

開田地の生産力増強に関する研究 燐酸施用量とその持続性

中野政行・橋本俊一・土山 豊

I. 諸言

開田地水稻の生産力は赤枯病の発生と、土壤化学性とくに燐酸供給力が著しく少ないことが主要な阻害要因となっているが、赤枯病の発生実態と対策¹⁾、燐酸多施効果²⁾の著しいことはすでに報告した。土壤中の燐酸は本来母材中には少なく、その含量は施肥来歴に比例するものと考えられるので燐酸施用量と施用後の経年との関連でその持続性を検討することは重要である。

1964年に施肥来歴を異にする2カ所の開田地で燐酸施用量試験を行ない、'65~'68年の4ケ年間その持続性を検討し一応の結果をえたので報告する。

本試験を行なうにあたり現地の栽培を担当さ

れた桜井隆、長谷川郁太郎、試験の一部を担当された元試験場技師、印南悟朗(現那須農業指導所)、協力を得た大田原普及所 白井幸男の各氏に対し厚く謝意を表する。

II. 試験方法

前報で報告した燐酸施用量試験のうち、山林開田初年目水田(以下初年目試験地と呼ぶ)、と畑地開田後4年を経過した水田(以下4年目試験地と呼ぶ)、の2試験の同一処理区を第1表のように2分し一方は毎年燐酸吸収係数の0.5%飽和量を施肥燐酸として施用(以下対照)し、一方は無燐酸(以下残効)栽培を行なった。

第1表 試験処理の経過(燐酸施用量は燐酸吸収係数の飽和量)

試験開始時 処 理 名	第 2 年 目	第 3 年 目	第 4 年 目	第 5 年 目	P ₂ O ₅ 施用量(累計) kg/a	
					初半月試験地	4年月試験地
P-0 %	P-0 %	P-0 %	P-0 %	P-0 %	0	0
	新設P-10 %	残効P-10%B	残効P-10%B	残耕P-10%B	22.4	20.3
P-0.5 %	残耕P-0.5 %	新設P-10 %	残効P-10 %C	残効P-10 %C	22.4	20.3
	対照P-0.5 %	対照P-0.5 %	新設P-10 %	残耕P-10 %D	22.4	20.3
				全多肥珪カル	22.4	20.3
P-1 %	残耕P-1 %	新設P-20 %	残効P-20 %	残効P-20 %	44.8	40.6
	対照P-1 %	新設P-5 %	新設P-5 %	残効P-10 %E	22.4	20.3
				全多肥区	22.4	20.3
P-2 %	残効P-2 %	残効P-2 %	残効P-2 %	残効P-2 %	4.5	4.1
	対照P-2 %	対照P-2 %	対照P-2 %	対照P-2 %	8.9	8.1
P-5 %	残効P-5 %	残効P-5 %	残効P-5 %	残効P-5 %	11.2	10.1
	対照P-5 %	対照P-5 %	対照P-5 %	対照P-5 %	15.6	14.1
	残耕P-10 %	残耕P-10 %A	残効P-10 %A	残効P-10 %A	22.4	20.3
P-10 %				全多肥珪カル	22.4	20.3
	対照P-10 %	対照P-10 %	対照P-10 %	対照P-10 %	26.8	24.3

注. 対照は2年目より毎年燐酸吸収係数の0.5%飽和量を施用

残効P-10%Eは第3年目5%第4年目5%計10%を2ケ年で施用

珪カルは30kg/aを施用多肥は標肥の2割増とした。

さらに磷酸施用量の少ない0.5%区および1%区は2年目にいたり水稻が著しく劣ったので内容を変更し、磷酸吸収係数の10%飽和量を年々新設し磷酸施用後の経年との比較を行なった。

なお磷酸10%施用量は当初の磷酸施用量と水稻の磷酸吸収量を考慮して施用量を算出した。

また施用磷酸が熔磷のため珪酸も多量に同時施用されるため、その内容を検討するために、最終年度に磷酸10%施用区をさらに2分し施肥量をかえ珪酸の効果についても検討した。

品種はクサブエを供試し、苗代様式は畑苗代栽植密度は24株/m² 田植期は初年目試験地で5月11日、4年目試験地は5月12日に行なった。施肥量は元肥として窒素0.7kg/a 加里0.7kg/a 追肥は窒素0.3kg/a を茎肥と穂肥に分け、加里は0.2kg/a を穂肥として施した。

品種、苗代様式、栽植密度、田植期、施肥量は5ヶ年間ともほぼ同様に行なった。

参考試験として磷酸施用量、開田後の経過年数を異にする水田の作土を供試し、ポットを用いて三要素試験を行ない、三要素供給量を査定した。

Ⅲ. 生育経過の概要

水稻生育は各年次とも田植期が5月上旬で比較的低温なため気温の影響を受けやすいが、最終年度の43年が分けつ期に低温で若干分けつがおくれ42年は分けつ期の温度が高かつ温度較差が大きく、活着分けつに好影響をおよぼした以外はほぼ平年の生育をしめし、台風は42年、43年に襲来したが試験結果には影響が少なかった。

持続効果を検討した4年間の生育は磷酸施用量の少ない処理区は悪いが、磷酸施用量の多い10%区は本地域の生育より明らかに良好で、施肥量および栽培管理は適正であった。

試験地間では初年目試験地の開田後1年目は

4年目試験地に比し草丈が短かく多けつ的な生育をたどるが、持続効果の4年間は4年目試験地の生育が良好であった。病虫害は供試品種がクサブエのためイモチ菌のraceとしてのC菌に弱く全般的にイモチ病が発生したが、試験結果を攪乱するようなことはなかった。

収量の絶対量は生育量および登熟期の日照時数等の影響を受け年次による変動はまねかれない。42年度は分けつ期の気象条件がよく収量が高い傾向をしめした以外は平均的収量であった。減水深は初年目試験地がブルドーザーの圧密を受け10mm/day内外で小さく、4年目試験地は30mm/day内外で中庸であった。

