

第6章 主な試験の結果

6 - 1 脱硫石膏の施用効果

要約

- (1) 脱硫石膏の最大効果(収量・pH値への)は、概して22,500~30,000kg ha⁻¹で発現した。
- (2) 脱硫石膏の22,500~30,000kg ha⁻¹の施用により、pH値はおおむね1程度低下した。
- (3) 脱硫石膏の施用によりEC値が上昇するので、塩性アルカリ土壌への施用には注意を要する。
- (4) 脱硫石膏の残効は初年度に22,500~30,000kg ha⁻¹施用した圃場で、翌年にも対照区比で1.2~1.5倍の収量増加があった。
- (5) 脱硫石膏の連用ではEC値の顕著な増加がみられたため、連用には注意を要する。

6 - 1 - 1 増収効果(生育・収量に及ぼす影響)

表6 - 1 a ~ cに異なる作物被害程度圃場ごとに各施用量での出芽・苗立数または出芽・苗立率を、表6 - 2 a ~ cには異なる作物被害程度圃場ごとに各施用量での実収量と増収倍率を示した。作物被害程度はおおむねpH値と一致しているが、出芽・苗立数または出芽・苗立率及び実収量は試験地によって大きく異なっている。2002年度に当該試験を実施した圃場は、未耕地であった場所で、当該年度の播種前に新たに造成されたものであり、作物被害程度は明らかでないが、前2か年と比較すると重~極重度にあるものと推察される。

ソーダ型アルカリ土壌に脱硫石膏を施用した場合には、概して施用量の増加に伴い、出芽・苗立数または出芽・苗立率の増加、増収が認められた(ただし、比較的多雨年であった2002年には出芽・苗立率に顕著な差はみられなかった)。最大出芽・苗立数または出芽・苗立率及び最大収量は概して22,500~30,000kg ha⁻¹でみられた。最大収量を対照区の収量と比較するとおよそ1.2~1.5倍の増収となった。

懐仁県金沙灘鎮に位置する張慶圃場で、2000年度にトウモロコシを供試して実施した試験では施用量の増加に伴って収量も顕著に増加し、30,000kg ha⁻¹の施用では対照区比で約2.9倍という増収効果もみられた。一方、渾源県裴村郷に位置する王学智圃場(塩化物塩及び硫酸塩を主体とする塩性アルカリ土壌で脱硫石膏施用前のpH値が8.8と比較的低い)で2001年に実施された試験では、22,500~30,000kg ha⁻¹の施用で減収がみられ、30,000kg ha⁻¹の施用では対照区の60%まで減収した。

表 6 - 1 a 2000年度に実施した脱硫石膏の施用効果確認試験での異なる作物被害程度圃場における処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と苗立数

作物被害程度	処理前		調査項目	脱硫石膏の施用量						
	試験実施場所	pH _{1:2.5}		EC _{1:5}	対照	対照	7,500	15,000	22,500	30,000
			(無施肥)		(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	
中 度										
1	大同県 党留庄郷 謙鋪村 高寛圃場 (トウモロコシ)	8.4	0.1	出芽数 (万ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
				苗立数 (万ha ⁻¹)	-	4.57	-	4.67	4.88	4.93
2	渾源県 裴村郷 西辛庄村 張志鉄圃場 (トウモロコシ)	8.6	0.2	出芽数 (万ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
				苗立数 (万ha ⁻¹)	-	4.54	-	4.81	4.97	5.13

表 6 - 1 b 2001年度に実施した脱硫石膏の施用効果確認試験での異なる作物被害程度圃場における処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と出芽・苗立数または出芽・苗立率

作物被害程度	処理前		調査項目	脱硫石膏の施用量						
	試験実施場所	pH _{1:2.5}		EC _{1:5}	対照	対照	DS2250 ¹⁾	15,000	22,500	30,000
			(無施肥)		(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	
重 度										
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 磁器廠西3号地 (ヒマワリ)	9.4	2.2	出芽率 (%)	15.4	68.2	62.4	70.4	76.3	66.7
				苗立率 (%)	10.3	48.3	52.1	60.3	64.2	56.8
2	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側2号地 (トウモロコシ)	9.8	0.3	出芽率 (%)	72.0	81.3	81.6	80.0	86.3	82.9
				苗立率 (%)	-	-	-	-	-	-
3	応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (ヒマワリ)	9.5	0.3	出芽率 (%)	26.6	42.3	47.4	53.9	58.4	50.3
				苗立率 (%)	18.9	39.2	44.4	52.8	56.5	48.7
中 度										
4	渾源県 裴村郷 西辛庄村 王学智圃場 (トウモロコシ)	8.8	2.0	出芽数 (万ha ⁻¹)	2.02	1.71	2.31	2.23	1.85	1.92
				苗立数 (万ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-

1) DS - 1997の2250 (kg ha⁻¹) 施用試験が同一試験圃場で行われていたので敢えて記載した。

表 6 - 1 c 2002年度に実施した脱硫石膏の施用効果確認試験での処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と苗立率

作物被害程度	処理前		調査項目	脱硫石膏の施用量						
	試験実施場所	pH _{1:2.5}		EC _{1:5}	対照	対照	7,500	15,000	22,500	30,000
			(無施肥)		(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	
1	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)	9.8	0.5	出芽率 (%)	-	-	-	-	-	-
				苗立率 (%)	-	97.8	99.5	99.3	99.8	97.8
2	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (ヒマワリ)	9.9	0.8	出芽率 (%)	-	-	-	-	-	-
				苗立率 (%)	-	95.0	97.9	98.5	99.4	99.1

表 6 - 2 a 2000年度に実施した脱硫酸石膏の施用効果確認試験での異なる作物被害程度圃場における処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	脱硫酸石膏の施用量													
	処理前		対照	対照	7,500		15,000		22,500		30,000			
試験実施場所			(無施肥)	(有施肥)	(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)			
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率		
甚 度														
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 魏官圃場 (ヒマワリ)		9.9	0.9	-	211	206	1.0	259	1.2	271	1.3	373	1.8
重 度														
2	懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場 (トウモロコシ)		9.5	0.3	-	1,388	2,090	1.5	3,225	2.3	3,425	2.5	4,002	2.9
中 度														
3	大同県 党留庄郷 謙鋪村 高寛圃場 (トウモロコシ)		8.4	0.1	-	4,690	-	-	5,900	1.3	6,900	1.5	7,085	1.5
4	渾源县 裴村郷 西辛庄村張志鉄圃場 (トウモロコシ)		8.6	0.2	-	7,747	-	-	8,188	1.1	10,208	1.3	9,672	1.2
Mean				0		1.2		1.5		1.6		1.9		

表 6 - 2 b 2001年度に実施した脱硫酸石膏の施用効果確認試験での異なる作物被害程度圃場における処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	脱硫酸石膏の施用量													
	処理前		対照	対照	DS2250 ¹⁾		15,000		22,500		30,000			
試験実施場所			(無施肥)	(有施肥)	(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)			
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率		
重 度														
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 磁器廠西3号地 (ヒマワリ)		9.4	2.2	61	392	425	1.1	592	1.5	592	1.5	483	1.2
2	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側2号地 (トウモロコシ)		9.8	0.3	523	3,089	3,635	1.2	3,840	1.2	4,406	1.4	3,726	1.2
3	応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (ヒマワリ)		9.5	0.3	129	290	323	1.1	347	1.2	382	1.3	334	1.2
中 度														
4	渾源县 裴村郷 西辛庄村 王学智圃場 (トウモロコシ)		8.8	2.0	5,954	6,623	6,891	1.0	7,018	1.1	5,839	0.9	4,192	0.6
Mean				0		1.1		1.3		1.3		1.1		

1) DS - 1997の2250 (kg ha⁻¹) 施用試験が同一試験圃場で行われていたのであえて記載した。

表 6 - 2 c 2002年度に実施した脱硫酸石膏の施用効果確認試験での処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	脱硫酸石膏の施用量													
	処理前		対照	対照	7,500		15,000		22,500		30,000			
試験実施場所			(無施肥)	(有施肥)	(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)			
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率		
1	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)		9.8	0.5	-	2,063	2,308	1.1	2,583	1.3	3,247	1.6	2,350	1.1
2	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (ヒマワリ)		9.9	0.8	-	1,071	1,229	1.1	1,267	1.2	1,483	1.4	1,558	1.5
Mean				0		1.1		1.2		1.5		1.3		

6 - 1 - 2 増収要因と減収要因

表 6 - 3 a ~ c 及び表 6 - 4 a ~ c にそれぞれ異なる作物被害程度圃場ごとに各施用量での収穫時の pH_{1:2.5} 及び EC_{1:5} 値の変化を示した。ここでは主に pH と EC 値に着目することとし、詳細は 6 - 5 メカニズム解明の項を参照されたい。

pH 値は概して、脱硫酸石膏の施用量の増加に伴って低下し、その最低値はおおむね 22,500 ~ 30,000 kg ha⁻¹ にみられ、1 程度低下した。

EC 値では pH 値とは反対の傾向がみられ、脱硫酸石膏の施用量の増加に伴って増加した。その最高値はおおむね 22,500 ~ 30,000 kg ha⁻¹ にみられ、対照区の値と比較すると 1 ~ 2 dS m⁻¹ 程度高くなった。

増収要因は主として pH 値の低下に起因すると推察され、これにより特に乾燥年であった 2000 年及び 2001 年では出芽・苗立率の向上による単位面積当たりの生育個体数が増加したこと、各個体の初期生育量が確保できたことが増収をもたらしたと考えられる。比較的多雨年であった 2002 年では pH 値の低下による生育量の確保が増収の主要因であると考えられる。

減収要因としては、比較的低 pH 値・高 EC 値の圃場に脱硫酸石膏を施用したことに起因し、栽培期間中に EC 値が供試作物の耐塩性限界を超えたため、逆に出芽不良や生育抑制が発生したと考えられる。

6 - 1 - 3 残効と連用

表 6 - 5 に作物被害程度が中～重度の 3 圃場での各施用量ごとの残効と連用効果を示した。残効での最大収量は 22,500 ~ 30,000 kg ha⁻¹ にみられ、対照区比で 1.2 ~ 1.5 倍の増収がみられた。連用では処理前の pH 及び EC 値の比較的低い渾源県裴村郷張志鉄圃場において、22,500 kg ha⁻¹ では対照区と比較すると 1.2 倍程度の増収がみられるものの、初年度と比較すると 10% 弱程度の減収となった。残効・連用の収量による比較及び年次間の比較は調査数が少ないために明らかにできなかったが、2 年目の残効は明らかに認められたといえる。

土壌への影響を pH と EC 値でみてみると、懷仁県金沙灘鎮張慶圃場(2 年目)では、図 6 - 1 に示すように pH 及び EC 値ともに 2001 年度に脱硫酸石膏を施用した影響が翌年の 4 月まで継続していることが対照区との比較から示唆された。脱硫酸石膏の連用によって塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の pH 値の基準値である pH = 8.5 (アメリカ農務省の塩類土壌の分類による)を下回ることが可能であることがわかったが、連用することによって EC 値は更に増加した(1.2 dS m⁻¹)。図 6 - 2 に張慶圃場での EC_{1:5} 値と EC_e 値(土壌の飽和抽出液の電気伝導度)との相関関係を示した。この図に示されるように 2 年目の収穫時の EC_e 値は、塩性土壌の基準値である 4 dS m⁻¹ をはるかに上まわることになる。このことは他の圃場でも予想されるため、可溶性塩類を洗脱するための排水設備のない山西省北部の農家圃場では連年施用は避けることが望ましいと考えられる。

