ち氏等は土壌中の溶解礬土は其のPHに關連し、一定の限界範圍のPHに於ては其の量微量なりとの說なれども最近に於ける Pierre, Pohlmann and McIlvaine 氏[30]の土壌溶液の實驗は同一PHを有する各種土壌の礬土の濃度は著しく異り、PH四・〇にて百萬分中一・五—二三・〇、PH四・五にて〇—一二・〇、PH四・九にて〇—二・〇にして土壌中の可溶性鹽類の濃度が礬土の量に影響するものと考へたり。

前記の如く土壤中に於ける可溶性礬土の有害作用に就ては諸說尙ほ一定せざれども Burgess 氏[5]、Blair and Prince 氏[2]及び Gilbert and Pember 氏[12]等の〇・五規定醋酸に可溶なる礬土を活性礬土と稱し、植物生育と最も關係ありとの說に基づき Burgess 氏法[5]を以つて活性礬土を求め合せて熱濃鹽酸可溶、〇・二規硝酸可溶及び一規定鹽化アンモン液一立洗滌液中に置換さるゝ礬土量を求め各比較せり。

實　驗　（一）

本實驗に使用せる供試土は第一報及び第二報に於けると同一なり。

實驗法次の如し。

一、熱濃鹽酸可溶礬土—比重一・一五の鹽酸に一時間煮沸し溶解し來れる礬土。

二、〇・二規定硝酸可溶礬土—Shedd 氏[42]が土壤中の有効態成分の測定に〇・二規定硝酸を使用せるに從ひ一二〇瓦の風乾土に同硝酸一二〇〇竡を加へ五時間時々振盪して放置し、其の濾液一立に就き礬土量を求む。

三、〇・五規定醋酸可溶礬土—Burgess 氏[5]の活性礬土測定法に從ひたり。

四、置換性礬土—供試土二五瓦を八〇—九〇度の一規定鹽化アンモン液を以つて處理し、一晝夜放置後濾過し同濃度の鹽化アンモン液にて洗滌し、濾液一立を得て礬土を定量せり。

第　一　表　　可溶性礬土（Al_2O_3）の形態　（風乾土百分中）

土壌略號	熱濃鹽酸可溶 Al_2O_3	0.2N硝酸可溶 Al_2O_3	0.5N醋酸可溶 Al_2O_3	置換性 Al_2O_3	PH
郡家	10.282	2.310	0.2253	0.1540	4.79
牧ノ原	9.508	2.269	0.2250	0.1340	5.00
大山原A	10.759	3.087	0.2233	0.1084	4.55
宇部野	11.156	1.809	0.1505	0.0860	4.89
宮内	7.645	2.379	0.1590	0.1070	4.68
夜須原	12.245	2.122	0.1657	0.0964	4.51
日本原	9.351	2.707	0.1807	0.1024	4.94
干咲原	9.320	4.052	0.1863	0.1260	4.68
夜ノ森	9.258	3.312	0.1803	0.1200	4.69
福井原野	8.113	1.928	0.1293	0.0924	5.11
福井森林	7.613	1.999	0.1223	0.0576	5.22
熊本	10.200	3.528	0.2317	0.1146	5.00
大山原B	10.646	3.294	0.2573	0.0840	4.83
天神原	8.910	2.773	0.1384	0.1056	4.88
福井畑	6.375	1.675	0.1477	0.0076	5.87
宮崎A	6.283	3.608	0.1193	0.0072	5.61
宮崎B	6.776	3.480	0.1360	0.0124	5.58
赤崎	6.468	3.121	0.0867	0.0240	5.58
櫻島	6.520	2.920	0.0727	0.0040	5.95

笠ノ原A	7.611	3.170	0.1023	0.0128	5.68
笠ノ原B	7.443	3.241	0.1512	0.0158	5.50
第一組平均	9.613	2.691	0.1839	0.1063	4.84
第二組平均	6.783	3.027	0.1169	0.0105	5.98

熱鹽酸可溶礫土は第一組に於て最高夜須原の一二・二四五%最低福井森林の七・六一三%平均九・六四三%にして、第二組に於ては最高笠ノ原Aの七・六一一%最低宮崎のA六・二八三%平均六・七八三%にして明に第一組に其の量大なり。卽ち既に報告せる如く熱鹽酸可溶礫土と石灰含量との間には密接なる關係を示し、石灰の〇・五%以上を有する第二組は礫土の著しき減少を示せり。

Shedd 氏[45]の有効態成分測定法卽ち〇・二規定硝酸可溶成分中礫土を求めたるに第一組の平均二・九一%第二組の平均三・〇二七%にして第二組の數値多少大なるは其の總量と關係なく稀酸に可溶性礫土は却つて多きが如し。

〇・五規定醋酸に可溶の礫土卽ち Burgess 氏[5]の活性礫土は第一組に於て最高大山原Bの〇・二五七三%最低福井森林の〇・一二三三%平均〇・一八三九%にして第二組は最高笠ノ原Bの〇・一五四二%最低櫻島の〇・〇七二七%平均〇・一一六九%にして兩組の間に相當の相違ありと雖も Burgess 氏[5]の花崗岩土壤に就て活性礫土〇・〇八一二%及び〇・〇七三一%にしてcos lettuce 及び yellow globe onions は共に全く收穫なかりし實驗、Burgess 氏[43]の米國及びハワイの各地より採集せる二四種の土壤に就きハワイの褐色埴壤土〇・一八二%は例外として他は皆〇・〇八九〇%以下にして

Gilbert and Pember 氏[12]も亦PH五・〇以下にては〇・〇九〇五%、PH五・〇―六・〇にては〇・〇五八九%、PH六・〇以上にては〇・〇〇七九%を最高とせり。之等の實驗に徴し本土壤は第二組と雖も尚ほ〇・一一六九%にしてBurgess氏のハワイ土壤を除き米國に於て實驗せられたる何れの土壤より活性礬土の量多く、若し氏等の說の如く之の方法に依る礬土が植生と關係を有すとせば第二組に屬するものも亦極めて不良狀態を示さゞるべからず。且つ本土壤にては活性礬土とPH並びに酸度、飽和度等の間にも著しき關係の存在を認めず。