Ⅵ. 試験結果

1. 磷酸施用量、施用後の経年と水稻生育

磷酸施用量と各年次別の生育状況をみると、40年度は前年施用の磷酸0.5%、1%は初年目試験地で磷酸欠乏症を呈し著しく生育が悪く、無磷酸同様な生育であった。磷酸2%以上の施用量には欠乏症はみられなかったが、生育量は施用量の増加とともに増加するが、磷酸5%以下の施用量での残効と対照では対照が良好である。

4年目試験地は磷酸欠乏症状はみられないが、施用量の増加にしたがい生育はよくなるが、初年目試験地の比ではない。

41年度の初年目試験地は磷酸1%以下の施用量では前年と同様であったが、2%、5%施用の残効と対照の生育差は前年より大きい、10%施用では残効と対照の差はない。

4年目試験地の磷酸施用量間の生育差は前年とほぼ同様であった。

磷酸施用後4年を経過した42年度は初年目試験地の残効磷酸5%以下の施用量と対照の2%は明らかな磷酸欠乏特有の生育で出穂、成熟期とも遅れた。磷酸10%A(施用後4年)は他の10%区より生育が劣り、各施用量の残効と対照の

第2表 磷酸施用量と水稻の生育(試験開始5年目)

2-1 初年目試験地

時期		分 け つ 感 期		最 高 分 け つ 期		出 穂 期		成 熟 期		
処理	項目	草丈 (cm)	莖数 / m ² (本)	草丈 (cm)	莖数 / m ² (本)	草丈 (cm)	莖数 / m ² (本)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 / m ² (本)
残効	P-0%	32.3	110	55.1	117	79.0	117	59.3	17.2	115
	P-2%	32.0	117	61.4	153	92.1	180	71.3	19.7	172
	P-5%	33.0	146	70.6	249	107.2	266	84.4	20.3	266
	P-10%A	37.1	283	72.9	353	112.2	338	83.7	20.1	331
	P-10%B	39.0	357	71.2	369	113.2	345	83.1	20.8	341
	P-10%C	39.3	343	71.6	374	114.2	352	88.7	20.9	341
	P-10%D	41.2	417	73.7	441	115.1	376	86.7	20.8	355
	P-20%	40.0	417	72.5	394	113.5	365	83.8	20.4	365
対照	P-2%	37.2	261	70.0	307	109.0	307	83.6	20.4	288
	P-5%	37.3	288	71.7	352	109.3	338	83.9	20.0	338
	P-10%	38.7	340	73.4	391	115.0	360	85.4	20.5	360

2-2 4年目試験地

時期 處理項目		分 け つ 盛 期		最 高 分 つ 期		出 穂 期		成 熟 期		
		草丈 (cm)	莖数/㎡(本)	草丈 (cm)	莖数/㎡(本)	草丈 (cm)	莖数/㎡(本)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数/㎡(本)
残効	P-0%	33.6	160	71.7	240	100.7	247	78.2	19.8	242
	P-2%	35.9	204	73.1	283	110.8	269	82.5	20.3	269
	P-5%	39.0	304	74.6	355	111.4	328	84.4	20.0	309
	P-10%A	38.9	376	75.6	432	114.0	367	88.1	19.5	362
	P-10%B	39.6	388	76.6	436	116.4	376	87.6	19.8	369
	P-10%C	38.7	384	76.3	432	116.8	384	88.2	19.8	379
	P-10%D	40.4	468	77.8	458	118.8	415	91.3	19.8	393
	P-20%	38.7	416	76.8	460	119.2	398	89.9	19.7	395
対照	P-2%	37.8	280	74.8	358	116.3	328	86.1	20.6	324
	P-5%	39.6	321	76.7	417	118.9	362	89.4	19.8	341
	P-10%	39.7	362	76.0	434	118.1	369	88.5	19.5	367

比較では残効が劣り持続効果は漸次低下する。

4年目試験地も磷酸5%(残効)2%(対照)も生育初期にわずかに磷酸欠乏の様相がみられたが、温度上昇とともに消失した。磷酸10%施用量間ではほとんど生育差はみられない。

第2表は試験5年目の試験最終年度(43年)の生育状況であるが、両試験地とも初期より残効、対照とも磷酸施用量の増加とともに増大するが、とくに茎数が増加する。

初年目試験地は磷酸10%Aまでの施用量の残効では分けつが遅く葉身の巾が狭く、下位葉は葉化し、上位葉は暗緑色で磷酸欠乏特有の生育

を示し生育は著しく遅延した。この傾向は施用量の少ないほど著しい。

これに対し対照の磷酸10%は終始磷酸欠乏症はみられず良好な生育であったが、磷酸5%は初期に磷酸欠乏症がみられるも、温度の上昇とともに消失し生育遅延はみられない。磷酸2%区は残効と同様に磷酸欠乏により生育が悪く遅延した。

4年目試験地は残効の磷酸2%までは分けつが少なく、出穂、成熟期が遅延し磷酸欠乏特有な生育であったが、磷酸5%(残効)および2%(対照)の初期に磷酸欠乏の様相がみられたが、

第3表 P-10%の新設と残効の生育度

年次	試験地	残効 新設の別	最高分けつ期		出穂期		成熟期		
			草丈 (cm)	茎数/m ² (本)	草丈 (cm)	茎数/m ² (本)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数/m ² (本)
40年	初年目試験地	残効	52.7	530	103.1	396	83.2	18.1	384
		新設	61.5	741	122.9	540	98.1	19.2	508
	4年目試験地	残効	53.6	528	111.9	384	87.5	18.9	350
		新設	54.3	540	114.0	398	99.0	18.9	362
41年	初年目試験地	残効	47.0	374	107.8	288	81.1	19.8	282
		新設	47.7	396	109.7	336	86.1	20.6	336
	4年目試験地	残効	50.1	561	109.1	410	86.7	18.4	393
		新設	50.7	573	113.2	458	89.2	18.5	451
42年	初年目試験地	残効	57.6	588	104.6	403	83.5	19.9	386
		新設	55.4	602	119.6	448	90.6	20.6	387
	4年目試験地	残効	57.1	556	109.3	384	85.5	19.3	372
		新設	57.5	576	110.3	396	87.8	19.7	389