表6 - 3a 2000年度に実施した施用効果確認試験での脱硫石膏の施用量の違いによる
処理前と収穫時のpH_{1:2.5}値の比較

作物被害程度	処理前			収穫時				
				脱硫石膏の施用量				
	対照	対照		7,500	15,000	22,500	30,000	
試験実施場所	(無施肥)			(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}
重 度								
2	懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶園場 (トウモロコシ)	9.5	-	9.1	8.6	8.6	8.9	8.3

表6 - 3b 2001年度に実施した施用効果確認試験での脱硫石膏の施用量の違いによる
処理前と収穫時のpH_{1:2.5}値の比較

作物被害程度	処理前			収穫時				
				脱硫石膏の施用量				
	対照	対照		DS2250 ¹⁾	15,000	22,500	30,000	
試験実施場所	(無施肥)			(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}
重 度								
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 磁器廠西3号 地(ヒマワリ)	9.4	9.0	9.0	9.3	8.5	8.4	8.4
2	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側2 号地(トウモロコシ)	9.8	9.8	9.4	8.9	8.6	8.4	8.6
3	応県 北曹山郷 段賽村 段仁成園場 (ヒマワリ)	9.5	9.5	9.5	9.5	8.4	8.3	8.5
中 度								
4	渾源県 裴村郷 西辛庄村 王学智園場 (トウモロコシ)	8.8	8.8	8.6	8.6	8.5	8.5	8.6

1) DS - 1997の2250 (kg ha⁻¹) 施用試験が同一試験園場で行われていたので敢えて記載した。

表6 - 3c 2002年度に実施した施用効果確認試験での脱硫石膏の施用量の違いによる
処理前と収穫時のpH_{1:2.5}値の比較

作物被害程度	処理前			収穫時				
				脱硫石膏の施用量				
	対照	対照		7,500	15,000	22,500	30,000	
試験実施場所	(無施肥)			(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}
1	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験園場 (トウモロコシ)	9.8	-	9.1	9.0	8.9	8.7	9.1
2	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験園場 (ヒマワリ)	9.9	-	9.5	8.8	8.8	8.5	8.3

表6 - 4 a 2000年度に実施した施用効果確認試験での脱硫石膏の施用量の違いによる
処理前と収穫時のEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値の比較

作物被害程度	処理前			収穫時						
	脱硫石膏の施用量									
	対照	対照	対照	7,500	15,000	22,500	30,000			
試験実施場所	(無施肥) (有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)									
	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}			
重 度										
2	懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶園場 (トウモロコシ)			0.3		0.2	0.6	0.6	0.4	2.2

表6 - 4 b 2001年度に実施した施用効果確認試験での脱硫石膏の施用量の違いによる
処理前と収穫時のEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値の比較

作物被害程度	処理前			収穫時						
	脱硫石膏の施用量									
	対照	対照	対照	DS2250 ¹⁾	15,000	22,500	30,000			
試験実施場所	(無施肥) (有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)									
	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}			
重 度										
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 磁器廠西3号 地(ヒマワリ)			2.2	0.3	0.3	0.5	1.8	1.3	2.1
2	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側2 号地(トウモロコシ)			0.3	0.2	0.2	0.7	0.4	2.5	2.8
3	応県 北曹山郷 段賽村 段仁成園場 (ヒマワリ)			0.3	0.3	0.4	0.5	1.6	1.3	2.2
中 度										
4	渾源県 裴村郷 西辛庄村 王学智園場 (トウモロコシ)			2.0	2.0	2.1	2.1	2.3	3.6	4.0
	Mean						1.0	1.5	2.2	2.8

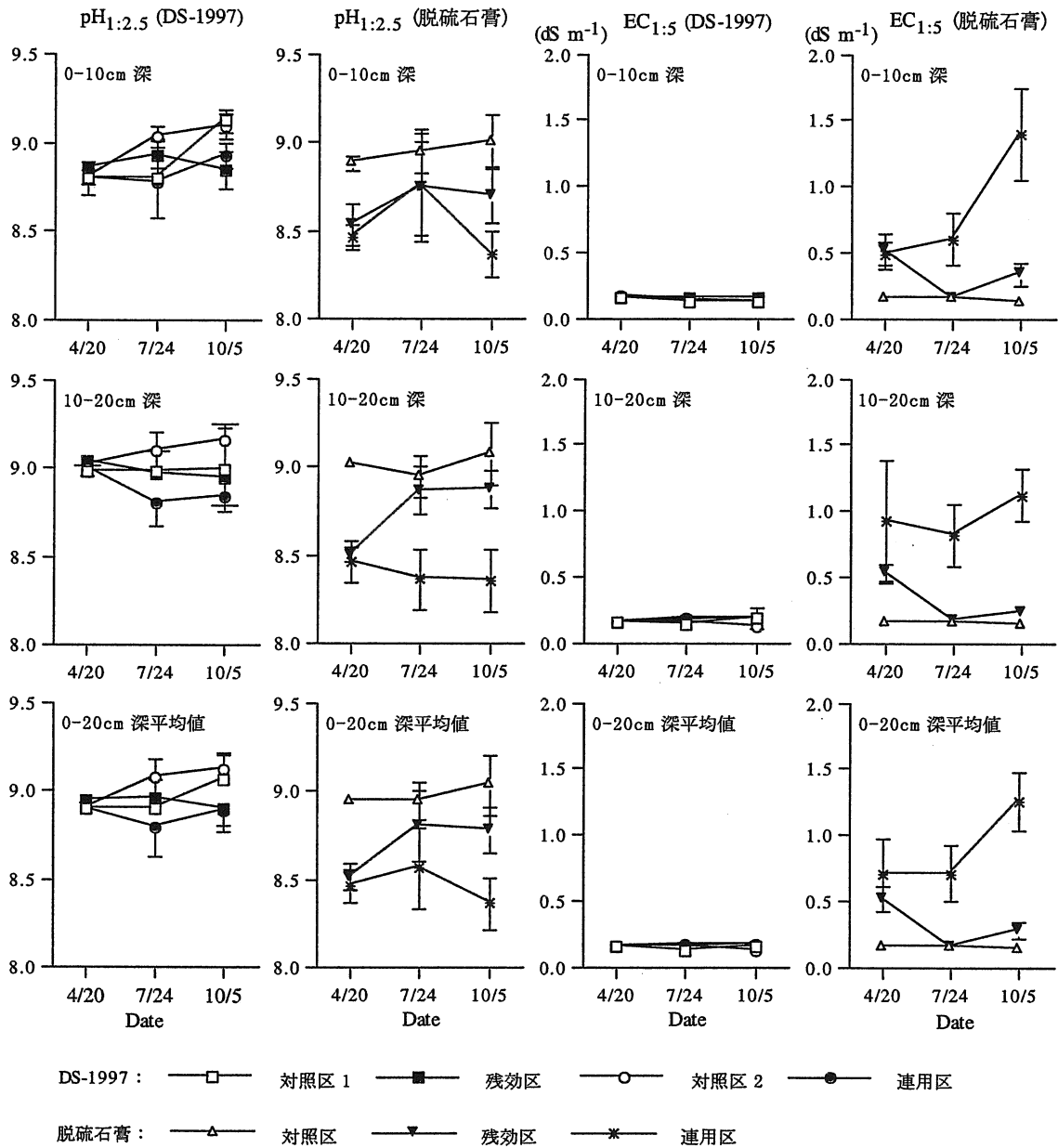
1) DS - 1997の2250 (kg ha⁻¹) 施用試験が同一試験園場で行われていたため敢えて記載した。

表6 - 4 c 2002年度に実施した施用量確認試験での脱硫石膏の施用量の違いによる
処理前と収穫時のEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値の比較

作物被害程度	処理前			収穫時						
	脱硫石膏の施用量									
	対照	対照	対照	7,500	15,000	22,500	30,000			
試験実施場所	(無施肥) (有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)									
	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}			
1	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験園場 (トウモロコシ)			0.5	-	0.8	0.9	1.2	1.6	1.8
2	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験園場 (ヒマワリ)			0.8	-	0.3	0.5	0.9	0.9	1.1
	Mean						0.7	1.0	1.3	1.4

表6 - 5 脱硫酸石膏の残効・連用に関する試験での処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と異なる施用量ごとの作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	年数	供試作物	施用年度 試験	処理前		脱硫酸石膏の施用量											
				pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	対照	11,250	15,000	22,500	30,000	45,000						
						(有施肥) 収量	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	
重 度																	
懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶 圃場	1年目	トウモロコシ	2000年施用	9.6	0.3	1,388	3,090	2.2	3,225	2.3	3,424	2.5	4,002	2.9			
	2年目	テンサイ	連用	9.2	0.2	9,454	11,545	1.2	12,545	1.3	13,515	1.4	15,576	1.6			
			残効			9,242	9,576	1.0	9,333	1.0	12,182	1.3	13,848	1.5			
懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶 圃場	1年目	トウモロコシ	2001年施用	-	-	-					-	-					
	2年目	トウモロコシ	連用	8.5	0.7	4,582					6,266	1.4					
			残効	8.5	0.5	4,582					5,763	1.3					
中 度																	
渾源県 裴村郷 西辛庄村 張志鉄 圃場	1年目	トウモロコシ	2000年施用	8.6	0.2	7,747	8,188	1.1			10,208	1.3			9,672	1.2	
	2年目	トウモロコシ	連用	-	-	7,895	9,385	1.2			8,965	1.1			7,985	1.0	
			残効	-	-	7,895	9,150	1.2			9,440	1.2			9,130	1.2	



注) 縦棒は標準誤差を示す(n = 4)

図 6 - 1 懐仁県金沙灘鎮塩豊営村張慶農場(残効・連用に関する試験・2年目)での
両土壤改良資材の残留資材及び連年施用が各深度別土壌のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5}値
に及ぼす影響

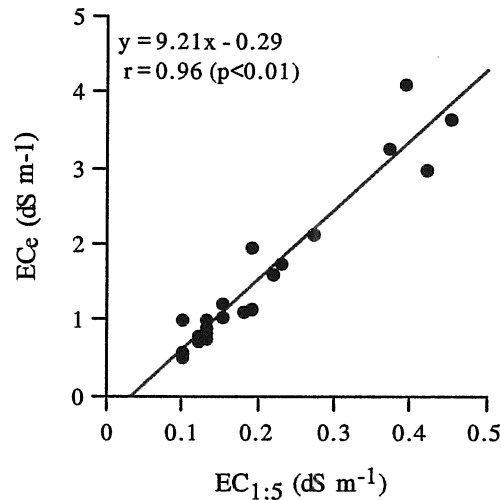


図 6 - 2 EC_{1:5}とEC_eとの間の相関関係

6 - 1 - 4 施用方法

施用方法は圃場への全面施用を基本とするが、表 6 - 6 a ~ c に示したように、全面施用と条施用では収量に対する効果にはほとんど差はみられなかった。したがって、条施用は、施用年のコストを削減しながら連年施用して土壌改良を進める場合、将来に不耕起栽培が普及した場合には利用可能であると考えられる。