此處に置換性礬土と稱するは一規定鹽化アンモン洗滌液一立中に溶出する礬土量にして中性鹽の陽イオン交換により直接置換せられしものなるや、或は置換水素イオンの影響により間接的に溶出せるものなるや尚ほ議論の存する處なれども酸性土壤に中性鹽溶液を作用せしむる時鐵及び礬土の溶出する事は既明の事實にしてMattson氏[24]は土壤が不飽和狀態の時鐵及び礬土は置換性となる事を力說し、Turner氏[37]は置換礬土はPH五・一以下の土壤に於ては必ず存在すると雖もPHと其の含量との關係は著しく不規則にしてむしろ土壤の不飽和度と密接なる關係にあること及びPH五・一以上に於ては該礬土は全く置換性水素イオンの爲め間接的に溶出し、PH五・一以下に於ては多少直接的に置換の行はるゝ物の如しと報告せり。

次に本土壤の置換性礬土とPH、置換酸度、Hissink 氏[16][17]の置換性水素イオン、飽和度、置換性石灰等の關係を考察せり。

土壌略號	PH	置換酸度	置換性水素イオン（瓩當量）	飽和度	置換性礬土 Al_2O_3（瓩當量）	置換性石灰 CaO（瓩當量）
郡家	4.79	17.250	20.20	1.946	4.532	2.711
牧ノ原	5.00	16.625	18.56	1.156	3.944	0.877
大山原A	4.55	15.700	19.36	1.633	3.190	0.920
宇部野	4.89	15.500	19.47	1.234	2.531	0.638
宮內	4.69	15.500	17.00	1.430	3.149	0.635
夜須原	4.51	14.070	16.42	1.781	2.845	0.599
日本原	4.94	12.225	17.20	1.157	3.014	0.596
干咲原	4.68	10.250	19.60	2.078	3.708	1.398
夜ノ森	4.69	10.250	19.20	2.076	3.532	1.159
福井原野	5.11	10.200	15.82	1.810	2.719	0.685
福井森林	5.22	10.000	15.05	2.179	1.695	1.102
熊本	5.00	8.125	17.40	1.263	3.372	0.435
大山原B	4.83	4.450	16.83	1.582	2.472	1.081
天神原	4.88	3.075	19.32	2.278	3.108	1.359
福井畑	5.87	1.255	8.64	16.440	0.224	15.181
宮崎A	5.58	1.078	14.10	5.902	0.212	6.392
宮崎B	5.61	1.250	14.86	4.539	0.365	4.533
赤崎	5.58	0.875	10.000	10.338	0.706	8.675
櫻島	5.95	0.575	8.50	7.934	0.118	5.671

第一組原A	5.68	0.200	9.21	7.795	0.082	6.114
第一組原B	5.70	0.200	13.62	5.211	0.405	4.482
第一組平均	4.84	11.651	17.96	1.486	3.123	1.014
第二組平均	5.68	0.776	11.23	8.308	0.307	7.442

上表に於て明なる如く本土壌に於ては第一組即ちPH五・五以下に於ては置換性礬土は最高四・五三二瓲當量最低一・六九五瓲當量平均三・一二八瓲當量にして第二組即ちPH五・五以上に於ては最高〇・七〇六瓲當量最低〇・〇八二瓲當量平均〇・三〇七瓲當量にして兩組の間に著しき差異を認め且つPHとの間にも密接なる關係（共關係數r＝−88, P.E.＝±0.032）を示し又置換酸度（r＝0.83, P.E.＝±0.047）置換性水素イオン（r＝0.87, P.E.＝±0.036）、飽和度（r＝0.81, P.E.＝±0.050）及び置換性石灰（r＝−0.73, P.E.＝±0.039）等とも極めて完全なる相關々係を有すと云ひ得べし。

卽ち活性礬土が第二組に於ても相當多量なるに比較し置換性礬土は兩組の差著しく、第二組に於て其の量微少なる點より考へ可溶性礬土が植生に有害作用を及ぼすものとせば本土壌に於ては活性礬土よりむしろ置換性礬土に支配さるゝものにあらずやと考へらる。

實　驗　（二）

（一）三要素肥効試驗

本土壌の不良原因は第二報摘要に於て示せる如く窒素、燐酸殊に有効態燐酸の缺乏及び前實驗に於て示せる如く活性並びに置換性等の可溶性礫土の存在に一因を有するが如く考へらるゝを以つて之れを考察せんが爲め次の如く大山原A土壌を使用して植木鉢試驗を試みたり。

一植木鉢に風乾供試土七瓩を使用し之れに水稻品種强力の三本を一株とする三株を一鉢に植付け、昭和六年及び昭和七年の二ケ年間共に六月二十六日に植付けを行ひ以後二〇日ごとに成育調査を行ひ最後に收量調査を行ひたり。

施肥量は鉢當り硫酸アンモニヤにて窒素一・二五瓦、過燐酸石灰にて燐酸一・二五瓦及び硫酸加里にて加里一・二五瓦を毎年與へたり。

結果に於ては兩年度殆んど同樣なるを以つて此處には昭和七年度のみに就き報告すべし。

成育調査の平均値次表の如し。

第　三　表

	草丈平均（糎）			一株莖數平均（本）		
	七月十八日	八月八日	八月二十六日	七月十八日	八月八日	八月二十六日
無肥區	54.22	95.50	117.00	5.5	8.0	9.0
加里區	46.03	85.67	118.01	5.4	7.2	8.6
燐酸區	34.45	37.40	41.52	3.0	2.6	2.2
加里燐酸區	45.91	74.00	94.51	5.6	6.4	6.9

窒素單用區	33.33	33.35	35.00	3.0	2.8	2.3
加里單用區	35.24	32.56	33.15	3.6	3.0	2.5
燐酸單用區	44.00	74.51	91.26	5.3	6.2	8.3
無肥料區	28.90	27.17	30.06	3.0	3.0	2.5