生育中期にいたり消失した。各区の磷酸欠乏の程度は初年目試験地よりは軽微であった。

磷酸10%施用後の経年と生育との関係についてみると、初年目試験地は年数経過とともに漸次生育が劣り、とくに施用5年を経過すると明らかに磷酸欠乏症がみられ生育は著しく劣った。

4年目試験地は初年目試験地のとき傾向はなく、施用後の年数と生育の間にはほとんど差がなく土壌磷酸肥沃度の相違が水稻生育に反映した。

磷酸10%施用の場合、施用年次と次年度の比較を3ヶ年間検討し、その生育比較が第3表である。40年度は無磷酸区を2分して磷酸10%を施用し、41年は39年0.5%施用の残効区に新設10%区を、42年は39年0.5%施用の対照区に新設10%区を設けた。また39年1%施用の残効区を42年に20%を設け、39年1%施用の対照区に41年と42年にそれぞれ5%計10%を設け、それまでの施用量と水稻の吸収量を考慮して施用量を算出した。

第4表 磷酸施用量と年次別収量(kg/a)

4-1 初年月試験地

項目 処理	年次	粟 重					玄 米 重				
		39	40	41	42	43	39	40	41	42	43
残効	P-0%	12.6	9.3	14.0	13.0	19.2	1.2	4.2	6.5	9.2	7.7
	P-2%	71.7	54.4	48.0	42.0	37.0	46.2	37.6	37.2	40.9	24.6
	P-5%	74.7	75.4	52.5	54.5	57.0	51.8	41.4	39.9	49.1	33.6
	P-10%A	78.7	80.2	59.0	57.0	62.5	50.2	48.0	42.8	50.1	45.1
	P-10%B	—	85.8*	63.5	53.0	63.0	—	53.5*	43.7	50.8	52.2
	P-10%C	—	—	70.5*	61.0	66.0	—	—	50.0*	51.3	53.5
	P-10%D	—	—	—	70.0*	66.5	—	—	—	62.4*	54.4
	P-20%	—	—	70.0*	65.5	67.0	—	—	50.0*	56.7	55.0
対照	P-2%	71.7	62.4	54.5	55.5	58.0	46.2	38.5	39.4	42.7	44.2
	P-5%	74.7	75.1	54.5	62.0	61.0	51.2	43.6	41.6	49.7	48.7
	P-10%	78.7	83.1	56.5	64.5	66.1	50.2	47.1	43.8	53.4	52.8

4-2 4年目試験地

項目		粟 重					玄 米 重				
処理	年時	39	40	41	42	43	39	40	41	42	43
残効	P-0%	63.9	50.5	48.0	38.0	53.5	31.2	41.6	37.5	34.9	35.2
	P-2%	73.1	71.5	61.5	47.5	54.5	47.6	48.1	41.8	43.9	43.3
	P-5%	74.0	75.0	74.0	64.5	59.0	49.1	50.7	42.1	47.4	48.6
	P-10%A	77.3	85.5	82.0	63.0	65.0	54.3	53.8	42.9	49.7	53.0
	P-10%B	—	76.0*	81.0	62.5	66.0	—	61.3*	45.6	49.2	54.6
	P-10%C	—	—	79.0*	59.0	59.0	—	—	47.2	55.2	54.9
	P-10%D	—	—	—	70.0*	72.9	—	—	—	62.4	57.2
	P-20%	—	—	86.0*	65.5	67.0	—	—	49.0	56.7	54.3
対照	P-2%	73.1	77.5	69.0	57.0	65.0	47.6	48.7	41.9	44.7	51.1
	P-5%	74.0	80.0	70.5	55.5	68.5	49.0	51.2	42.2	47.9	52.7
	P-10%	77.3	87.0	69.0	62.0	67.0	54.3	54.2	43.0	49.5	54.6

*印はP-10%新設時の収量

両試験地とも新設と残効(施用2年目)の比較では、新設が初期より生育がよく、とくに生育後半では葉色が濃く稈長が高く穂数が多い。この差を年次別にみると40年の生育差が大きく、年次によって若干の差がみられ、気象条件が影響するようである。

2. 磷酸施用量、施用後の経年と収量

収量は生育量と登熟期の気象条件の影響を受けるが42年度は生育量の影響で全般的に高かった。初年目試験地の磷酸0.5%、1%の残効は40年度には著しい低収で無磷酸と同様な収量であったが、4年目試験地はかなりの収量が得られた。

試験5ヶ年間の収量は第4表のとおりである。

磷酸施用量と収量との関係は磷酸10%の施用量まで施用量の増加とともに増収するが、増収の程度は磷酸肥沃度の低い初年目試験地で高い

第5表 珪カルの施用効果(kg/a)

試験地		初 年 目 試 験 地				4 年 目 試 験 地			
処 理	項 目	穂数 (m ²)	登熟歩合	玄米収量	同比	穂数 (m ²)	登熟歩合	玄米収量	同比
		(本)	(%)	(kg)	(%)	(本)	(%)	(kg)	(%)
P-10%42年 施 用	標肥	372	78	53.3	100	403	85	54.4	100
	多肥	356	74	53.4	100	396	85	54.0	99
P-10%42年 施 用	標肥	358	75	54.4	100	398	83	57.2	100
	多肥珪カル	388	81	57.2	105	432	89	66.3	116
P-10%39年 施 用	標肥	344	80	45.1	100	368	86	53.0	100
	多肥珪カル	340	74	51.7	114	381	88	59.9	113