一方、当該地域の農民は施用溝に一致させて播種することに不慣れであることから翌年の残効を期待する場合には適当でないと考えられる。

6 - 1 - 5 施用時期

本現地実証調査では春季の耕起直前に施用した。しかし、表 6 - 6 d に示されるように、2001 年度に実施された試験では明らかに秋季施用の方が効果は高い。したがって、適正施用時期については更に検討が必要である。また、仮に施用効果に差がない場合でも比較的時間に余裕のある秋季に施用しておくことも有効であると推察される。

表 6 - 6 a 改良資材の効果確認実証試験・モデル実証試験
(大同県党留庄郷試験圃場 2002年度) での脱硫石膏・DS - 1997の施用方法の違いが
トウモロコシの生育及び収量に及ぼす影響 (n = 4)

処 理	出芽率 (%)		苗立数 (本 ^m - ²)		草丈 (cm)		草丈 (cm)		稈長 (cm)		100粒重		粒重収量 (kg ha ⁻¹)	
	6 / 15		6 / 15		6 / 25		7 / 24		10 / 5					
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
対照区	87.5	2.3	4.4	0.1	39	10.0	-	-	176	3.2	20.3	1.1	4,007	572.7
DS - 1997 全施	91.3	2.2	4.4	0.2	35	8.8	-	-	161	7.7	21.7	1.2	4,478	798.9
脱硫石膏 全施	85.0	0.0	4.6	0.1	34	6.9	-	-	173	4.7	20.8	1.3	3,532	1,141.8
DS - 1997 条施	91.9	2.8	4.2	0.2	38	8.1	-	-	180	4.0	20.9	2.0	4,609	1,136.8
脱硫石膏 条施	87.5	3.1	3.5	1.2	39	7.6	-	-	183	4.5	21.3	0.8	3,517	307.0

表 6 - 6 b 改良資材の効果確認実証試験・モデル実証試験
(応県北曹山郷段仁成圃場 2002年度) での脱硫石膏・DS - 1997の施用方法の違いが
トウモロコシの生育及び収量に及ぼす影響 (n = 4)

処 理	出芽率 (%)		苗立数 (本 ^m - ²)		草丈 (cm)		草丈 (cm)		稈長 (cm)		100粒重		粒重収量 (kg ha ⁻¹)	
	6 / 25		6 / 25		6 / 25		7 / 24		10 / 5					
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
対照区	-	-	7.8	0.3	38	0.8	190	12.9	182	4.8	28.0	0.5	5,978	318.9
DS - 1997 全施	-	-	9.0	0.3	45	2.5	208	8.3	190	2.8	28.7	1.2	7,148	324.3
脱硫石膏 全施	-	-	8.3	0.3	43	1.5	178	12.5	187	4.3	27.0	0.8	6,271	279.4
DS - 1997 畝施	-	-	8.1	0.1	40	2.3	207	12.4	191	11.5	29.1	1.6	7,700	486.1
脱硫石膏 畝施	-	-	7.9	0.3	38	2.3	192	8.7	192	8.6	26.5	1.4	6,493	334.0

表 6 - 6 c 改良資材の効果確認実証試験・モデル実証試験
(懐仁県毛家皂鎮原種圃場 2002年度) での脱硫石膏・DS - 1997の施用方法の違いが
トウモロコシの生育及び収量に及ぼす影響

処 理	出芽率 (%) ¹⁾		苗立率 (%) ¹⁾		草丈 (cm) ¹⁾		草丈 (cm) ²⁾		稈長 (cm) ²⁾		100粒重 ²⁾		粒重収量 (kg ha ⁻¹) ²⁾	
	6 / 15		6 / 15		6 / 15		7 / 13		10 / 2					
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
対照区	97.5	-	96.0	-	34	-	154	0.3	119	5.2	26.1	0.4	6,351	252.9
DS - 1997 秋全施	92.2	-	90.5	-	42	-	166	2.7	113	8.4	24.7	0.3	6,637	202.1
DS - 1997 春全施	95.0	-	94.4	-	35	-	164	0.1	120	2.2	24.7	2.6	6,810	586.5
DS - 1997 春条施	95.7	-	94.0	-	37	-	161	3.6	121	0.9	24.8	0.7	6,111	329.1
脱硫石膏 春全施	96.7	-	96.2	-	32	-	150	3.3	123	0.7	26.3	2.3	6,840	1,004.2
脱硫石膏 春条施	95.8	-	95.8	-	36	-	161	2.3	113	5.5	24.3	0.3	5,737	463.8

1) : n = 1、2) : n = 2

表 6 - 6 d 改良資材の効果確認実証試験・モデル実証試験
(渾源県裴村郷西辛庄村農牧場地 2001年度) での脱硫石膏・DS - 1997、及び脱硫石膏・
DS - 1997の同時施用の施用時期の違いがトウモロコシの生育及び収量に及ぼす影響 (n = 1)

処 理	出芽数 (本 ^m - ²)		苗立率 (%)		草丈 (cm)		草丈 (cm)		稈長 (cm)		100粒重		粒重収量 (kg ha ⁻¹)	
	6 / 15		6 / 15		6 / 15		7 / 17		10 / 2					
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
対照区 秋施	4.3	-	-	-	-	-	75	-	156	-	21.9	-	2,546	-
対照区 春施	4.4	-	-	-	-	-	82	-	153	-	21.0	-	2,456	-
DS - 1997 秋全施	5.1	-	-	-	-	-	124	-	173	-	26.5	-	5,900	-
DS - 1997 春全施	4.8	-	-	-	-	-	114	-	158	-	22.0	-	3,505	-
脱硫石膏 秋全施	4.6	-	-	-	-	-	94	-	148	-	25.5	-	5,017	-
脱硫石膏 春全施	4.7	-	-	-	-	-	60	-	122	-	21.7	-	1,349	-
DS + 石膏 秋全施	4.5	-	-	-	-	-	127	-	182	-	30.3	-	6,829	-
DS + 石膏 春全施	4.2	-	-	-	-	-	106	-	166	-	24.6	-	5,427	-

6 - 2 DS - 1997の施用効果

要 約

- (1) DS - 1997の最大効果(収量・土壌pH値への)は、2,250~3,000kg ha⁻¹で発現し、塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌のいずれの作物被害程度の圃場でも収量の増加を期待できる。
- (2) DS - 1997の施用では、pH値は2000/2001年度の乾燥年では対照区比で0.5程度低下したが、比較的多雨年であった2002年度では対照区とほぼ同程度で推移した。
- (3) DS - 1997の施用によるEC値への影響は圃場ごとに若干の変化の差はあるものの、単年施用及び連年施用のいずれにおいてもEC値の増加はほとんどみられなかった。
- (4) DS - 1997の残効は、初年度に1,500~3,000kg ha⁻¹の施用した圃場で、2年目でも1.1~1.3倍程度以上の増収が期待できることが明らかとなった。

6 - 2 - 1 増収効果(生育・収量に及ぼす影響)

表6 - 7a~cに異なる作物被害程度圃場ごとに各施用量の違いによる出芽・苗立数または出芽・苗立率を、表6 - 8a~cには異なる作物被害程度圃場ごとに各施用量の違いによる実収量と増収倍率を示した。作物被害程度はおおむねpH値と一致しているが、試験場所の違いにより出芽・苗立数または出芽・苗立率及び実収量は大きく異なっている。2002年度に当該試験を実施した圃場は、未耕地であった場所で当該年度の播種前に新たに造成したものであり、作物被害程度は明らかでないが、前2か年と比較すると重~極重度にあるものと推察される。

作物被害程度が中~極重度の塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌にDS - 1997を施用すると、概して施用量の増加に伴って出芽・苗立数または出芽・苗立率が増加し、収量の増加が認められた(ただし、比較的多雨年であった2002年度では苗立率の増加効果はみられなかった)。最大収量は両タイプの土壌及びいずれの作物被害程度の土壌でもおおむね2,250~3,000kg ha⁻¹でみられた。最大収量を対照区のそれと比較するとおよそ1.2~1.5倍の増収となった。一方、DS - 1997の多量施用による減収はほとんどみられなかった。

懐仁県金沙灘鎮に位置するハウス西側で2001年に実施した試験(試験前は未耕地)では、実収量では他の試験値のそれとほぼ同レベルにあるが、対照区の収量はヒマワリで204kg ha⁻¹、トウモロコシで440kg ha⁻¹と極めて低く、対照区と比較すると500kg ha⁻¹の施用でヒマワリ・トウモロコシの収量はそれぞれ6.6倍、7.7倍、DS - 1997の標準施用量と考えられる2,250kg ha⁻¹ではそれぞれ9.0倍、8.7倍という爆発的な収量の増加がみられた。

表6 - 7a 2000年度に実施したDS - 1997の施用効果確認試験での異なる作物被害程度圃場における処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と苗立数または苗立率

作物被害程度	処理前		調査項目	DS - 1997の施用量							
	試験実施場所	pH _{1:2.5}		EC _{1:5}	対照	対照	500	1,000	1,500	2,250	3,000
			(無施肥)		(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
極 重 度											
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 魏官圃場 (トウモロコシ)	10.0	0.9	出芽率 (%)	-	-	-	-	-	-	-
				苗立率 (%)	-	62.8	-	78.5	77.7	87.2	84.6
2	応県 北曹山郷 段賽村 張良高 瓦窯地 (トウモロコシ)	10.0	0.5	出芽率 (%)	-	-	-	-	-	-	-
				苗立率 (%)	90.8	91.2	92.7	95.6	96.3	96.8	98.7
重 度											
4	渾源県 裴村郷 西辛庄村 穆二明圃場 (トウモロコシ)	8.6	0.2	出芽数 (万ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
				苗立数 (万ha ⁻¹)	-	2.36	2.42	2.50	2.64	-	2.55
中 度											
5	大同県 党留庄郷 謙鋪村 高寬圃場 (トウモロコシ)	8.4	0.1	出芽数 (万ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
				苗立数 (万ha ⁻¹)	-	4.57	4.72	4.77	4.88	-	4.88
6	渾源県 裴村郷 西辛庄村 張志鉄圃場 (トウモロコシ)	8.6	0.2	出芽数 (万ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
				苗立数 (万ha ⁻¹)	-	4.54	4.86	4.91	4.97	-	5.02

表6 - 7b 2001年度に実施したDS - 1997の施用効果確認試験での異なる作物被害程度圃場における処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) と出芽・苗立数または出芽・苗立率