燐酸肥料を施さゞる區卽ち無燐酸區、窒素單用區、加里單用區は全く無肥料區と等しく植付けより刈取りまで殆んど草丈の增加なく、一株の本數に於ても却つて減少を示せり。無窒素區と燐酸單用區は殆んど同樣にして燐酸の存在に於て加里は何等効果無き事を示す。三要素區、無加里區の等しく最も成育良好なるは燐酸の存在に於て窒素が相當肥効を表せるものなるべし。卽ち本土壤に於ては三要素中燐酸のみ肥効顯著にして加里は全く効果なく、窒素は單用にては全く肥効をなさゞるも燐酸と共に施す時始めて相當の効果を示せり。

第四表

	子實收量(瓦)	稈收量(瓦)	總收量(瓦)		子實收量(瓦)	稈收量(瓦)	總收量(瓦)
三要素區	31.25	81.05	112.30	窒素單用區	0.30	4.12	4.44
無加里區	25.65	66.06	91.71	加里單用區	0.42	4.50	4.92
無燐酸區	0.37	3.02	3.39	燐酸單用區	12.10	31.52	43.62
無窒素區	13.70	35.25	48.95	無肥料區	0.28	2.75	3.03

收量に於ても燐酸の肥効のみ顯著にして窒素、加里は燐酸と共用して始めて効果あるが如く之の關係を一層明瞭なら

しむる爲め燐酸單用區の收量を一〇〇・〇〇とし各區收量の比率を求めたり。

第　五　表

	子實收量	稈收量	總收量		子實收量	稈收量	總收量
無窒素區	258.25	257.14	257.45	窒素單用區	2.64	13.07	10.18
無加里區	212.00	209.58	210.25	加里單用區	3.47	14.28	11.28
無燐酸區	3.06	9.58	7.75	燐酸單用區	100.00	100.00	100.00
無肥料區	113.22	111.83	122.22	無肥料區	2.31	8.72	6.92

窒素は單用及び加里と共用する時に於て共に無肥料區と大差なく全く肥効無しと云ひ得べく、燐酸と共用する時初めて著しき効果を表し燐酸單用の二倍の收量を得たり。更に燐酸、加里と併用する時一層成育良効にして燐酸單用の約二・五倍の收量を示せり。

加里は單用の時或は窒素と共用する時には全く肥効なく、燐酸と共用する時僅に一〇―二〇%の增收を示せり。

燐酸は單用に於ても著しき肥効を示し、子實收量の如き無肥料區の殆んど四〇倍以上を示し、稈收量、總收量も共に燐酸の効果顯著なることを示せり。燐酸は加里と共用する時は僅に加里の効果を示し、窒素は燐酸單用の二倍の收量を得たり。

以上の肥料試驗の成育並びに收量調査の結果を綜合して考ふるに燐酸の肥効のみ顯著にして加里、窒素は燐酸と共用して初めて共の肥効を表し單用にては全く効果なし。

(二)　燐酸及び石灰肥効試験

上記の實驗に依り燐酸の肥効顯著なることを知り得たりと雖も燐酸肥料として過燐酸石灰を施用せるを以つて其の肥効が燐酸イオンによるか或は石灰イオンに依るかを一層明かにせんが爲め次の實驗を試みたり。先づ燐酸イオンの肥効を試驗する爲め第二燐酸アンモニヤ、第二燐酸曹達、第二燐酸加里、第二燐酸石灰、燐酸苦土、燐酸鐵、燐酸礬土、燐酸等各鉢當り十分の一モル(燐酸苦土のみは二十分の一モル)を施し、前同樣の方法を以つて植木鉢試驗を行ひたり。其の成育調査次の如し。

第　六　表

	草丈平均(糎)			一株の本數		
	七月十八日	八月八日	八月二十八日	七月十八日	八月八日	八月二十八日
燐酸アンモニヤ	41.59	75.00	120.12	5.8	9.1	13.5
燐酸曹達	35.46	58.67	85.56	3.2	4.7	5.3
燐酸加里	47.67	62.17	90.58	7.1	7.7	8.6
燐酸石灰	42.83	62.50	101.26	5.2	8.0	10.5
燐酸苦土	38.00	60.33	96.57	4.2	7.5	8.2
燐酸鐵	38.57	63.00	94.56	3.5	6.5	8.2
燐酸礬土	29.67	48.33	81.61	3.0	3.5	4.6

燐酸區	43.17	63.05	95.32	3.2	7.0	8.5
無肥料區	28.90	27.17	30.06	3.0	3.0	2.5

成育は燐酸アンモニヤ、燐酸石灰最も良効にして燐酸加里、燐酸鐵、燐酸苦土之れに次ぎ、燐酸曹達殊に燐酸礬土は最も不良なり。然し之れを無肥料區に比較すれば燐酸礬土區も亦相等成育良効と云はざるべからず。

收量調査結果次表の如し。

第　七　表

	子實收量(瓦)	稈收量(瓦)	總收量(瓦)		子實收量(瓦)	稈收量(瓦)	總收量(瓦)
燐酸アンモニヤ區	29.15	94.75	123.90	燐酸礬區	15.35	42.15	57.50
燐酸曹達區	12.62	31.25	43.87	燐酸礬土區	6.55	18.00	24.55
燐酸加里區	1.695	47.25	64.20	燐酸區	15.15	40.75	55.90
燐酸石灰區	18.70	47.03	65.73	無肥料區	0.28	2.05	2.33
燐酸苦土區	15.35	42.16	57.51				

燐酸區は總て著しき肥効あり。之れを無肥料區の收量を一〇〇としての比率を計算し、增收の割合を求め次の結果を得たり。

第　八　表

	子實收量	稈收量	總收量		子實收量	稈收量	總收量
燐酸アンモニヤ區	10410.74	4621.95	5317.00	燐酸鑛區	5482.14	2056.10	2467.81
燐酸曹達區	4567.14	1524.30	1882.83	燐酸黒土區	2339.28	878.05	1053.65
燐酸加里區	6053.57	2304.88	2705.26	燐酸區	5410.71	1987.80	2399.14
燐酸石灰區	6678.57	2294.14	2821.03	無肥料區	100.00	100.00	100.00
燐酸苦土區	5482.14	2056.58	2468.24				