が、絶対収量は4年目試験地がつねに高く生育量を反映した。

磷酸施用後の経年と収量の推移は年次によって異なるが、初年目試験地は5年を経過すると生育相を反映して明らかに減収した。

無磷酸の収量は初年目試験地で試験年数の経過とともに増加し磷酸肥沃度の推移がみられるが、4年目試験地はあきらかでない。

施用後5年間の収量で持続効果をみると、各磷酸施用量とも初年目試験地は残効に比し対照が優り施用量の少ないほどその差は大きく、持続効果が減少する。

4年目試験地も磷酸5%以下の施用量では残効に比し対照がよいが、その差は初年目試験地より小さい。

磷酸10%多量施用後の年数経過と収量との関係は初年目試験地で施用後5年を経過すると明

第6表 施用後の経年と磷酸含量(幼穂形成期, 乾物%)

試験地		初 年 目 試 験 地			4 年 目 試 験 地		
		40年	41年	43年	40年	41年	43年
処 理	年次 期日	7/26	7/27	7/22	7/26	7/27	7/22
残 効	P-0%	0.11	0.12	0.10	0.28	0.28	0.21
	P-2%	0.25	0.25	0.10	0.42	0.36	0.32
	P-5%	0.44	0.46	0.16	0.54	0.50	0.34
	P-10% A	0.56	0.55	0.28	0.61	0.57	0.57
対 照	P-2%	0.44	0.48	0.39	0.48	0.36	0.29
	P-5%	0.54	0.52	0.41	0.55	0.46	0.44
	P-10%	0.56	0.56	0.48	0.60	0.54	0.55

註. 42年は採取時期が異なったので除外した。

第7表 磷酸10%施用後の経年と無機成分含量(幼穂形成期, 乾物%)

試験地		初 年 月 試 験 地						4 年 目 試 験 地					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂
残 効	P-10% A	1.79	0.28	3.20	0.27	0.21	4.54	1.55	0.57	3.74	0.31	0.27	5.58
	P-10% B	1.56	0.45	3.05	0.27	0.22	5.30	1.67	0.55	3.17	0.31	0.24	5.15
	P-10% C	1.55	0.43	3.24	0.24	0.17	4.83	1.65	0.56	3.30	0.32	0.27	5.18
	P-10% D	1.63	0.46	3.10	0.26	0.23	5.97	1.62	0.54	3.13	0.31	0.27	7.78
	P-20%	1.32	0.56	3.21	0.18	0.20	6.61	1.67	0.65	3.14	0.29	0.24	6.56

らかに減収するが、4年目試験地ではほとんど収量差がなく生育状況と一致した。

*印は磷酸10%施用年次の収量であるが、両試験地とも前年施用に比し3カ年とも高収で、とくに42年の収量が高い。

3. 多肥, 珪カルの効果

試験最終年の43年に磷酸10%施用区をさらに2分し、磷酸施用年次の多収要因を解析するために珪酸の施肥量との関連で検討した結果が、第5表である。初年目試験地は珪カル施用によってわずかに穂数増加がみられたが、4年目試験地は初期より草丈、茎数が増加した。多肥区は元肥量は同一で、田植後1週間目に窒素、加里を0.2kg/aを追肥の形で行ったが、若干葉色が濃い程度で生育差は少ない。

収量は多肥と珪カルの施用により、初年目試験地は登熟の向上によって、42年度施用で5%、39年度施用で14%増収効果がみられ、4年目試験地は穂数増加と登熟向上が俟って13~16%の増収となった。

4. 無機成分の吸収

磷酸施用量の多少が水稻生育収量を左右することは前述のとおりであるが、とくに水稻分けつ期の磷酸含量の影響が大きい。

水稻磷酸含量は水稻の生育時期によって異なることは当然で各年次の比較は厳密に考えれば問題はあがあるが、幼穂形成期の7月下旬の磷酸含量を、磷酸施用量、施用後の経年との関係をしめしたのが第6表である。

両試験地とも磷酸施用量の増加にしたがい磷酸含量は増加し、とくに増加の程度は初年目試験地で著しい。

初年目試験地における磷酸施用量、施用後の年数経過と水稻磷酸含量は各施用量とも施用後の年数経過とともに減少する傾向がみられ、とくに施用後5年目の残効の各区は著しい低含量で水稻生育状況と類似的であった。対照の各区は毎年磷酸吸収係数の0.5%飽和量を施用しているために残効ほどの低下はみられない。これに対し4年目試験地も施用後の年数経過とともに

に減少する傾向はみられるが、初年目試験地はどの低下はない。

無磷酸は両試験地とも低いが、初年目試験地は施肥来歴がなく著しい低含量で土壌の磷酸肥沃度の差が明瞭にあらわれた。

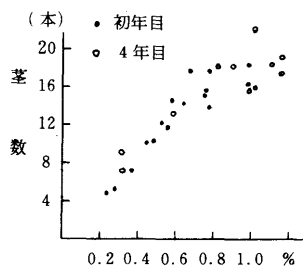
第7表は磷酸10%施用後の経年と幼穂形成期の水稻無機成分含量の関係を最終年度の42年水稻についてしめたものである。

初年目試験地の磷酸10%A(施用後5年経過)は明らかに磷酸含量が低下し、磷酸欠乏により生育が遅れ、したがって乾物の生産量が少ないため、窒素含量は逆に高い値をしめた。

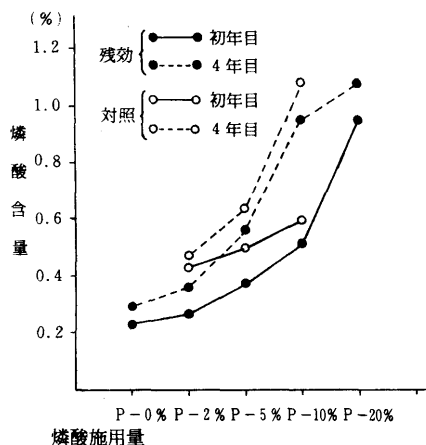
磷酸10%B~D(施用後2年~4年)までは磷酸含量には差がなく、10%施用後4年までは水稻磷酸含量には影響がない。