作物被害程度	処理前		調査項目	DS - 1997の施用量							
	試験実施場所	pH _{1:2.5}		EC _{1:5}	対照	対照	500	1,000	1,500	2,250	3,000
			(無施肥)		(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
- 重 度 -											
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側 3号地 (ヒマワリ)	9.4	2.2	出芽率 (%)	-	20.8	57.5	55.8	61.7	65.8	58.3
				苗立率 (%)	-	18.4	46.8	45.1	53.6	60.4	56.7
2	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側 2号地 (トウモロコシ)	9.8	0.3	出芽率 (%)	-	76.3	87.6	83.0	82.0	85.3	81.0
				苗立率 (%)	-	-	-	-	-	-	-
3	応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (トウモロコシ)	9.5	0.3	出芽率 (%)	-	-	63.4	77.6	70.6	88.6	80.4
				苗立率 (%)	-	-	-	-	-	-	-
4	渾源県 裴村郷 西辛庄村 農牧場地 (トウモロコシ)	9.3	0.5	出芽数 (万ha ⁻¹)	-	3.71	4.08	3.94	3.92	3.90	3.71
				苗立数 (万ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
5	渾源県 裴村郷 西辛庄村 農牧場地 (ヒマワリ)	9.3	0.7	出芽数 (万ha ⁻¹)	-	3.60	3.67	3.65	3.67	4.06	3.94
				苗立数 (万ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-

表6 - 7c 2002年度に実施したDS - 1997の施用効果確認試験圃場での処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) と苗立率

作物被害程度	処理前		調査項目	DS - 1997の施用量						
	試験実施場所	pH _{1:2.5}		EC _{1:5}	対照	対照	750	1,500	2,250	3,000
			(無施肥)		(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	
1	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)	9.8	0.5	出芽率 (%)	-	-	-	-	-	-
				苗立率 (%)	-	97.8	94.3	97.8	98.5	98.3
2	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (ヒマワリ)	9.9	0.8	出芽率 (%)	-	-	-	-	-	-
				苗立率 (%)	-	95.0	94.4	85.6	87.8	97.5

表 6 - 8 a 2000年度に実施したDS - 1997の施用効果確認試験での異なる作物被害程度圃場における処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	DS - 1997の施用量														
	処理前		対照	対照	500		1,000		1,500		2,250		3,000		
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	(無施肥)	(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	
試験実施場所			収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	
極重度															
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 魏官圃場 (トウモロコシ)	10.0	0.9	-	1,413	-	-	3,547	2.5	4,132	2.9	5,445	3.9	5,077	3.6
2	応県 北曹山郷 段賽村 張良高 瓦窯地 (トウモロコシ)	10.0	0.5	4335	4,507	4,612	1.0	4,687	1.0	5,152	1.1	5,970	1.3	5,310	1.2
重 度															
3	懐仁県 金沙灘鎮 塩豊營村 張慶圃場 (トウモロコシ)	9.5	0.3	-	2,550	2,295	0.9	3,045	1.2	3,045	1.2	3,525	1.4	3,240	1.3
4	渾源県 裴村郷 西辛庄村 穆二明圃場 (トウモロコシ)	8.6	0.2	-	1,563	1,719	1.1	1,813	1.2	1,938	1.2	-	-	1,875	1.2
中 度															
5	大同県 党留庄郷 謙鋪村 高寬圃場 (トウモロコシ)	8.4	0.1	-	4,690	5,208	1.1	5,590	1.2	7,069	1.5	-	-	6,915	1.5
6	渾源県 裴村郷 西辛庄村 張志鉄圃場 (トウモロコシ)	8.6	0.2	-	7,747	8,821	1.1	8,708	1.1	10,353	1.3	-	-	10,049	1.3
Mean					0		1.1		1.4		1.6		2.2		1.7

表 6 - 8 b 2001年度に実施したDS - 1997の施用効果確認試験での異なる作物被害程度圃場における処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	DS - 1997の施用量														
	処理前		対照	対照	500		1,000		1,500		2,250		3,000		
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	(無施肥)	(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	
試験実施場所			収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	
重 度															
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側3号地 (ヒマワリ)	9.4	2.2	-	204	1,337	6.6	1,506	7.4	1,672	8.2	1,835	9.0	2,066	10.1
2	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側2号地 (トウモロコシ)	9.8	0.3	-	440	3,377	7.7	3,143	7.1	2,976	6.8	3,812	8.7	3,170	7.2
3	応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (トウモロコシ)	9.5	0.3	-	2,367	2,534	1.1	3,243	1.4	3,584	1.5	4,419	1.9	4,002	1.7
4	渾源県 裴村郷 西辛庄村 農牧場地 (トウモロコシ)	9.3	0.5	-	3,621	4,590	1.3	4,827	1.3	4,090	1.1	4,064	1.1	3,042	0.8
5	渾源県 裴村郷 西辛庄村 農牧場地 (ヒマワリ)	9.3	0.7	-	780	740	0.9	489	0.6	533	0.7	1,093	1.4	1,363	1.7
6	大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤圃場 (トウモロコシ)	9.7	0.3	-	1,878	1,708	0.9	1,608	0.9	1,642	0.9	2,125	1.1	1,692	0.9
Mean					0		3.1		3.1		3.2		3.9		3.8

表 6 - 8 c 2002年度に実施したDS - 1997の施用効果確認試験圃場での処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	DS - 1997の施用量											
	処理前		対照	対照	750		1,500		2,250		3,000	
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	(無施肥)	(有施肥)	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率	(kg ha ⁻¹)	増倍率
試験実施場所			収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率
1	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)	9.8	0.5	2,063	2,308	1.1	1,885	0.9	2,788	1.4	2,496	1.2
2	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (ヒマワリ)	9.9	0.8	1,071	1,171	1.1	804	0.8	925	0.9	1,375	1.3
Mean				0		1.1		0.8		1.1		1.2

6 - 2 - 2 増収要因と減収要因

表6 - 9 a ~ c及び表6 - 10 a ~ cに異なる作物被害程度の圃場ごとに各施用量の違いによる収穫時のpH及びEC値の変化を示した。ここでは主にpHとEC値に着目することとし、詳細は6 - 5メカニズムの解明の項を参照されたい。

収穫時のpH値の低下は各圃場ごとに異なったが、処理前の値と比較すると概して施用量の増加に伴い低下した。その最低値は2,250 ~ 3,000kg ha⁻¹で見られ、対照区のそれと比較すると、降雨量の少なかった2000/2001年度では脱硫酸石膏の施用よりもやや低めの0.5程度の低下がみられた。一方で、比較的多雨年であった2002年度では対照区との差はほとんどみられなかった。

EC値については、対照区のそれと比較すると処理前と収穫時とではほとんど差がなかった。

DS - 1997を施用した場合の増収要因は圃場観察・調査で見られた出芽・苗立率の向上(2000/2001年)、初期生育の促進・生育量の増加であり、これらのことが収量の向上に結びついていると考えられる。これらの増収要因は主として、DS - 1997に含まれている、有機酸、可溶性微量元素の硫酸根、硫黄によるpHの低下、微量元素の供給による肥料効果、多量の有機物による土壌緩衝能の増加に起因する土壌改善効果などが総合的に発揮された結果であると考えられ、作物被害程度の重い土壌だけでなく、軽い土壌でも増収効果が期待できることが明らかとなった。

6 - 2 - 3 残効と連用

表6 - 11に作物被害程度が中～重度の5圃場での施用量の違いによる残効と連用の効果を示した。残効については、懐仁県金沙灘鎮に位置する張慶圃場で2001年度にテンサイを供試して実施した試験で、2,250 ~ 3,000kg ha⁻¹の施用で高い残効が認められ、対照区比で2.1 ~ 2.2倍の17 ~ 18tの収量を得た。その他の4圃場(トウモロコシまたはテンサイを供試)では1,500 ~ 3,000kg ha⁻¹の施用で1.1 ~ 1.3程度の残効が認められた。以上のことから、DS - 1997の2年目の残効は、圃場による実収量の差はあるものの、ある程度は期待できることが明らかとなった。

連用と残効を比較すると、概して連用の方が効果は高い傾向がみられるが、施用には経済的に利益のある間隔をもって施用するように、土壌タイプや作物被害程度別に更に検討を重ねる必要がある。

残効及び連用効果は、各施用年での天候が大きく異なったため、年次間での比較は安易にはできないが、DS - 1997の連用によって残効区及び初年度と比較して収量が減少している圃場もみられることから、各地域の土壌や耕種概要を把握した調査を継続実施していくことが必要である。

pHとEC値の変化については連用でも施用後に大きな変化はみられなかった(図6 - 1)。

表6 - 9a 2000年度に実施した施用効果確認試験でのDS - 1997の施用量の違いによる
処理前と収穫時のpH_{1:2.5}値の比較

作物被害程度	処理前		収穫時						
			DS - 1997の施用量						
	対照	500	1,000	1,500	2,250	3,000			
試験実施場所	(有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)								
	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}		
極重度									
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 魏官圃場 (トウモロコシ)		10.0	10.0	-	9.1	9.5	9.2	9.1
- 重度 -									
3	懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場 (トウモロコシ)		9.5	9.2	-	9.1	-	8.9	8.8

表6 - 9b 2001年度に実施した施用効果確認試験でのDS - 1997の施用量の違いによる
処理前と収穫時のpH_{1:2.5}値の比較

作物被害程度	処理前		収穫時						
			DS - 1997の施用量						
	対照	500	1,000	1,500	2,250	3,000			
試験実施場所	(有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)								
	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}		
重 度									
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側3 号地(ヒマワリ)		9.4	10.0	9.8	9.9	9.6	9.9	9.6
2	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側2 号地(トウモロコシ)		9.8	9.7	9.6	9.6	9.4	9.2	9.2
3	応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (トウモロコシ)		9.5	9.8	9.6	9.6	9.3	9.2	9.2
6	大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤圃場 (トウモロコシ)		9.7	8.7	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8

表6 - 9c 2002年度に実施した施用効果確認試験でのDS - 1997の施用量の違いによる
処理前と収穫時のpH_{1:2.5}値の比較

作物被害程度	処理前		収穫時					
			DS - 1997の施用量					
	対照	750	1,500	2,250	3,000			
試験実施場所	(有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)							
	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}	pH _{1:2.5}		
1	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)		9.8	9.1	9.2	9.3	9.3	9.1
2	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (ヒマワリ)		9.9	9.5	9.5	9.7	9.6	9.4

表 6 - 10a 2000年度に実施した施用効果確認試験でのDS - 1997の施用量の違いによる
処理前と収穫時のEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値の比較

作物被害程度	処理前		収穫時					
			DS - 1997の施用量					
	対照	500	1,000	1,500	2,250	3,000		
試験実施場所	(有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)							
	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	
極重度								
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 魏官圃場 (トウモロコシ)	0.9	0.5	-	0.5	0.4	0.5	0.5
重 度								
3	懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場 (トウモロコシ)	0.3	0.5	-	0.2	-	0.2	0.2

表 6 - 10b 2001年度に実施した施用効果確認試験でのDS - 1997の施用量の違いによる
処理前と収穫時のEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値の比較

作物被害程度	処理前		収穫時					
			DS - 1997の施用量					
	対照	500	1,000	1,500	2,250	3,000		
試験実施場所	(有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)							
	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	
重 度								
1	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側 3 号地 (ヒマワリ)	2.2	0.7	0.5	0.6	0.4	0.3	0.4
2	懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側 2 号地 (トウモロコシ)	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.7	0.3
3	応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (トウモロコシ)	0.3	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
6	大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤圃場 (トウモロコシ)	0.3	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3

表 6 - 10c 2002年度に実施した施用効果確認試験でのDS - 1997の施用量の違いによる
処理前と収穫時のEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値の比較