收量も亦燐酸アンモニヤ區最大にして子實收量は無肥料區の一〇四・一〇七四倍、稈收量は四六・二一九五倍、總收量は五三・一七六〇倍にして燐酸區の約二倍なるは三要素試驗に於ける燐酸の存在に於て窒素を施す時は燐酸單用の二倍量の收量を得たる實驗と能く一致す。次に燐酸石灰、燐酸加里、燐酸苦土、燐酸鐵、燐酸、燐酸曹達の順にして之等の收量は大體一致し平均子實收量一五・六八瓦即ち無肥料區の五五・六四三七倍、稈收量四一・七七瓦、無肥料區の二〇・三七三一倍、總收量五七・四五瓦、無肥料區の二四・六五七三倍なり。燐酸礬土最も收量少にして前記六燐酸鹽收量平均の凡そ半分或はそれ以下なり。然し之れを無肥料區に比すれば尙ほ子實收量二三・二九二八倍、稈收量八・七八〇五倍、總收量一〇・五三六五倍なり。

以上を通覽して燐酸鹽は其の化合する陽イオンの如何に依り多少肥効の程度に相違あるも全部著しき肥効ありと云ひ得べし。

次に石灰イオンの肥効を試驗する爲め鹽化石灰、硫酸石灰、硝酸石灰、醋酸石灰、酸化石灰、炭酸石灰等の石灰鹽を

各鉢當り十分の一モルを施し同様に植木鉢試驗を試みたり。其の成育調査の平均値次の如し。

第　九　表

	草丈平均（糎）			一株の本數		
	七月十八日	八月八日	八月二十八日	七月十八日	八月八日	八月二十八日
鹽化石灰區	27.50	20.50	22.12	3.0	2.5	2.4
硫酸石灰區	25.67	24.16	32.15	3.0	3.0	2.6
硝酸石灰區	27.50	25.17	24.52	3.0	2.8	2.8
醋酸石灰區	31.34	28.15	31.51	3.0	2.6	2.9
酸化石灰區	27.50	23.67	33.51	3.0	3.0	2.8
炭酸石灰區	30.10	31.25	41.62	3.0	3.0	2.8
燐酸石灰區	42.83	62.50	101.26	5.2	8.0	10.5
無肥料區	28.90	27.17	30.06	3.0	3.0	2.5

以上の結果を見るに燐酸石灰區のみは著しく成長するに反し、他の石灰鹽區は皆等しく植付の時と等しきか或は漸次草丈を減じ更に枯死して一株の本數を減ずる有様なり。更に收量調査結果の平均値次の如し。

第　十　表

	子實收量（瓦）	稈收量（瓦）	總收量（瓦）		子實收量（瓦）	稈收量（瓦）	總收量（瓦）

鹽化石灰區	0.37	2.90	2.45	鹽化石灰區	0.37	3.35	3.62
硫酸石灰區	0.36	3.25	3.51	炭酸石灰區	0.45	4.04	4.70
硝酸石灰區	0.18	2.45	2.63	燐酸石灰區	18.70	47.03	65.73
醋酸石灰區	0.37	3.15	3.42	無肥料區	0.38	2.05	2.33

以上の結果を見るに成育調査に於けると同様燐酸石灰のみ著しく收量大にして他は無肥料區と殆ど同様なり。更に之の關係を明瞭ならしむる爲め無肥料區の收量を一〇〇として比率を求めたり。

第　十　一　表

	子實收量	稈收量	總收量		子實收量	稈收量	總收量
鹽化石灰區	80.29	107.32	105.15	鹽化石灰區	96.43	103.41	155.93
硫酸石灰區	92.86	158.54	157.64	炭酸石灰區	250.00	197.56	204.71
硝酸石灰區	64.29	119.51	112.87	燐酸石灰區	6575.57	2294.14	2821.03
醋酸石灰區	96.43	153.66	145.78	無肥料區	100.00	100.00	100.00

燐酸石灰施用による增收は無肥料區と比較し子實收量六六・七八五七倍、稈二二・九四一四倍、總量二八・二一〇三倍なるに比し其の他の石灰鹽は等しく無肥料區と大差なし。強いて陰イオンの効果を總收量より判斷せば炭酸鹽、酸化物、醋酸鹽、硝酸鹽、鹽化物の順位にして炭酸石灰最も効果あり。

以上の實驗により燐酸イオンが著しく肥効を有し、他の陰イオンは殆んど本土壤改良に効果なきことを知る。且つ陽

イオンは單獨にては殆んど効果なきも燐酸イオンの存在に於てアンモニヤは顯著なる作用を認め燐酸單用の約二倍の增收をなす。其の他僅かながら石灰、加里、苦土、鐵の順に燐酸（H_3PO_4）より增收を示し、曹達は僅か減收し、礬土は最も悪く燐酸（H_3PO_4）の半分以下の收量を得たり。

（三）燐酸と礬土の關係

實驗（一）に依り本土壤は多量の活性、置換性等の可溶性礬土を含有するが故に該礬土の植生に對する有害作用を考へ得べし。斯る可溶性礬土の存在に基づく不良土は燐酸及び石灰の施用により著しく抑壓し得るは既に Blair and Prince 氏[2]、Mirasol 氏[3]等により立證せられたれば本土壤に可溶性礬土として硫酸礬土、鹽化礬土を施し其の有害作用の有無を檢し、更に燐酸による影響を試みたり。

鉢番號	施用物及び量（瓦）
一—二	過燐酸石灰（一〇瓦）
三—四	過燐酸石灰（一〇瓦）＋鹽化礬土（一〇瓦）
五—六	過燐酸石灰（一〇瓦）＋硫酸礬土（一〇瓦）
七—八	鹽化礬土（一〇瓦）
九—一〇	硫酸礬土（一〇瓦）
一一—一二	無肥料

成育調査の結果次の如し。

第　十　二　表

鉢番號	草丈平均(糎)			一株の本數		
	七月十八日	八月八日	八月二十八日	七月十八日	八月八日	八月二十八日
1—2	35.17	50.33	84.15	3.0	4.2	7.2
3—4	31.27	50.15	81.62	3.0	4.0	7.0
5—6	26.00	48.25	84.00	3.0	4.7	7.5
7—8	27.26	25.50	24.12	3.0	3.0	2.1
9—10	29.17	26.12	25.16	3.0	2.7	2.4
11—12	28.90	27.17	30.06	3.0	3.0	2.5