施肥来歴のある4年目試験地は施用後5年を経過しても磷酸含量には影響がなく初年目試験地とは異なる結果をえた。両試験地とも磷酸10%D(施用後2年目)および磷酸20%(施用後3年)はわずかに珪酸含量が高く熔燐中の珪酸の残効がうかがわれる。熔燐施用にともなって石灰、苦土も同時施用されるが、施用後の経年との関係は両試験地ともみとめられない。

早期、早植栽培は分けつ期が低温に経過し、したがって水稻磷酸含量の多少が分けつに影響する。第1図は分けつ期における茎数と磷酸含量との関係を施用後5年目の水稻についてもとめたものであるが、分けつと磷酸含量との間には密接な関係がみとめられた。



第1図 分けつ期における茎数と磷酸含量との関係



第2図 分けつ期における磷酸含量と磷酸施用量との関係(施用5年目)

第2報²⁾でのべたように磷酸10%の施用年次では、初年目、4年目試験地の水稻磷酸含量は非常に高く試験地間の差はないが、施用後5年を経過すると第2図のとおり、分けつ期の磷酸含量は各施用量とも初年目試験地が著しく少なく磷酸20%でようやく高含量を示し、磷酸多施の持続効果が短かい。

磷酸10%施用年次(新設)と2年目(残効)の水稻生育収量は前にのべたとおり、3カ年とも施用年次がよいので、養分吸収面から検討したのが第8表である。新設は残効に比べ全期間を通じて窒素、珪酸含量が高く、とくに珪酸で著しい差がみられた。熔燐中には25%内外の珪酸を含有し、磷酸10%は熔燐100kg/aの施用量で磷酸とともに多量の珪酸が施用されるが、施用2年目の水稻珪酸含量は低く、熔燐中の珪酸は施用した年次に利用され次年度の利用は少ない。

さらに施用年次と次年度の生育差の要因を解析するため最終年度の43年に施肥量と珪カルとの関連で検討しその無機成分を藁について調査したのが第9表である。両試験地とも熔燐の多施跡の割合に珪酸含量は著しく低く、珪カル施用により明らかに含量は高まるが、とくに増収量の大きかった4年目試験地ではかなり高い含量をしめた。

第8表 磷酸10%残効(施用後2年目)と新設の無機成分含量(乾物%)

試験地	項目	最高分けつ期		幼穂形成期		収穫期			
		残効	新設	残効	新設	残効		新設	
						藁	粗	藁	粗
初年目 試験地	N	3.06	3.67	1.69	2.26	0.56	1.19	0.69	1.08
	P ₂ O ₅	0.59	0.58	0.51	0.49	0.14	0.56	0.16	0.56
	K ₂ O	2.37	2.27	2.24	2.61	2.16	0.32	2.48	0.34
	SiO ₂	6.47	8.70	7.29	10.67	7.88	3.70	16.56	4.75
4年目 試験地	N	2.59	2.72	1.40	1.49	0.50	1.00	0.55	0.98
	P ₂ O ₅	0.63	0.62	0.39	0.49	0.16	0.53	0.15	0.53
	K ₂ O	2.88	2.76	2.37	1.96	2.44	0.34	2.33	0.35
	SiO ₂	6.38	8.46	9.21	9.94	9.88	3.29	12.01	4.14

第9表 珪カル施用の有無と無機成分含量(収穫期藁乾物%)

処 理	試験地 項 目	初 年 目 試 験 地				4 年 目 試 験 地			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SiO ₂
P-10%42年 施 用	標肥	0.68	0.18	1.89	8.33	0.69	0.19	2.20	8.89
	多肥	0.70	0.17	1.93	8.42	0.70	0.20	2.16	6.80
P-10%42年 施 用	標肥	0.71	0.17	1.97	8.20	0.67	0.18	2.11	7.68
	多肥珪カル	0.72	0.15	1.99	9.09	0.72	0.17	2.55	12.63
P-10%39年 施 用	標肥	0.66	0.15	1.94	8.00	0.66	0.18	2.40	6.73
	多肥珪カル	0.74	0.15	2.10	9.00	0.73	0.17	2.33	10.11

5. 土壌の化学性

熔磷施用にともない土壌窒素の無機化促進と、湛水下での還元化の促進等については第2報で報告したので、今回は土壌磷酸を中心に調査を行った。

第10表は試験開始4年目の収穫後の土壌についてJacksonの方法にしたがって磷酸の形態を調査した結果である。磷酸施用量の増加にした

がいCa型、Al型、Fe型とも増加するが、Ca型の増加は少なくAl型の増加が著しい。

無磷酸に対しそれぞれの磷酸施用による磷酸の形態を両試験地で比較すると、初年目試験地に対し4年目試験地はCa型、Fe型の増加量が多い傾向がみられ、Al型磷酸では差が少ない。

磷酸10%施用後の経年と磷酸の形態は施用後の年数経過とともにCa型、Fe型は減少するが、

第10表 磷酸施用量、施用経年と磷酸の形態(mg/100g, 乾土)

処 理	試験地 形 態	初 年 目			4 年 目		
		Ca-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Al-P	Fe-P
P-0%		tr	19.8	8.5	1.7	86.1	31.2
P-2%		tr	47.7	13.8	2.2	115.5	44.2
P-5%		1.0	77.7	18.3	4.0	159.5	53.2
P-10%A		2.2	138.7	37.9	9.0	200.6	73.5
P-10%B		3.9	131.1	43.1	9.7	233.5	84.7
P-10%C		5.3	139.7	56.8	12.9	235.7	85.7
P-10%D		9.2	140.8	54.8	28.3	252.4	104.8
P-20%		18.6	195.9	100.6	39.6	381.5	128.7

Al 型磷酸の減少は少ない。

第11表はそれぞれの年次について落水後の有効磷酸をTruog 法で調査した結果であるが、両試験地とも施用後の年数経過にしたがって減少するが、減少の程度は初年目試験地で大きい。初年目試験地の無磷酸は試験年数の経過にしたがって増加するが、堆肥施用の影響が大きい。

第11表 磷酸施用量、施用経年とTruog 磷酸(mg/100 g 乾土)