作物被害程度	処理前		収穫時				
			DS - 1997の施用量				
	対照	750	1,500	2,250	3,000		
試験実施場所	(有施肥) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹) (kg ha ⁻¹)						
	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	EC _{1:5}	
1	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)	0.5	0.8	0.5	0.5	0.6	0.9
2	大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (ヒマワリ)	0.8	0.3	0.2	0.5	0.7	0.4

表6 - 11 作物被害程度が中～重度の圃場でのDS - 1997の残効・連用に関する試験における
処理前のpH_{1:2.5}、EC_{1:5} (dS m⁻¹) 及び作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	年数	供試作物	施用年度	処理前		DS - 1997の施用量																	
				pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	対照	500	1,000	1,500	2,250	3,000	対照		500		1,000		1,500		2,250		3,000	
						(有施肥) 収量	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率			
重 度																							
懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	1年目	トウモロコシ	2000年施用	9.6	0.3	2,550	2,295	0.9	3,045	1.2	3,045	1.2	3,525	1.4	3,240	1.3							
	2年目	テンサイ	連用	9.2	0.2	8,303	8,606	1.0	12,727	1.5	13,848	1.7	21,000	2.5	18,606	2.2							
			残効			8,091	8,485	1.0	10,909	1.3	11,515	1.4	16,970	2.1	17,879	2.2							
懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	1年目	トウモロコシ	2001年施用	9.2	0.2	2,416							2,919	1.2									
	2年目	トウモロコシ	連用	8.9	0.2	5,338								8,429	1.6								
			残効	8.9	0.2	5,529									7,115	1.3							
中 度																							
懐仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇世和圃場	1年目	テンサイ	1999年施用	9.1	0.2	-							-	-									
	2年目	テンサイ	残効			46,425							57,660	1.2									
	3年目	テンサイ	残効			43,365							48,990	1.1									
懐仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇幅堂圃場	1年目	トウモロコシ	1999年施用	9.1	0.2	-							-	-									
	2年目	テンサイ	連用			36,810							44,160	1.2									
渾源泉 裴村郷 西辛庄村 張志鉄圃場	1年目	トウモロコシ	2000年施用	8.6	0.2	7,747	8,821	1.1	8,708	1.1	10,353	1.3			10,049	1.3							
	2年目	トウモロコシ	連用	-	-	7,895	8,980	1.1	9,204	1.2	8,105	1.0			7,765	1.0							
			残効	-	-	7,895	8,555	1.1	8,970	1.1	9,085	1.2			8,745	1.1							

6 - 2 - 4 施用方法

施用方法は圃場への全面施用を基本とするが、表6 - 6 a ~ cに示したように、全面施用と条施用では収量に対する効果はほとんど差はみられなかった。したがって、条施用は、施用年のコストを削減しながら連用し、土壌改良を進める場合、将来に不耕起栽培が普及した場合には利用可能であると考えられる。

一方、当該地域の農民は施用溝に一致させて播種することが不慣れであることから翌年の残効を期待する場合には営農的に適当でないと考えられる。

6 - 2 - 5 施用時期

本現地実証調査では基本的に春季の耕起直前に施用した。表6 - 6 cに示されるように、春季施用と秋季施用による差は比較的に多雨年であった2002年度に試験を実施した3圃場ではみられなかった。しかし、表6 - 6 dに示されるように、2001年度に実施された試験では明らかに秋季施用の方が効果は高い。したがって、適正施用時期については更に検討が必要である。また、仮に施用効果に差がない場合でも比較的に時間に余裕のある秋季に施用しておくことも有効であると推察される。

6 - 3 脱硫石膏・DS - 1997の同時施用

塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌に脱硫石膏・DS - 1997を同時に施用した場合には、それぞれの資材が有する個別の効果が加えられた相加的な効果が発現する傾向が認められた。

2002年度に実施された塩性アルカリ土壌である大同県党留庄郷試験圃場では脱硫石膏・DS - 1997の単独施用の効果に加え、両土壌改良資材の同時施用により両土壌改良資材の施用効果が相加された効果が発現する傾向がみられた。その効果の発現は、表6 - 12aのトウモロコシにみられるように、両土壌改良資材の効果がほぼ同様の割合で加わったと考えられるタイプ、表6 - 12bのヒマワリにみられるように、脱硫石膏の施用効果にDS - 1997の施用効果が上乘せされたと考えられるタイプの2通りのタイプがあった。このタイプでは、脱硫石膏の施用効果の1つであるpH値の低下による出芽・苗立率の向上が単位面積当たりの生育個体数の増加をもたらし、そのうえにDS - 1997の有機物による土壌の緩衝能の向上効果、及び微量元素の供給による生育量の増加と健全個体数の増加の発現などによるものであると推察される。

表6 - 13cの懐仁県金沙灘鎮張慶圃場でも収量に対してタイプとみられる相加的な効果が認められた。

表 6 - 12a 資材の施用効果確認試験・DS / 石膏施用量の確認試験

(2002年度大同県党留庄郷試験圃場)でのDS - 1997、脱硫石膏及びDS - 1997と脱硫石膏の同時施用がトウモロコシの収量(平均値±標準誤差 kg ha⁻¹)に及ぼす影響

処 理	DS - 1997 (kg ha ⁻¹)					
	0	750	1,500	2,250	3,000	
脱硫石膏 (kg ha ⁻¹)	0	2,063 ± 132	2,909 ± 706	1,885 ± 172	2,788 ± 374	2,496 ± 688
	7,500	2,308 ± 419	3,058 ± 585	2,616 ± 646	2,954 ± 885	
	15,000	2,583 ± 457	2,947 ± 496	3,356 ± 556		
	22,500	3,247 ± 487	2,649 ± 182		3,122 ± 364	
	30,000	2,350 ± 406				

表 6 - 12b 資材の施用効果確認試験・DS / 石膏施用量の確認試験

(2002年度大同県党留庄郷試験圃場)でのDS - 1997、脱硫石膏及びDS - 1997と脱硫石膏の同時施用がヒマワリの収量(平均値±標準誤差 kg ha⁻¹)に及ぼす影響

処 理	DS - 1997 (kg ha ⁻¹)					
	0	750	1,500	2,250	3,000	
脱硫石膏 (kg ha ⁻¹)	0	1,071 ± 290	1,171 ± 442	804 ± 323	925 ± 365	1,375 ± 365
	7,500	1,229 ± 222	1,375 ± 336	1,200 ± 359	1,675 ± 271	
	15,000	1,267 ± 316	1,288 ± 246	1,996 ± 376		
	22,500	1,484 ± 203	1,558 ± 294		1,387 ± 398	
	30,000	1,558 ± 216				

6 - 4 土壌改良資材の現地農家慣行栽培レベルでの実証効果

山西省北部に広範に分布する塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の農家圃場を対象とし、慣行栽培レベルでの両土壌改良資材の効果を実証することを目的として、2000～2002年度の3か年に8県区の50圃場で展示実証試験を行った(2000年度は18圃場で(DS - 1997のみ)、2001年度は22圃場で(DS - 1997を22圃場、脱硫石膏を2圃場、及び脱硫石膏・DS - 1997の同時施用を1圃場)、2002年度は10圃場で(DS - 1997を9圃場、脱硫石膏を8圃場及び脱硫石膏・DS - 1997の同時施用を1圃場)。

その結果を表 6 - 13a～c)に示す。2002年度では各圃場の処理区ごとのpH及びEC値の変化を処理前と播種時と比較した(表 6 - 14及び表 6 - 15)。

DS - 1997の施用では6 - 2の項で記述したように、実収量はそれぞれの圃場で異なるが、塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌のあらゆる作物被害程度において、2,250kg ha⁻¹の施用でおおむね1.2～1.4倍程度(最大で4.1倍も)の増収効果が実証展示された。

脱硫石膏の施用でもおよそ1.3倍程度の増収が期待できることが明らかとなったが、pH値が比較

表 6 - 13a 2000年度に実施したモデル試験での各作物被害程度におけるDS - 1997処理前の
pH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	DS - 1997						
	処理前		対照	1,500		2,250	
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	(有施肥) 収量	収量	増倍率	収量	増倍率
試験実施場所 (供試作物)							
極重度							
1 山陰県 薛コーロー郷 西寺院村 雷青 宝圃場 (トウモロコシ)	10.6	1.0	3,307			4,182	1.3
2 山陰県 薛コーロー郷 西寺院村 雷成 竜圃場 (トウモロコシ)	9.9	0.4	5,929			6,833	1.2
重 度							
3 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場 (トウモロコシ)	9.2	0.2	966			3,064	3.2
中 度							
4 塑城区 賈庄郷 西小寨村 吳輝富 南地 (トウモロコシ)	8.9	3.3	4,732			5,803	1.2
5 塑城区 賈庄郷 西小寨村 吳輝富 西地 (トウモロコシ)	8.9	3.3	3,563			4,080	1.1
6 天鎮県 三十里穂鎮 劉家庄村 劉正圃場 (トウモロコシ)	9.2	0.4	7,091	8,808	1.2		
7 陽高県 龍泉鎮 八里台村 登実圃場 (トウモロコシ)	8.3	0.2	9,856	10,170	1.0		
8 大同県 党留庄郷 謙鋪村 呂国梁圃場 (トウモロコシ)	10.5	1.1	6,071	9,145	1.5		
軽 度							
9 応県 北曹山郷 段賽村 陳国忠圃場 (キビ)	8.6	0.1	1,470			2,040	1.4
10 応県 北曹山郷 段賽村 吳仁金圃場 (アワ)	8.6	0.1	1,890			2,300	1.2
11 渾源県 裴村郷 西辛庄村 張志鉄圃場 (トウモロコシ)	9.5	0.4	10,060	11,154	1.1		
12 渾源県 裴村郷 西辛庄村 張勝徳圃場 (トウモロコシ)	9.9	1.0	6,901	8,568	1.2		
13 天鎮県 三十里穂鎮 劉家庄村 劉有金 圃場 (トウモロコシ)	9.4	0.2	8,586	9,860	1.1		
14 天鎮県 三十里穂鎮 劉家庄村 劉志強圃場 (トウモロコシ)	8.8	0.3	5,406	8,381	1.6		
15 陽高県 龍泉鎮 八里台村 張成圃場 (トウモロコシ)	8.1	3.1	5,137	7,187	1.4		
16 陽高県 龍泉鎮 八里台村 王効圃場 (トウモロコシ)	8.7	0.8	9,340	10,081	1.1		
17 陽高県 龍泉鎮 八里台村 張永発圃場 (トウモロコシ)	8.7	1.5	8,631	8,691	1.0		
18 大同県 党留庄郷 謙鋪村 高寛圃場 (トウモロコシ)	8.8	0.2	6,869	7,642	1.1		
Mean (1,500)	9.1	0.8			1.2		
Mean (2,250)	9.2	1.2					1.5