硫酸礬土、鹽化礬土を施せる鉢は草丈、一株の本數共次第に減少し無肥料より一層成育悪く、僅に枯死を免るゝ程度なり。之れに反し過燐酸石灰を施せるものは礬土鹽の有害作用と抑壓して全く之れを認めざる狀態なり。

又收量調査の平均結果次の如し。

第　十　三　表

鉢番號	子實收量(瓦)	稈收量(瓦)	總收量(瓦)	鉢番號	子實收量(瓦)	稈收量(瓦)	總收量(瓦)
1—2	13.25	26.52	39.77	7—8	0.00	1.25	1.25

3—4	12.75	25.53	38.31	9—10	0.00	1.25	1.25
5—6	13.76	26.86	40.12	11—12	0.98	2.05	2.33

收量に於ても成育調査に於けると全く同様なる結果にして硫酸礬土、鹽化礬土等可溶性礬土鹽のみを施せるものは子實收量全く能く、僅かに稈を殘存するに過ぎして無肥料區よりはるか收量少く、可溶性礬土施用の有害作用を認め得べし。過燐酸石灰の存在に於ては之の礬土鹽の有害作用無く其の作用を抑壓せるものと考へらる。

（四）Neubauer 氏燐酸吸收試驗

實驗（二）に於て本土壤は水稻の成育並びに收量の上に燐酸イオンが獨り顯著なる効果あることを實驗せり。之の燐酸イオンの肥効が第二報に述べたる如く本土壤は燐酸殊に有効態燐酸に缺乏せるを以つて、之れを補ふ爲に生じたる燐酸の直接肥効作用によるものか、或は實驗（一）及び實驗（三）に依り明なる如く本土壤は多量の活性、置換性等の可溶性礬土を含有するが故に燐酸に依り該礬土の有害作用を抑壓する爲に生ずる間接的効果によるものか、之れを判斷する一助として Zeubauer 氏法により水稻の燐酸吸收試驗を行ひたり。

小西氏(35)、春日井氏(41)、手島氏(46)等は Zeubauer 氏幼植物法を水稻に應用し、土壤中の植物可給態燐酸含量の査定を試みたり。卽ち供試土壤一〇〇瓦と一定量の砂とを混合せるものに水稻の種子百粒を播種し、一八日間栽培したる後幼植物を採集し、其の植物體中に含まるゝ燐酸を定量し、幼植物が土壤より吸收せる燐量を乾土一〇〇瓦相當に換算せり。

若し本土壌に對する燐酸イオンの効果が土壌の有効態燐酸を補ふために生じたる直接肥効作用なりとせば幼植物體吸收の燐酸は相等多かるべく、之れに反し粘土の有害作用抑壓による間接的効果なりとせば植物の吸收燐酸量は大なる差異なきものと考へらる。

本實驗には燐酸肥料として第一燐酸石灰（Kaulbaum 會社製）液を各濃度に施し、水稻品種强力一號を用ひたり。又手島氏[13]により平均溫度二十二度に於て一八日間栽培し、栽培方法及び分析法は總て春日井氏[41]によれり。其の結果の平均値次の如し。

第十四表

番號	燐酸施用量 P_2O_5 (瓦)	種子100瓦の重量(瓦)	發芽數	幼植物に吸收せられたる燐酸量(瓦)	施用せる燐酸量に對する吸收せられたる燐酸量の割合(%)
1	0.0	2.5012	100.0	瓦 1.3	
2	12.1	2.4852	99.0	瓦 1.5	瓦 12.405
3	31.3	2.4925	98.5	瓦 1.3	瓦 4.167
4	62.5	2.5125	100.0	瓦 0.9	瓦 1.440
5	90.8	2.4920	100.0	瓦 0.6	瓦 0.660
6	121.0	2.4892	98.5	瓦 0.8	瓦 0.660
7	312.5	2.5131	99.0	2.5	0.800
8	625.0	2.4523	98.5	4.5	0.720

本土壌は一〇〇瓦に燐酸（P_2O_5）一二一瓦を施すも植物は殆んど吸收し得ず、其の總ては不可給態に變ずるもの、如

し。故に植木鉢試驗に於ても土壤七瓦に對し燐酸（P_2O_5）八・四七瓦以下にては吸收利用して榮養となす能はず、其の總ては難溶なる不可給態化合物として沈澱するもの丶如く、三要素肥効試驗に於て一・二五瓦の燐酸がよく水稻成育並びに收量に効果を示せるは燐酸の直接肥効作用にあらずしてむしろ有害性可溶性礫土を沈澱し、其の作用を抑壓する爲に生ずる間接的効果となすを至當なりと考へらる。

考察及び結論

第二報考察及び摘要に於て本土壤不良の原因として

一、石灰（熱濃鹽酸可溶、〇・二規定硝酸可溶、置換性）の缺乏。

二、燐酸殊に有効態燐酸の缺乏。

三、窒素の缺乏。

四、礫土の多量に存在すること。

等を擧げ得べく其内石灰の缺乏は土壤の理化學的組成分の上に著しき影響あるも、其の施用は水稻の成育並びに收量に殆んど効果なき點より考へ、植生不良原因としては直接的のものにあらずしてむしろ他因子に影響して表はる丶間接的のものと考ふるを至當なりと述べたり。

本實驗に於ては本土壤の直接的不良原因を探究するため殘る燐酸、窒素、礫土の關係に就き實驗を試みたり。

一、窒素は三要素肥効試驗の結果單用又は加里と共用する時全く肥効なく、燐酸と並用して初めて共の効果を表し燐酸

單用の約二倍の收量を示せり。又燐酸鹽の各種鹽類に就き肥効試験を行へる結果も亦第二燐酸アンモニヤ（$(NH_4)_2HPO_4$）の施用は燐酸（H_3PO_4）の收量の凡そ二倍を示せり。

故に窒素は燐酸の存在に於て初めて効果を表し得ること明なり。

二、可溶性礫土として Burgess 氏法による活性礫土は第一組は勿論第二組も著しく多く、米國に於ける活性礫土による不良土として發表されたる何れよりも其の含量大なるを以つて、若し之の礫土が植生に最も影響するものとせば第二組も亦著しき不良土と云はざるべからず。然るに置換性礫土は其の値大なるも第二組は著しく小なる點より考へ、若し可溶性礫土が不良原因をなすものとせば活性礫土よりむしろ置換性礫土なるべし。