試 験 地 処 理	年 次	初 年 目 試 験 地					4 年 目 試 験 地				
		39	40	41	42	43	39	40	41	42	43
P - 0 %		tr	tr	tr	0.6	1.6	2.0	1.5	1.4	1.7	1.7
P - 2 %		2.0	2.0	1.7	1.7	1.7	6.1	5.5	5.3	3.8	3.0
P - 5 %		4.6	4.3	3.8	2.6	2.7	8.2	8.9	7.8	6.6	6.9
P - 10 % A		10.0	8.9	9.3	5.0	4.0	16.9	16.3	15.8	16.5	14.2

第12表 磷酸施用量と有効磷酸(試験開始後5年目mg/100 g 乾土)

試 験 地 時 期	項 目	初 年 目 試 験 地			4 年 目 試 験 地		
		6 / 17	収 穫 後		6 / 17	収 穫 後	
		Bray N 02法	0.002N H ₂ SO ₄	1 % Citric Acid.	Bray N 02法	0.002 H ₂ SO ₄	1 % Citric Acid.
残 効	P - 0 %	3.0	1.6	12.6	16.0	2.7	35.2
	P - 2 %	4.7	1.7	20.9	18.0	3.0	46.2
	P - 5 %	10.0	2.7	38.1	24.0	6.9	67.7
	P - 10 % A	12.2	4.0	49.7	54.8	14.2	92.3
	P - 10 % B	21.4	5.2	51.7	59.2	19.9	109.2
	P - 10 % C	28.0	6.4	74.5	60.2	31.0	116.0
	P - 10 % D	31.0	8.7	78.9	71.4	48.8	167.6
	P - 20 %	45.0	18.7	151.7	110.0	6.5	221.0
対 照	P - 2 %	6.8	2.7	30.2	24.0	8.0	67.5
	P - 5 %	13.2	3.3	55.6	30.0	14.3	75.0
	P - 10 %	26.4	4.4	115.8	50.4	14.4	108.3

水田土壌の有効磷酸測定法についてはいくつかの方法が提案されているが、試験開始後5年目の土壌でByay NO 2 法(湛水下)と落水後にTyuog 法、1 % クエン酸法で調査した結果が第12表である。それぞれの方法による有効磷酸も磷酸施用量の増加にしたがって増加し、また施用後の年数経過によって減少する傾向がみられる。

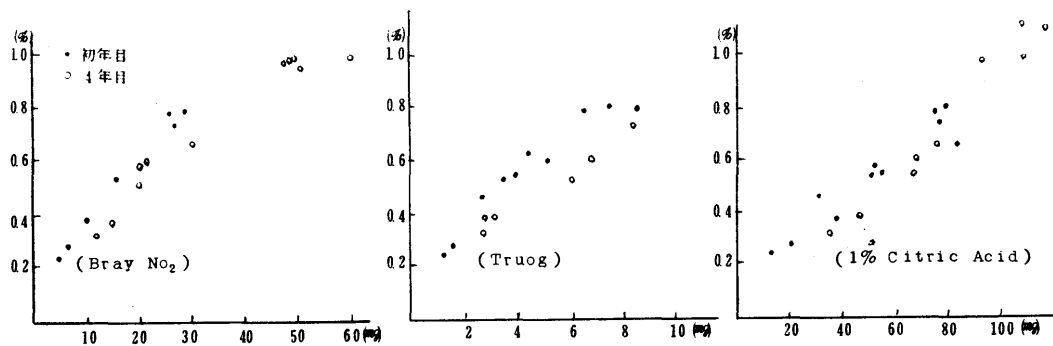
それぞれの方法についての関係をみると、Bray 法とTruog 法の間には密接な関係がみられ、またByay 法と1 % クエン酸法との間にも密接

な関係がみられる。

分けつ期の水稲磷酸含量と土壌の有効磷酸との関係をもとめたのが第3 図である。各方法とも溶出磷酸量と分けつ期の水稲磷酸含量との間には密接な関係がみられる。分けつ期の水稲磷酸含量は0.6 % 以上で分けつが旺盛となるが、0.6 % を確保するためには、分けつ期のBray NO

2 法による溶出磷酸量は約20mg/100 g 乾土、落水後のTruog 法では約6 mg/100 g 乾土、1 % クエン酸法で約50mg/100 g 乾土が必要である。

第13表は磷酸施用量、施用後の経年と土壌のアンモニア、塩基含量を42年水稲作付前の土壌について調査した結果である。生土を30℃で21日間熟成し生成するアンモニアは、磷酸施用量の増加と施用後の年数経過とともに減少する傾向がみられる。塩基含量、塩基置換率は磷酸施用量の増加と平行的に増加するが、施用後の経年との関係はみられない。



第3図 水稻磷酸含量と土壤有効磷酸との関係

第13表 磷酸施用量、施用経年と土壤の代学性 (mg/100 g 乾土)

項目 處理	初 年 目 試 験 地			4 年 目 試 験 地		
	P H (H ₂ O)	NH ₃ -N incubate (生土)	C. E. C (me)	E × - Base		
				CaO	MgO	K ₂ O
P-0%	5.3	2.7	14.0	45.0	15.4	5.5
P-2%	5.8	2.4	16.5	118.9	25.8	7.4
P-5%	5.9	2.0	17.7	176.1	34.6	7.8
P-10%A	6.1	2.1	23.1	305.6	54.8	6.3
P-10%B	6.2	2.2	23.2	295.0	64.9	6.0
P-10%C	6.2	2.5	25.2	314.1	72.6	6.4

(註) 土壤は42年作付前に採取

5, 開田後の経年, 磷酸施用量と三要素供給力

第2報²⁾で指摘したように磷酸多施にともなうて土壤窒素の無機化が促進され, さらに水田の経過年数と相俟って土壤の窒素肥沃度が低下することが予想されるので1/2000。ポットで三要素試験を実施し三要素供給力の査定をした。

供試土壤はたがいに接近した水田で開田後2年目(累計磷酸施用量12kg/a), 3年目(累計磷酸施用量16.2kg/a), 5年目(24.0kg/a)の水田作土を用いた。