表 6 - 13b 2001年度に実施したモデル試験での各作物被害程度におけるDS - 1997
 脱硫酸石膏処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度			DS - 1997			脱硫酸石膏		DS + 石膏		
			対照	2,250		22,500		2,250 + 30,000		
	試験実施場所 (供試作物)		処理前 pH _{1:2.5} EC _{1:5}	(有施肥) 収量	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率	(kg ha ⁻¹) 収量	増倍率
極重度										
1	山陰県 薛コーロー郷 西寺院村 雷青 宝圃場 (トウモロコシ)			3,275	4,814	1.5				
2	山陰県 コーロー郷 西寺院村 雷成竜 圃場 (トウモロコシ)			4,112	4,917	1.2				
3	応県 北曹山郷 段賽村 張貴文圃場 (トウモロコシ)			3,055	4,228	1.4				
4	応県 北曹山郷 段賽村 張良高圃場 (トウモロコシ)			2,469	3,150	1.3	3,047	1.2		
5	応県 北曹山郷 段賽村 赤成家圃場 (トウモロコシ)			4,827	5,731	1.2				
6	天鎮県 三十里保鎮 劉家庄村 劉存恩 圃場 (トウモロコシ)		8.8 2.0	1,181	4,832	4.1			6,169	5.2
重 度										
7	懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 薛希貴圃場 (トウモロコシ)			1,897	2,335	1.2				
8	懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張鳳山圃場 (トウモロコシ)			2,214	2,517	1.1				
9	懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 劉保明圃場 (トウモロコシ)			4,087	5,166	1.3				
10	懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場 (トウモロコシ)			2,416	2,919	1.2				
11	大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊偉坤圃場 (トウモロコシ)		10.0 0.3	1,419	4,166	2.9				
12	山陰県 コーロー郷 西寺院村 劉志喜 圃場 (トウモロコシ)			5,925	7,005	1.2				
13	山陰県 山陰城鎮 西塩池村 王英圃場 (トウモロコシ)			5,157	6,314	1.2				
14	山陰県 山陰城鎮 西塩池村 白玉軍圃場 (トウモロコシ)			4,269	5,254	1.2				
15	山陰県 山陰城鎮 西塩池村 王登富圃場 (トウモロコシ)			4,352	5,310	1.2	4,952	1.1		
16	陽高県 龍泉鎮 八里台村 張徳宏圃場 (トウモロコシ)		9.2 0.1	8,714	11,048	1.3				
中 度										
17	懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 楊分堂圃場 (トウモロコシ)			3,362	4,449	1.3				
18	懷仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇偉圃場 (トウモロコシ)		9.0 0.6	5,574	6,956	1.2				
19	塑城区 賈庄郷 西小寨村 吳輝富 南地 (トウモロコシ)			3,757	4,674	1.2				
20	渾源県 裴村郷 西辛庄村 王学智圃場		8.8 2.0	8,759	12,703	1.5				
軽 度										
21	塑城区 賈庄郷 西小寨村 吳輝富 西地 (トウモロコシ)			5,008	5,996	1.2				
22	応県 北曹山郷 石庄村 劉志利圃場 (トウモロコシ)			5,265	6,381	1.2				
Mean						1.5		1.2		

表 6 - 13c 2002年度に実施したモデル試験での各作物被害程度における
脱硫酸石膏・DS - 1997処理前のpH_{1:2.5}及びEC_{1:5} (dS m⁻¹) 値と作物収量 (kg ha⁻¹)

作物被害程度	対照		DS - 1997		脱硫酸石膏		DS + 脱硫酸石膏		
	処理前		(有施肥)		(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)		
試験実施場所 (供試作物)	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率
極重度									
1 大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)	9.7	0.5	5,778	6,594	1.1				
2 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張風山圃場 (トウモロコシ)	8.9	0.2	4,580	6,380	1.4	4,921	1.1	6,755	1.5
3 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張風山圃場 (クロマメ)	8.8	0.1	831			1,076	1.3		
4 応県 北曹山郷 段賽村 段元樹圃場 (トウモロコシ)	8.7	0.2	5,645	9,050	1.6	7,411	1.3		
重 度									
5 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 薛希貴圃場 (トウモロコシ)	8.7	0.1	1,821	3,668	2.0				
6 応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (トウモロコシ)	9.0	0.2	5,025	7,140	1.4	6,077	1.2		
7 応県 北曹山郷 段賽村 段仁平圃場 (トウモロコシ)	8.6	0.2	5,777	7,003	1.2	5,513	1.0		
8 応県 北曹山郷 段賽村 張貴文圃場 (トウモロコシ)	9.1	0.2	3,665	5,821	1.6				
9 山陰県 山陰城鎮 劉継成圃場 (ヒマワリ)	8.5	0.5	525	864	1.6	841	1.6		
中 度									
10 応県 北曹山郷 段賽村村 劉保全圃場 (トウモロコシ)	8.9	3.3	4,001	4,683	1.2	4,178	1.0		
Mean (DS - 1997の2,250kg ha ⁻¹ 施用)	8.9	0.5			1.5				
Mean (脱硫酸石膏の22,500kg ha ⁻¹ 施用)							1.2		

表6 - 14 2002年度に実施したモデル試験での各作物被害程度における
脱硫酸石膏・DS - 1997処理前と収穫時のpH_{1:2.5}値

作物被害程度	pH _{1:2.5}							
	対照		DS - 1997		脱硫酸石膏		DS - 1997 + 脱硫酸石膏	
	(有施肥)		(2,250kg ha ⁻¹)		(22,500kg ha ⁻¹)		(2,250 + 22,500kg ha ⁻¹)	
試験実施場所 (供試作物)	処理前	収穫時	処理前	収穫時	処理前	収穫時	処理前	収穫時
極重度								
1 大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)	9.3	8.4	9.6	8.8	-	-	-	-
2 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張風山圃場 (トウモロコシ)	9.0	9.0	8.8	8.8	8.7	8.4	9.0	8.4
3 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張風山圃場 (クロマメ)	8.8	8.8	-	-	8.7	8.7	-	-
4 応県 北曹山郷 段賽村 段元樹圃場 (トウモロコシ)	8.7	8.8	8.7	8.7	8.7	8.2	-	-
重 度								
5 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 薛希貴圃場 (トウモロコシ)	8.8	8.8	8.8	8.8	-	-	-	-
6 応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (トウモロコシ)	9.0	8.7	9.0	8.9	9.0	8.2	-	-
7 応県 北曹山郷 段賽村 段仁平圃場 (トウモロコシ)	8.7	8.4	8.5	8.7	8.5	8.1	-	-
8 応県 北曹山郷 段賽村 張貴文圃場 (トウモロコシ)	9.1	9.5	9.1	8.8	9.1	8.8	-	-
中 度								
10 応県 北曹山郷 段賽村村 劉保全圃場 (トウモロコシ)	8.5	8.9	8.7	8.8	8.7	8.1	-	-

表6 - 15 2002年度に実施したモデル試験での各作物被害程度における
脱硫酸石膏・DS - 1997処理前と収穫時のEC_{1:5}値

作物被害程度	EC _{1:5} (dS m ⁻¹)							
	対照		DS - 1997		脱硫酸石膏		DS - 1997 + 脱硫酸石膏	
	(有施肥)		(2,250kg ha ⁻¹)		(22,500kg ha ⁻¹)		(2,250 + 22,500kg ha ⁻¹)	
試験実施場所 (供試作物)	処理前	収穫時	処理前	収穫時	処理前	収穫時	処理前	収穫時
極重度								
1 大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)	0.4	1.2	0.3	1.1	-	-	-	-
2 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張風山圃場 (トウモロコシ)	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.9	0.2	1.1
3 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張風山圃場 (クロマメ)	0.1	0.1	-	-	0.1	0.1	-	-
4 応県 北曹山郷 段賽村 段元樹圃場 (トウモロコシ)	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.7	-	-
重 度								
5 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 薛希貴圃場 (トウモロコシ)	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-
6 応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (トウモロコシ)	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.9	-	-
7 応県 北曹山郷 段賽村 段仁平圃場 (トウモロコシ)	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.6	-	-
8 応県 北曹山郷 段賽村 張貴文圃場 (トウモロコシ)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	-	-
中 度								
10 応県 北曹山郷 段賽村村 劉保全圃場 (トウモロコシ)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	-	-

的に低い圃場や処理前のEC値が高い圃場では施用効果がみられない場合もあった。

両土壤改良資材の施用による土壤のpH及びEC値の処理前と収穫時の変化の比較は(2000/2001年度はデータがないため、2002年度のデータのみを使用)、DS-1997の施用では処理前と収穫時のpH及びEC値の差はほとんどみられなかった、脱硫石膏の施用では収穫時のpH値は、施用前と比較して、おおむね0.3~0.5程度低下し、8.5前後となった(1圃場では処理前のpH値と同じであった)。一方、EC値は施用前と比較して、おおむね0.5程度上昇し、0.7程度となった(2圃場では処理前のEC値とほぼ同様であった)。

6-5 土壤改良資材の施用効果メカニズム

前述したように、塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌改良資材としての脱硫石膏・DS-1997は、作物収量の増加に対して高い施用効果が確認された。ここでは両土壤改良資材を施用した圃場での施用前と施用後の土壤の理化学性の変化、作物の養分吸収状況及びそれらが作物生育・収量に与える影響を考察する。

6-5-1 塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌での低収の要因

塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌での作物収量低下の要因は、出芽不良による単位面積当たりの個体数の不足と出芽後の生育阻害などがあげられる。これらの主な原因として以下のことがあげられる。

(1) 出芽不良

- 1) 高塩類濃度(高pH値・高EC値)に起因する種子の発芽障害
- 2) 団粒構造の分散に起因する土壤の緻密化・クラスト(土壤表面に生じる緻密な堅い皮膜)の形成による出芽障害など(高ナトリウム比率による)

(2) 生育阻害

- 1) 高塩類濃度(高pH値・高EC値)に起因する発芽後の根からの吸水阻害
- 2) 土壤養分の不均衡による養分の不足と特定イオンの過剰吸収による生理障害など(炭酸イオンに起因するカルシウム・マグネシウムの不溶化と高pH値(9以上)に起因する鉄・マンガン・亜鉛・マグネシウム・カルシウムなどの不溶化による要素欠乏、及び高pH値で可溶性のモリブデン、pH8.5以上で再び可溶化し始めるホウ素、多量に存在するナトリウムの過剰吸収など)

作物の生育期間中では、一般に幼苗期の耐塩・耐乾性が最も弱いとされるので、発芽~苗立

ちまでの生育初期は上記の影響が特に顕著に表れる。塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌を改良し、作物収量を増加させるためには、土壌物理性の改善(緻密な土壌・高い固相率の改善、高ナトリウム比率に起因するクラスト形成の改善)、土壌の化学性の改善(高塩類濃度の改善)、植物栄養状態の改善(養分不足と特定イオンの過剰吸収の改善)が求められる。

6 - 5 - 2 脱硫石膏の施用効果メカニズム

脱硫石膏の施用効果メカニズムには以下のことを推察できる。

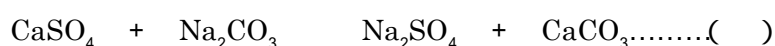
(1) 土壌の物理性の改善

1) 土壌の固相率の減少と孔隙率の増加

脱硫石膏を施用した圃場を歩くと施用していない圃場に比べて土壌が柔らかくなっていることに気づく。これは脱硫石膏の施用によって土壌の固相率の低下と気相率の増加したものと推察され、粘土粒子に比べるとやや粗質な脱硫石膏の投入による気相率の増加が生じたためと考えられる。