三、置換性礫土は土壌のPH、置換酸度、置換性水素イオン、飽和度、置換性石灰と明瞭なる相關々係を示す。且つPH五・五を限界としてそれ以上のPHには含量微少なり。

四、本土壌化學分析の結果による燐酸殊に有効態燐酸の缺乏が不良の原因なるか否かを確むるため行ひたる肥料三要素試験、各種燐酸鹽肥効試験、各種石灰鹽肥効試験の結果明に燐酸イオンが著しく肥効を有することを確めたり。

五、燐酸鹽各種の肥効試験の結果アンモニヤ鹽最も効果大にして石灰、加里、苦土、鐵、水素、曹達、礫土の順に減少し礫土は水素の約二分の一の收量を得たり。

六、石灰鹽各種の肥効試験により燐酸鹽の獨り著しき肥効あるに反し、他の陰イオン炭酸鹽、酸化物、硫酸鹽、醋酸鹽、硝酸鹽等は無肥料と殆んど異る所なし。故に陰イオンとしては燐酸のみが植生に關係を有し、他は殆んど關係なきものゝ如く、石灰も亦直接植生に影響なきが如し。

七、本土壌の不良改良として燐酸イオンのみ獨り著しき効果あるは本土壌の燐酸缺乏を補ふ爲めに生じたるものか或は本土壌不良の一因と考へらるる可溶性礫土に働き其の有害作用を抑壓せる爲めに生じたる間接的効果によるものかを確むる爲め本土壌に硫酸礫土、鹽化礫土を施して其の害作用を確め、之の害作用は燐酸の加用により全く除去さるゝことを實驗せり。且つ Neubauer 氏幼植物法に依る燐酸吸收試驗の結果より見れば一植木鉢の土壌七瓩に對して燐酸(P_2O_5)八・四七瓦以下にては植物は燐酸を吸收利用し得ざるものゝ如く、三要素試驗の如き鉢當り僅か一・二五瓦の燐酸にては全く肥効として植物の吸收利用し得ざるものと云はざるべからず。

八、以上の實驗結果と Cameron and Hurst 氏[16]及び Fred 氏[11]等諸氏の炭酸石灰缺乏土に過燐酸石灰の施用は殆んど不溶性なる燐酸礫土及び燐酸鐵と變ずべしと云ひ、Gaarder 氏[13]は土壌の燐酸沈澱を論じて酸性狀態に於ては鐵及び礫土により、中性狀態に於ては石灰により行なはるゝものと云ひ。又 Lotte and Maclean 氏[19]は礫土の凝縮は陰イオンの種類に依り異り、燐酸イオンに於ては PH 三・二に於て完成すと報告せり。Blair and Prince 氏[2]及び Mirasol 氏[26]は可溶性礫土による不良土は燐酸の施用により著しく其の有害作用を抑壓せらるゝことを實驗せり。以上の諸說を參照し本土壌の如く酸性强く、且つ石灰缺乏土に燐酸の施用は殆んど不溶性なる燐酸鐵、燐酸礫土として沈澱し、其の肥効は著しく殺減せらるゝものと考へらる。故に土壌に表れたる燐酸の肥効は燐酸の缺乏による直接の肥効にあらずして可溶性礫土を抑壓せる爲めに表れたる間接的効果なりとするを至當なりとす。從つて本土壌不良の一大原因として可溶性礫土特に置換性礫土の存在に基因するものとせざるべからず。

本研究にあたり懇切なる御指導を賜へる恩師大原農業研究所板野博士に對し深甚の感謝を表す。

參考文獻

1. Abbott, J. B., Conner S. D., and Amalley, H. R. 1913. Soil acidity, nitrification and the toxity of soluble salts of aluminium, Ind, (Purdue Univ.) Agr. Exp. Sta. Bul. 170.

2. Blair, A. W., and Prince, A. L. 1927. The relation of soil reaction to active aluminium, Soil Science, V. 24, p. 205—213.

3. Boullanger, E. 1912. Etudes expérimentales sur les engrais catalytiques. In Ann. Sci. Agron., ser. 4, t. 1, no. 3, p. 161—180.

4. Burgess, P. S. 1923. A method for the determination of "active" aluminium in acid soils. Soil Science, V. 15, p. 131—136.

5. Burgess, P. S. 1923. Comparison of "active" aluminium and hydrogen-ion concentrations of widely separated acid soils. Soil Science V. 15. p. 407—412.

6. Cameron, F. K., and Hurst, L. A. 1904. Action of water and saline solutions upon certain slightly soluble phosphates. Jour. Amer. Chem. Soc., V. 26, p. 885—913.

7. Comber, N. M. 1922. The availability of mineral plant food. Jour. Agr. Sci, V. 12, p. 363—369.

8. Conner, S. D., and Sears, O. H. 1922. Aluminium salts and acids at varying hydrogen-ion concentrations, in relation to plant growth in water cultures. Soil Science, V. 13, p. 23—41.

9. Denison, I. A. 1922. The nature of certain aluminium salts in the soil and their influence on ammonification and nitrification. Soil Science, V. 13, p. 81—106.

10. Fluri. M. 1908. Der Eeifluss von Aluminum salzen auf das Protoplasma. Flora, Bd. 99, No. 2, p. 81—126.

11. Fred, W. M. 1923. Relations between calcium carbonate, certain fertilizer chemicals and the soil solution. Soil Science V. 15, p. 75—92.

12, Gilbert, B. E., and Pember, F. R. 1931, Further evidence concerning the toxic action of aluminium in connection with plant

growth. Soil Science V. 31, p. 267—273.

13. Gaarder, T. 1930. Medd. Vestlandets Forst. Forsoksstat., No. 14. (abst. in Russell, E. J., 1932. Soil Conditions and Plant Growth. p. 225.)

14. Hartwell, B. L., and Pember, F. R. 1918. The presence of aluminium as a reason for the difference in the effect of so-called acid soil on barley and rye. Soil Science V. 6. p. 259—277.