水稻生育は無窒素で2年目>3年目>5年目, 無磷酸では5年目>3年目>2年目, 無加里では, 無窒素, 無磷酸ほどの生育差はないが, 無磷酸と同様な傾向であった。三要素区では水田経過年数との関係は明らかでなく, 収量および無機成分の吸収も生育と類似的であった。

第14表 開田後土壤の(土壤改良後)の経過年数と三要素供給力(g/Pot)

三要素 開田後の年数	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2 年	1.27	0.10	1.65
3 年	0.72	0.17	1.97
5 年	0.37	0.26	2.17

ポット当りの三要素吸収量から各土壤の要素供給力を算出したのが第14表で, 窒素供給力は2年目>3年目>5年目, 磷酸は5年目>3年目>2年目の順で, 加里は窒素, 磷酸ほどの差はないが磷酸と同様な傾向がみられた。

V. 考察

磷酸施用量と水稻生育収量は施用量の増加にしたがい増収し, 増収の程度は施肥来歴のない山林開田地で大きいことは前報で報告した。

水稻の生育収量は気象条件、とくに分けつ期の気温と登熟期の日照などの影響を受け年次によって若干の変動がみられたが、両試験地とも磷酸施用量の増加にしたがい増大し、明らかな持続効果がみられる。

施用後の経年と持続効果との関係を見ると、山林開田の初年目試験地は年数の経過とともに生育収量は低下し、磷酸施用量の少ないほどこの傾向が大きく残効年限は短い。施肥来歴を有する4年目試験地は施用量の少ない磷酸2%では前者とほぼ同様な傾向をしめすが、5%以上の施用量ではこの傾向は明らかでなく、磷酸施用の持続性は施肥来歴によって異なる結果をえた。また磷酸10%の多量施用を40年~42年の3ケ年にわたり新設区を設け施用後の経年変化を検討したが、初年目試験地は施用後5年を経過すると生育は明らかな磷酸欠乏症がみられ収量も著しく低下する。これに対し4年目試験地ではほとんど差異がなく、磷酸10%の多量施用でもその持続性は施肥来歴の影響が大きい。菊地³⁾らも磷酸施用量をかえ連年施用しその残効が大きいことを指摘しているが、土壌中の磷酸は本来母材中には少なく施肥来歴に比例するものと考えられ、山林開田の初年目試験地は磷酸10%施用でも20kg/aの施用で施肥来歴の点では非常に少ない。一方水稻の磷酸吸収は土壌⁴⁾磷酸の影響が大きくしたがって磷酸施用量、施肥来歴の相違によって、施用した磷酸の持続効果を異にすることは当然の結果と考えられる。

磷酸10%施用年次と施用2年目の水稻生育収量は両試験地とも施用年次がまさり、かつその程度は年によって異なるも3カ年とも同様な結果をえた。磷酸肥料は熔磷を用い、したがって石灰、若土、珪酸などが同時施用され、かつ反応もアルカリで磷酸以外の影響が当然考えられる。磷酸10%の新設と残効の水稻無機成分は新設が残効に比べ窒素、珪酸が終始高いが、他の

無機成分には差がない。また磷酸10%を2分し施肥量をかえ珪カル⁵⁾の施用効果を検討した結果多肥珪カル⁶⁾の効果は顕著で、土壌中の塩基含量から珪カル⁷⁾の増収効果は珪酸が主要因と考えられ、以上から磷酸10%施用時の高収量は熔磷施用にともなう土壌窒素の無機化促進と珪酸補給の相乗的效果と考えられる。

しかしながら熔磷多肥に伴ない多量の珪酸が同時施用され、また本試験地は火山灰を母材とし可給態珪酸が多いにもかかわらず、両試験地の水稻珪酸含量は各年次とも著しく低く、水稻の吸収量だけからは理解できない面もあり今後の検討が心要であろう。

磷酸の最も特徴的性質としてエネルギーの蓄積と運搬などがあげられるが、磷酸含量の少ない場合はエネルギーの生成が少なく、したがって高エネルギー磷酸の生成が少ないので比較的低温な分けつ期ではその影響が大きい。

分けつ期の水稻磷酸含量について本谷⁵⁾は0.45%以上で分けつを促進し、志賀⁶⁾らは下限が0.45%、上限が0.6~0.7%で上限と下限では磷酸施肥反応がみられるとしている。また木内⁷⁾らは0.25%(P)以上で分けつ旺盛、千葉⁸⁾は改良基準策定で0.6%を目標としている。筆者らも分けつ期の磷酸含量と分けつ数との間には密接な関係がみられ約0.6%以下では葉身の中が狭く分けつが劣り早期、早植条件の低温な分けつ期には、水稻磷酸含量は0.6%以上の含量が必要と思われる。

磷酸施用量と水稻磷酸含量は施用量の増加にしたがい増加するが、増加の程度は山林開田の初年目試験地が高く、かつ同一磷酸施用量では施肥来歴のある4年目試験地の磷酸含量が高く磷酸施用の感応度は土壌の磷酸肥沃度に影響を受ける。磷酸10%多量施用でも山林開田の初年目試験地は施用後5年を経過すると0.6%以下に低下し磷酸欠乏的生育をしめすが、施肥来歴

のある4年目試験地ではなお高い含量で、水稻
磷酸含量からも持続性は施肥来歴に影響をうけ
生育量と類似的である。

水田土壌の磷酸有効化には土壌の酸化還元な
どが関与し、有効磷酸の測定法もByay NO₂法、
1%クエン酸法⁸⁾が提案されている。また従
来一般的な方法としてTruog法があり、これら
の方法による溶出磷酸量と水稻分けつ期の磷酸
含量との関係はそれぞれ密接な関係がみられ、
性格を異にする土壌間での比較では問題もある
が、母材を同じくする土壌ではいずれの方法も
有効度の指標となるものと思われ、分けつ期の
水稻磷酸含量を0.6%に確保するには、おおむ
ねBray法で20mg、1%クエン酸法で50mg、Tru
og法で6mgが必要であると考えられる。