2) 土壌分散性の低下

図6-3に示すように、脱硫石膏の施用によって土壌の分散性の低下がみられた。このメカニズムは一般に、石膏(CaSO_4)の投入により、土壌の交換性ナトリウムや不溶性の炭酸ナトリウムと反応して硫酸ナトリウムと炭酸カルシウムになり、可溶性の硫酸ナトリウムが降雨や灌漑により、下層に洗脱されることによってナトリウム比率が低下すること、Na粘土をCa粘土として土壌コロイドを安定させることによって、土壌の緻密化・クラストの形成を抑制するといわれている。簡単に示すと以下のようなになる。



ただし、山西省北部に分布するアルカリ土壌地域には硫酸根もカルシウムもかなり多めに存在するので、脱硫石膏の投入によって上記の反応が実際に生じているかどうかについては、更に詳細な分析・解析が求められると思われる。

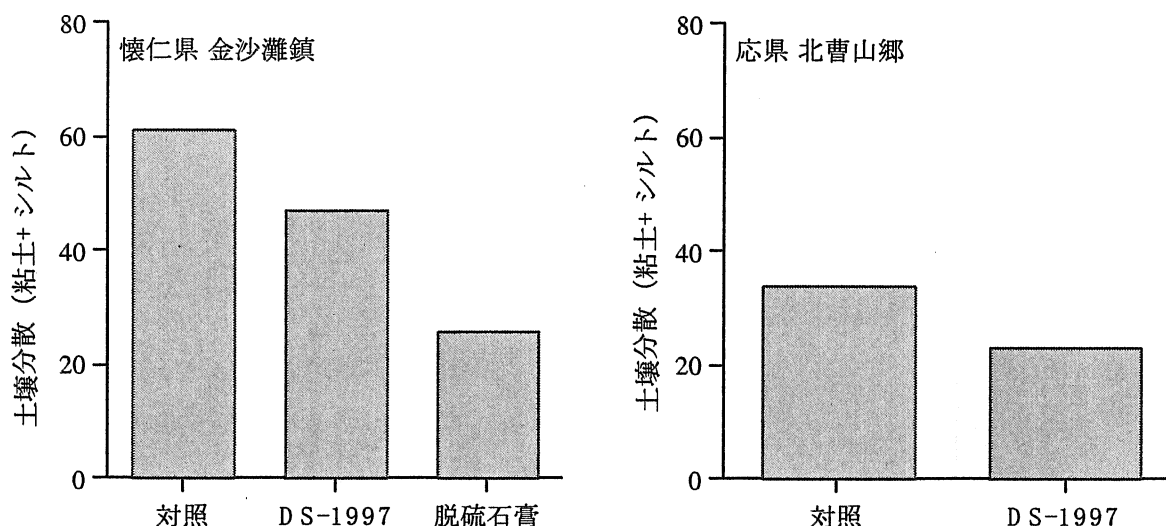


図6 - 3 脱硫石膏及びDS - 1997の施用による土壤の分散性の変化

(2) 土壤の化学性の改善

脱硫石膏の施用による土壤pH値の顕著な低下は、主として脱硫石膏中に含まれる硫酸に起因するものと考えられる。一方、脱硫石膏の施用によってEC値が上昇する。これは、脱硫石膏が多量の無機物を含んでいること、また()の式が左から右へ反応しているとなれば、可溶化した Na_2SO_4 もその要因となっていることが考えられる。したがって、EC値が比較的に高い塩性アルカリ土壤への施用は注意を要する。

(3) 過剰養分の吸収抑制及び欠乏養分の供給と過剰養分の吸収抑制

図6 - 4に示すように、脱硫石膏の施用により、土壤中に高濃度に含まれるナトリウムとホウ素の吸収抑制が認められた。これらの事象は、ナトリウムについては()式で示したような化学反応が進行した結果、可溶性の Na_2SO_4 が降雨や灌漑によって下層に洗脱されたためと考えられる。ホウ素については、可溶性の硼酸ナトリウム($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)が、解離したカルシウムイオンによって不溶性の硼酸カルシウム(CaB_4O_7)となり、作物に吸収されにくくなったことが考えられる。モリブデンについてもホウ素と同様な反応で不溶化し、作物に吸収されにくくなると考えられる。

また、石炭燃焼後の脱硫石膏中には多種の元素が含まれており(表5 - 4 a~c)、微量元素を供給する肥料効果も備えているものと考えられる。

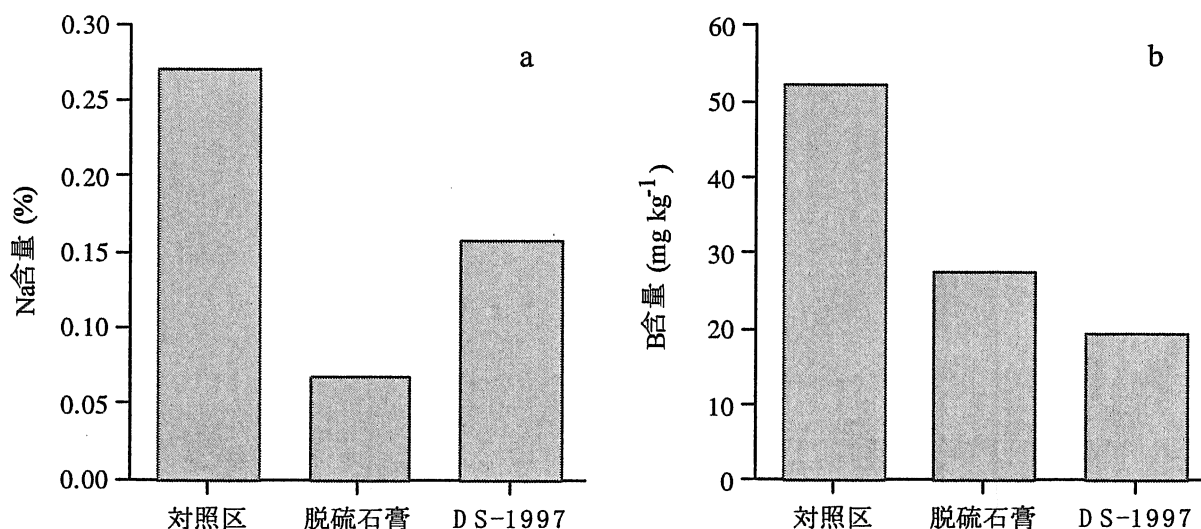


図6 - 4 脱硫石膏(22,500kg ha⁻¹)・ DS - 1997(2,250kg ha⁻¹)の施用がトウモロコシのNa及びB含量に及ぼす影響

6 - 5 - 3 DS - 1997の施用効果メカニズム

DS - 1997の施用効果メカニズムには以下のことを推察できる。

(1) 土壌の物理性の改善

1) 土壌の固相率の減少

DS - 1997の施用による土壌の固相率の低下と気相率の増加は、DS - 1997に含まれる有機物(DS - 1997の2,250kg ha⁻¹により約700kg ha⁻¹の有機物が投入される)によるものと考えられる。

2) 粘土分散性の低下

DS - 1997の施用による粘土分散性の低下は、脱硫石膏の場合と比較すると顕著ではないが、室内実験において若干認められた。しかし、このメカニズムについては、更に分析・解析が求められる。

(2) 土壌の化学性の改善

DS - 1997の施用によるpH値の低下は、DS - 1997に含まれる腐植酸(フミン酸)、可溶性微量元素の硫酸根、及び硫黄の酸化によるものと考えられる。ただし、硫黄が硫黄酸化菌による酸化を経て硫酸根になる必要がある。しかし、DS - 1997を施用した圃場には3年を経過してもなお硫黄粒が多く目視できることから、この作用は極めて緩慢に進行するものと推察され、更に調査・分析を行うことが必要である。

なお、DS - 1997の施用ではEC値の上昇はほとんどみられなかった。

(3) 過剰養分の吸収抑制と欠乏養分の供給

DS - 1997にはアルカリ土壌で不足しがちな鉄、マンガン、亜鉛などの微量元素が肥料成分として高密度に含まれている。DS - 1997の2,250kg ha⁻¹の施用により、微量元素、根の活性化物質としての腐植酸が590kg ha⁻¹、有機物が700kg ha⁻¹供給される(表5 - 5)。したがって、DS - 1997施用による生育の改善、増収効果が得られる理由は、不足する養分を脱硫酸石膏以上に供給する肥料効果であると考えられる。

DS - 1997の施用によってpH値と炭酸イオンの低下及びカルシウムの増加が生じ、交換性ナトリウムとカルシウムの置換により、可溶性の硫酸ナトリウムが生じる。また、不溶性の炭酸塩は硫酸イオンにより解離してカルシウムイオンを遊離させる。硫酸ナトリウムは降雨・灌漑時に下層へ洗脱され、カルシウムイオンは可溶性の硼酸ナトリウム(Na₂B₄O₇)を不溶性の硼酸ナトリウム(CaB₄O₇)に変えるので、作物に吸収されにくくなったことが考えられる。モリブデンについてもホウ素と同様な反応で不溶化し、作物に吸収されにくくなったと考えられる。

しかし、DS - 1997にはホウ素及びモリブデンが含まれているので(表5 - 5)、今後、DS - 1997の含有物の一層の考慮と更なる分析が必要であると考えられる。

6 - 5 - 4 耕種法と脱硫酸石膏・DS - 1997の施用及び根の生育と増収に関する考察

山西省北部のトウモロコシ栽培では、一般的に土壌表層からの脱塩、土壌水分の確保などを目的として、播種前灌漑を行う。灌漑約1週間後に耕耘・施肥・播種を行い、播種直後にビニルマルチをする。ビニルマルチを行うことによって土壌水分の蒸発を抑え、発芽に必要な土壌水分を確保する。このような耕種法によって確保された水分が脱硫酸石膏・DS - 1997に含まれる可溶性成分の溶解を促していると考えられる。

脱硫酸石膏中の可溶性成分の溶解は上述したように、土壌物理性の改善、pH値の低下、EC値の上昇、微量元素の供給に大きな影響を与えたと推察される。また、本現地実証調査で施用された施用直前の脱硫酸石膏の水分を測定したところ、33%前後と多めの水分が含まれていた。したがって、マルチがなくても出芽・初期生育に対して施用効果があったことは、播種前灌漑による土壌水分の補給効果の他、脱硫酸石膏それ自体の水分含有量が高かったこともその要因であると推察される。

土壌水分の確保は、DS - 1997では主として、可溶性微量元素の硫酸根の溶出に起因するpH値の低下及び微量元素の供給に影響を与えたと考えられる。また、土壌物理性を改善した有機物及び腐植酸による土壌中微生物の活性化を促したことも考えられる。

脱硫酸石膏・DS - 1997の施用により、上述したような土壌物理・化学性が改善され(6 - 5 - 2及び6 - 5 - 3)、作物の根圏の環境が改善された結果、根の伸長が旺盛になり、浅く(場所に

表 6 - 16a 懐仁県金沙灘鎮魏官養豚場
西側地での地下水位、pH及びEC値の
経時変化

測定日	地下水位(m)	pH	EC (dS m ⁻¹)
2000. 7. 5	1.3	8.1	1.1
2000. 8. 1	1.2	7.8	1.3
2000. 9. 1	1.2	7.7	2.8
2000.10. 4	1.5	7.7	2.2