15. Hebert, A. 1907. Toxicite des sels de chrome d'aluminium et de magnesium; leur action sur deverses fermentations. Comparison avec les proprietes analogues des terres rares. Bul. Soc. Chim. Paris. ser. 4, No. 1, p. 1026—1032.

16. Hissink, D. J. 1922. Beitrag zur Kenntnis der Adsorptsionsvorgänge im Böden. Internat. mitt. Bodenkunde, V. 12, p. 81—172.

17. Hissink, D. J. 1925. Base exchange in soils. Trans, Far. Soc., V. 20. p. 551—566.

18. House, H. D., and Gies, W. J. 1905—1906. The influence of aluminnium ions on lupine seedlings. Amer. Jour. Physiol., V. 15. p. 19.

19. Joffe, J. S., and McLean, H. C. 1928. Colloidal behavior of soils and soil fertility: V. The distribution of soluble and colloidal iron and aluminium in soils. Soil Science, V. 26, p. 317—325.

20. Johnson, S. W. 1913. How Crops Grow. Orange Judd Co., New York.

21. Jost, L., 1907. Plant Physiology. Translation by R. J. Harvey Gibson, p. 86. Clarendon Press. Oxford.

22. Magistad, O. C. 1925. The aluminium content of the soil solution and its relation to soil reaction and plant growth. Soil Science V. 20, p. 181—225.

23. Maze, p. 1915. Determination des elements mineraux rares necessaires an developpment du mais. Compt. Rend. Acad. Sci. (Paris,) t, 160, p. 211—214.

24. Mattson, S. 1928. The action of neutral salts on acid soils with reference to aluminium and iron. Soil Science V. 25. p. 345.

25. Michaels, H., and De Heen, P. 1905. Note an sujet de l'action des sels d'aluminium sur la germination. Bul. Acad. Roy. Belg., (1906), p. 520.

26. Mirasol, J. J. 1920. Aluminium as a factor in soil acidity. Soil Science V. 20. p. 153—193.

27. Pfeiffer, T, and Blanck, 1913. Beitrag zur Frage über die Wirkung des Mangans bezw. Aluminiums auf Pflanzen-wachstum. Landw. Vers. Stat., Bd. 83, p. 257—281.

29. Pfeffer, W. 1899. Physiology of plants. Translation by A. J. Ewart, V. 1. p. 437.

30. Pierre, W. H., Pohlman, G. G., and Mc Ilvaine, T. C. 1932. Soluble aluminium studies : I The concentration of aluminium in the displaced soil solution of naturally acid soils. soil science V. 34. p. 145—159.

31. Britton, H. T. S., 1932. Hydrogen Ions. p. 536.

32. Ruprecht, R. W. 1915. Toxic effect of iron and aluminium salts on clover seedlings. Mass. Agr. Exp. Sta. Bul. 161.

33. Ruprecht, R. W., and Morse, F. W. 1915 The effect of sulfate of ammonia on soil. Mass. Agr. Exp. Sta. Bul. 165.

34. Ruprecht, R. W., and Morse, F. W. 1917. The course of the injurious effect of sulfate of ammonia when used as a fertilizer Mass. Agr. Exp. Res., v. 7, p. 123—145.

35. Robinson, W. O., Steinkoenig, L. N., and Miller, C. F. 1917. The relation of some of the rarer elements in soils and plants. U. S. Dept. Agr. Bul. 600.

36. Stoklasa, J. 1911. Catalytic fertilizers for suger beets. Bl. Zeckerrühenbau, Bd. 18, no. 11. p. 193—197; (Abst. in Exp. Sta. Rec., V. 26, p. 225)

37. Turner, P. E. 1931. Replaceable iron and aluminium in Soils. Soil Science V. 32. p. 447.

38. Varvaro, U. 1912. The action of manganese dioxide and other metallic compounds on the germination of seeds. Staz. Sper. Agr. Ital., V. 45, no. 12, p. 917—929; (Abst. in Exp. Sta. Rec., V. 29, p. 528.)

39. Miyake, K. 1916. The toxic action of soluble aluminium salts upon the growth of the rice plant. Jour. Biol. Chem, V. 25, p. 23.

40. Yamano, G. 1905. Can aluminium salts enhance plant growth? Bul. Col. Agr. Tokyo Imp. Univ., V. 6. No. 4. p. 429—432.

41. Kratzmann, E. 1914. the physiological action of The salts of aluminium upon plants. In Sitzber. K. Akad. Wiss. [Vienna], Math. Naturw. Kl., Bd. 123, Ⅱ, Ⅲ, p. 211—233; (abst. in Exp. Sta. Rec., V. 34, p. 525.)

42. Shedd, O. M. 1923. Effect of adsorption and other factors on certain plant food constituents obtained in the dilute nitric acid digestion of soils and an improvement for their estimation Soil Science V. 15, p. 383—393.

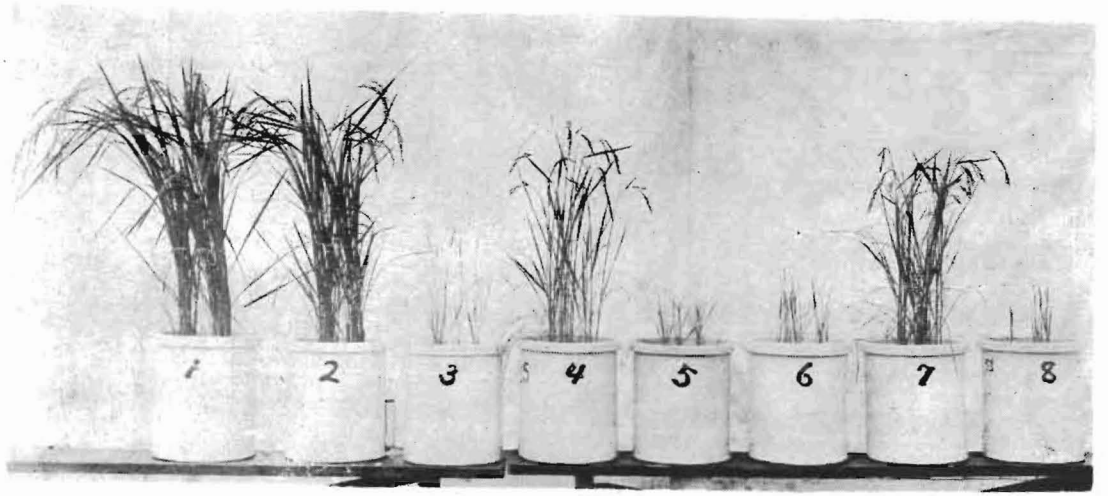
43. Burgess, P. S. 1923. Comparison of "active" aluminium and hydrogen-ion concentrations of widely separated acid soils. Soil Science V. 15, p. 407—412.