各方法による溶出磷酸量と磷酸施用後の経年
との関係は年数の経過とともに磷酸の有効度は
減少するが、施肥来歴のある4年目試験地が、
初年目試験地に比べ減少度が少なく、水稻の生
育、収量、磷酸含量の推移と類似的である。

土壌無機磷の形態は両試験地とも磷酸施用量
の増加にしたがって増加し、固定形態はAl型
Fe型>Ca型の順である。無磷酸に対する増加の
程度を形態別にみると、磷酸施用時に塩基含量
が少なくかつ湛水下でも比較的酸化条件である
初年目試験地が4年目試験地に比べCa型、Fe
型磷酸が少なく、Al型磷酸では差がない。

また磷酸10%の多量施用後の年数経過にした
がいCa型、Fe型は減少するが、Al型磷酸の
減少は少ない。

江¹⁰⁾¹¹⁾は施用磷酸の固定型態は土壌のPH、
Ehに関係が深い、初期にはAl型として固定
される量が多い、各形態の有効性は土壌反応、
有機物の多少によって異なるとしており、初年
目試験地と4年目試験地の固定形態の差異は反
応、酸化還元程度が影響したものと考えられ
る。

東海林¹²⁾らは水稻作付によりCa型、Fe型、
Al型とも減少し難溶性磷酸が増加することを
認めているが、本結果も施用後の経年とともに
磷酸の有効性は水稻の生育、磷酸含量、土壌磷
酸の面からも明らかに低下がみられ、このこと
は水稻の磷酸吸収よりも土壌磷の難溶化の影響
が大きいものと考えられる。

磷酸施用量と土壌の塩基含量および塩基置換
容量の関係をみたが、塩基含量の増大は当然と
思われるが、塩基置換容量も明らかに増加する。
吉田¹³⁾は土壌を磷酸塩処理により塩基置換容
量の増大を認め、さらに吸着基を分別定量し0
-chargeのみ増大しi-chargeには変化がない
としている。これらのことから磷酸多施による
塩基置換容量の増大は火山灰土壌の欠点を改良
する効果は少ないものと考えられる。

磷酸多施にともない土壌微生物の活性化と反
応変換によって、土壌窒素の無機化²⁾が促進さ
れ、したがって窒素肥沃度の低下が予想される
ので磷酸の施用量、開田後の年数経過の土壌の
三要素供給力との関係を検討したが、明らかに
磷酸施用量の増加と開田後5年までは年数経過
にしたがい窒素供給力は減少し逆に磷酸供給力
は増加する。開田地帯では経験的に3~5年を
経過すると収量が低下するとされているが、上
記結果もこれらと符合する。磷酸肥沃度は前述
のとおり磷酸多施によって容易に増大するが、
窒素肥沃度を短期間に増大させる技術的方策は
現在みあたらない。開田地は一般に乾土効果が
小さく10mg/100g乾土に達するにはおおむね10
年の水田経歴を要するうえに磷酸多施によって
窒素肥沃度の一時的な低下が助長されるので、
高度利用、有機物等の観点から地力窒素の増大
方策と地力窒素の推移との関連で施肥法の検討
も必要である。

IV. 摘要

磷酸施用量とその持続性について、施肥来歴を異にする2カ所で水稻の生育収量、水稻の磷酸含量、土壤磷酸の面から検討した。

1. 磷酸施用量、施用後の経年と水稻の生育収量は磷酸施用量の少ないほど持続性は短かく、かつ磷酸吸収係数の10%飽和量の施用でも初年目試験地(山林開田)は施用後5年を経過すると磷酸欠乏症を呈し、生育収量は著しく劣るが、施肥来歴のある4年目試験地は前者と様相を異にし磷酸の持続性は施肥来歴の影響を強く受ける。また磷酸吸収係数の10%飽和量の施用年次と、施用2年目では施用年次が高い。

2. 水稻生育と分けつ期の磷酸含量との間に

は密接な関係がみられ、0.6%以下で分けつが劣り、磷酸含量は施用後の年数経過とともに低下し、低下の程度は初年目試験地で大きい。

3. 土壤磷酸の有効度をBray NO 2 法、1%クエン酸法、Truog法で調査し、いずれの方法も分けつと密接な関係がみられ、施用後の年数経過とともに磷酸の有効度は減少する。磷酸の形態は施用量の多少にかかわらずAl型>Fe型>Ca型の順で施用後の年数経過によってCa型、Fe型は減少するがAl型には影響が少ない。

4. 磷酸施用量の増加にしたがい土壤の塩基置換容量は増大し、施用量の増加と開田後の年数経過にしたがい土壤の窒素供給力は減少するが磷酸供給力は増大する。

引用文献

- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1 中野政行, 印南悟郎, 土山 豊 | 栃木農試研究報告 11. 1~12 (1967) |
| 2 ————— | 栃木農試研究報告 12. 1~20 (1968) |
| 3 菊地猛雄, 鎌田嘉孝 他: | 岩手農試研究報告 56. 57~120 (1963) |
| 4 土壤肥料全編 | 養賢堂 285~288 |
| 5 本谷耕一 | 東北農試研究報告 21. 69~110 (1960) |
| 6 志賀一一, 西野紀子 | 日本土肥学会講演要旨集 13. 77 (1967) |
| 7 木内知美, 渡辺英夫 | 日本土肥学会講演要旨集 12. 51 (1966) |
| 8 千葉 明 | 農業及び園芸 45. 1074~1078(1970) |
| 9 志賀一一, 西野紀子 | 日本土肥学会講演要旨集 12. 41 (1966) |
| 10 江景村 | 日本土肥学雑誌 34. 360~364 (1963) |
| 11 ————— | 日本土肥学雑誌 36. 94~96 (1965) |
| 12 東海林覚, 他: | 日本土肥学会講演要旨集 13. 77 (1967) |
| 13 吉田 稔 | 日本土肥学雑誌 31. 447~450 (1960) |