表 6 - 16b 渾源県裴村郷西辛庄村張志鉄
圃場での地下水位、pH及びEC値の
経時変化

測定日	地下水位(m)	pH	EC (dS m ⁻¹)
2000. 7. 5	1.5	8.4	1.7
2000. 8. 1	1.6	8.2	1.6
2000. 9. 1	1.7	8.3	1.8

表 6 - 16c 渾源県裴村郷西辛庄村唐四妮
圃場での地下水位の経時変化

測定日	地下水位(m)	pH	EC (dS m ⁻¹)
2001. 4. 3	1.6	-	-
2001. 4.28	1.5	-	-
2001. 5.30	1.4	-	-
2001. 7. 3	1.4	-	-
2001. 8.29	1.5	-	-
2001. 9.26	1.8	-	-
2001.10.18	1.9	-	-

表 6 - 16d 山陰県山陰城鎮西塩池村朱文貴
圃場での地下水位の経時変化

測定日	地下水位(m)	pH	EC (dS m ⁻¹)
2001. 4. 3	1.6	-	-
2001. 4.28	1.5	-	-
2001. 5.30	1.5	-	-
2001. 7. 3	1.4	-	-
2001. 8.29	1.4	-	-
2001. 9.26	1.6	-	-
2001.10.18	1.7	-	-

表 6 - 16e 大同県党留庄郷党留庄試験場で
の地下水位pH及びEC値の経時変化 (n = 5)

測定日	地下水位(m)	pH	EC (dS m ⁻¹)
2002. 5.14	2.2	8.0	1.3
2002. 5.27	2.3	7.8	1.3
2002. 6.15	2.1	7.5	1.4
2002. 6.30	2.2	8.3	1.4
2002. 7.24	2.2	8.0	1.7
2002. 8.10	1.9	8.3	1.6
2002. 8.22	2.2	7.7	1.7
2002. 9.18	2.1	8.0	1.7
2002.10.24	2.2	7.7	1.8

よって異なるが1～2m程度(表6-16a～e)、表層の土壤溶液よりも塩濃度の低い地下水への根の到達など(トウモロコシの直根は通常1.5m以上まで達する。本現地実証調査では1.2m以上まで達していた。また、脱硫石膏施用区ではDS-1997施用区よりも根の伸長・発育が良好であった)作物の根がより良い条件のある所まで到達できたことが考えられ、増収の一要因になったと推察される。

6 - 6 中国産土壌改良資材の開発と施用効果

様々なタイプの塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌で効果の確認されているDS - 1997を普及するためには、安価に製造・販売できるように、山西省内で原材料を調達・製造することが必要である。そのため、代替原料の入手及び利用の可否を調査し、その施用効果を確認することを目的としたポット及び圃場試験を実施した。2000 / 2001年度の対象代替物は硫黄及び有機物で、2002年度の対象代替物は無機物を含む全成分とした。

6 - 6 - 1 代替硫黄

DS - 1997から硫黄を除いたもの(以下、無硫DS - 1997)を製造し、これに山西省で調達した硫黄を代替物として、硫黄の配合量を変えながら混合したものを施用した。

この結果、中国産硫黄でも日本産と同等の効果が得られるものと考えられた(DS - 1997そのものと代替硫黄物で置き換えたものとの直接の比較試験は行われていない)。ポット試験では硫黄の配合割合が50%以上になると出芽不良・生育抑制がみられた。しかし、圃場試験では表6 - 17aに示されるように、いずれの試験圃場でも「無硫DS - 1997(1,350kg ha⁻¹)+ 硫黄(900kg ha⁻¹)」で最大収量がみられた。他の配合割合及び各資材の単独施用でも、渾源県裴村郷王学智圃場を除き、トウモロコシに対照区比で1.1~1.9倍の増収がみられた。トウモロコシより耐塩性の強いヒマワリでは風化石炭の単独施用を除き、対照区比でトウモロコシよりも増収率が大きかった。

6 - 6 - 2 代替有機物

中国で調達した米糠、キノコの栽培床、酢滓、フルフラール滓(トウモロコシの芯を希硫酸処理し、蒸留後の滓)をDS - 1997中に含まれる有機物(日本産の米糠)の代替物として試験を行った。

その結果、表6 - 17bに示されるように、DS - 1997と同等またはそれ以上の効果があった。

2000年度に実施された試験(DS - 1997に更に有機物等を混合)では、概してDS - 1997の単独施用よりも効果が高かった。

6 - 6 - 3 DS - 1997の中国産化

2002年度には、中国産の硫黄が日本産の硫黄と同等の効果がみられたこと、作物被害程度が重い圃場では脱硫石膏・DS - 1997の同時施用がDS - 1997の単独施用よりも効果が高かったことなどから、表5 - 7に示すようにDS - 1997の成分すべてを山西省内での調達原料と置き換えた中国産土壌改良資材1号・2号を試作した。

結果は、表6 - 17cに示されるように、pH及びEC値のいずれも高い大同県党留庄郷試験圃場

表 6 - 17a 2001年度に実施したDS - 1997の代替硫黄に関する施用効果確認試験での各作物被害程度圃場における
処理前のpH_{1:2.5}、EC_{1:5} (dS m⁻¹) 値及び作物収量 (kg ha⁻¹)

試験実施場所	処理前		対照	対照	1	2	3	4	5	6						
			(無施肥)	(有施肥)												
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率				
重 度																
1 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 工場西 3 号地 (ヒマワリ)	9.4	2.2	231	678	1,773	2.6	1,709	2.5	1,300	1.9	903	1.3	1,726	2.5	841	1.2
2 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 大棚西 2 号地 (トウモロコシ)	9.8	0.3	620	3,382	5,052	1.5	4,243	1.3	4,868	1.4	3,944	1.2	4,603	1.4	3,770	1.1
3 応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場 (トウモロコシ)	9.5	0.3	1,650	2,115	5,652	2.7	2,880	1.4	3,030	1.4	2,484	1.2	4,000	1.9	2,700	1.3
4 渾源県 裴村郷 西辛庄村 王学智圃場 (トウモロコシ)	9.3	0.5	8,402	9,361	11,048	1.2	9,590	1.0	9,373	1.0	9,502	1.0	8,927	1.0	9,140	1.0
Mean				0		2.0		1.5		1.4		1.2		1.7		1.2
1) 無硫 DS - 1997 (1,350kg ha ⁻¹) + 硫黄 (900kg ha ⁻¹)	2) 無硫 DS - 1997 (900kg ha ⁻¹) + 硫黄 (600kg ha ⁻¹)			3) 風化石炭 (15,000kg ha ⁻¹) + 硫黄 (900kg ha ⁻¹)												
4) 無硫 DS - 1997 (1,350kg ha ⁻¹)	5) 硫黄 (900kg ha ⁻¹)			6) 風化石炭 (15,000kg ha ⁻¹)												

表 6 - 17b 2001年度に実施したDS - 1997の代替有機物に関する施用効果確認試験における重作物被害程度圃場の処理前の
pH_{1:2.5}、EC_{1:5} (dS m⁻¹) 値及び作物収量 (kg ha⁻¹)

試験実施場所	処理前		対照	対照	DS - 1997	R - DS - 2001	M - DS - 2001	V - DS - 2001	F - DS - 2001					
			(無施肥)	(有施肥)	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率				
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率	収量	増倍率				
重 度														
1 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場 (トウモロコシ)	9.9	0.5	4,800	11,000	11,700	1.1	14,400	1.3	12,900	1.2	12,900	1.2	12,500	1.1

R) 米糠、M) キノコの栽培床、V) 酢滓、F) フルフルール滓

施用量：DS - 1997；(2,500kg ha⁻¹)、他；DS - 2001 (1,722kg ha⁻¹) + 代替有機物 (778kg ha⁻¹)

表 6 - 17c 2002年度に実施したDS - 1997の国産改良資材の施用効果確認試験での処理前の
pH_{1:2.5}値、EC_{1:5} (dS m⁻¹) 値及び作物収量 (kg ha⁻¹)

試験実施場所	処理前		対照	対照	DS - 1997	国産改良 1号	国産改良 2号			
			(無施肥)	(有施肥)	収量	増倍率	収量	増倍率		
	pH _{1:2.5}	EC _{1:5}	収量	収量	収量	増倍率	収量	増倍率		
1 大同県 党留庄郷 党留庄村 試験圃場 (トウモロコシ)	9.8	0.6	-	931	1,639	1.8	2,169	2.3	2,081	2.2

では、中国産土壌改良資材 1 号・2 号のいずれも DS - 1997 の単独施用と同等かそれ以上と考えられる収量をもたらした。

以上のことから、DS - 1997 の中国国産化は早期に開始されることが望まれる。

6 - 7 山西省北部に分布する塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の分級と施用量

ここでは、山西省に広範に分布する塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌での作物被害程度に変えて、土壌の分析値から導くことのできる当該土壌の分級とそれに対応する施用量を考察する予定であった。しかしながら、

- (1) 施用効果の確認試験で施用量別の効果を調査した試験地では、作物被害程度と pH 値がおおむね一致していること
- (2) 試験地域によって作物の実収量に大きな差はあるが、DS - 1997 の施用により、どちらのタイプの土壌でもおおむね $2,250\text{kg ha}^{-1}$ の施用により、その最大増収が得られたこと
- (3) 脱硫酸石膏では、おおむね $22,500 \sim 30,000\text{kg ha}^{-1}$ の施用により、その最大増収が得られたこと
- (4) pH 値が比較的 low (8.5 ~ 9 前後)、EC 値のやや高い圃場(塩化物塩や硫酸塩を主体とした塩性アルカリ土壌)に脱硫酸石膏を施用すると、排水施設のない山西省北部の圃場では、EC 値の上昇がみられ、供試作物(主にトウモロコシ)の収量増加への効果が低いことが明らかとなったこと

などから、作物被害程度と土壌分析値との関連づけを試みた。ここでは比較的 analysis が容易である全塩量と pH 値を用いたかったが、全塩量分析がプロジェクト終了時まで完了できなかったことから、あえて、作物被害程度との関係を最も簡単な pH を用いて考察した。作物被害程度と pH 値との関係は、これまでに示した表から推察するとおおむね次のようになると考えられる。

軽 : $\text{pH} < 8.5$ 、中 : $8.5 < \text{pH} < 9$ 、重 : $9 < \text{pH} < 9.5$ 、極重 : $9.5 < \text{pH} < 10$ 、甚 : $10 < \text{pH}$

これは、作物の種類・品種の違いによる耐塩・耐乾性の強弱の差、土壌改良材施用後の土壌環境の変化に対応する作物・品種の発芽、出芽、及び根の伸長速度の差、各農家による耕種概要の違い、さらに、四地下水位の高低などの様々な条件によっては大きく変わるものと考えられる。

さらには、作物収量に対する両土壌改良資材の影響だけではなく、塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌といった土壌を実質的に改良していくためには、pH のみでは不十分である。したがって、今後、更に両土壌改良資材の施用量と全塩量及び交換性塩基の変化との関係などについての調査が求められる。