44. 春日井新一郎　昭和4年　燐酸肥料の肥効試驗成績(其三)　土壤肥料學雜誌　第3卷　第1號　31—50頁

45. 小西龜太郎　松本五懷　昭和4年　ノイバエル氏法に依る土壤有効燐酸檢定に就て　土壤肥料學雜誌　第3卷　第1號　17—30頁

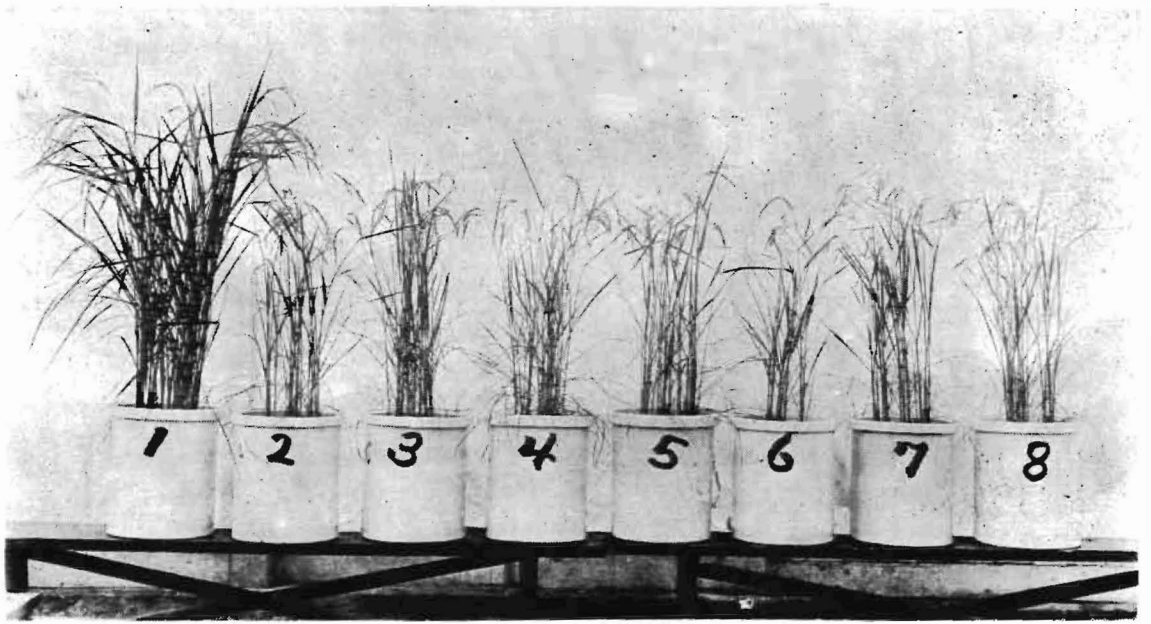
46. 手島周太郎　昭和5年　ノイバウエル氏幼植物法に依る土壤中有効燐酸定量法に於て水稻の生育上溫度の影響に就て　土壤肥料學雜誌　第4卷　第3號　37—88頁

第一圖　三要素試驗



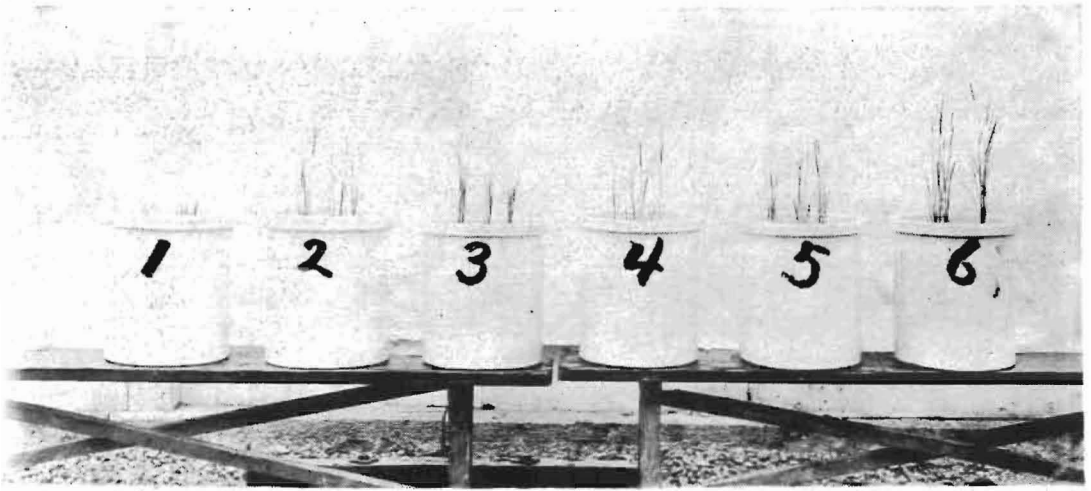
1、三要素區　2、無加里區　3、無磷酸區　4、無窒素區　5、窒素單用區　6、加里單用區　7、磷酸單用區　8、無肥料區

第二圖　燐酸鹽の肥効



1、モニヤ燐酸アン
2、燐酸曹達
3、燐酸加里
4、燐酸石灰
5、燐酸鐵
6、燐酸礬土
7、燐酸苦土
8、燐酸

第三圖　石灰鹽の肥効



1、鹽化石灰　2、硫酸石灰　3、硝酸石灰　4、醋酸石灰　5、酸化石灰　6、炭酸石灰

第四圖　禁土の影響

1、過燐酸石灰
2、過燐酸石灰鹽化礬土
3、過燐酸石灰硫酸礬土
4、鹽化礬土
5、硫酸礬土