

中華人民共和国
山西省アルカリ土壤改良現地実証調査
総合報告書

平成 15 年 4 月
(2003 年)

国際協力事業団
農林水産開発調査部

農 調 投

J R

03-37

序 文

国際協力事業団は、中華人民共和国山西省科学技術委員会(現在の科学技術庁)との討議議事録(R/D)に基づき、投融資事業の一環として、「中国山西省アルカリ土壌改良現地実証調査」を平成12年4月から平成15年3月の3年間にわたり、実施しました。

本現地実証調査は、山西省北部に位置する大同盆地を中心としたアルカリ土壌地域での農業生産開発の推進に寄与するため、埼玉県が開発した土壌改良資材及び脱硫石膏による土壌改良の効果を技術的に実証するとともに、両土壌改良資材の施用による経済性評価を行いました。

本報告書は、調査期間内に行われた試験及び調査の結果を取りまとめたものであり、日本国・中華人民共和国双方の関係者の尽力によるものです。また、この報告書が今後関係者に活用され、中華人民共和国におけるアルカリ土壌地域の農業生産開発事業の推進の一助となれば幸いです。

未筆ながら、本調査にご協力とご支援を頂いた関係機関並びに関係者に対し、心より御礼申し上げます。

平成15年4月

国際協力事業団

理事 鈴木信毅

目 次

序 文

用語及び単位などの説明

図表リスト

写 真

地 図

要 旨

第1章 緒 言	1
1 - 1 本現地実証調査の経緯	1
1 - 2 目 的	2
第2章 実施体制	3
第3章 実証調査の活動状況	7
3 - 1 専門家・カウンターパート(C/P)	7
3 - 2 C/Pの研修	9
3 - 3 各種会合	10
3 - 4 調査団	11
3 - 5 予 算	13
3 - 6 供与機材・基盤整備等	13
第4章 山西省のアルカリ土壌の概要	14
4 - 1 山西省の地勢及びアルカリ土壌の概況	14
4 - 2 アルカリ土壌の分布と面積	14
4 - 3 大同盆地の塩性・アルカリ土壌の概要	16
第5章 試験地、試験内容及び結果の概略	20
5 - 1 試験地の概況	20
5 - 2 試験圃場数及び面積	20
5 - 3 試験内容及び試験結果の概略	27

第6章 主な試験の結果	39
6 - 1 脱硫石膏の施用効果	39
6 - 2 DS - 1997の施用効果	49
6 - 3 脱硫石膏・DS - 1997の同時施用	56
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	57
6 - 5 土壌改良資材の施用効果メカニズム	62
6 - 6 中国産土壌改良資材の開発と施用効果	68
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	71
第7章 土壌改良資材利用の経済性	72
7 - 1 土壌改良資材使用コストの検討	72
7 - 2 土壌改良資材の利用評価の検討	72
7 - 3 土壌改良資材現地生産の可能性の検討	75
7 - 4 土壌改良資材の需要と供給の検討	75
第8章 総括	77
謝辞	82

本現地実証調査の総合報告書で使用される用語及び単位などの説明

【R/D】 Record of discussion - 討議議事録。R/Dは、国際協力事業団が個々のプロジェクト方式技術協力及び現地実証調査等の協力事業を実施するにあたって、相手国の実施機関と協力内容、期間及び諸条件等について合意した事項を取りまとめ、双方(通常、日本側は実施協議調査団長、相手国側は協力先機関の長)が署名した文書。

【C/P】 Counterpart - カウンターパート。我が国が開発途上国において実施している専門家派遣、プロジェクト方式技術協力及びその他の国際協力事業において、技術移転の対象となる相手国側の行政官や技術者のこと。

【脱硫石膏】 石炭火力発電所の脱硫装置から排出される副産物。火力発電所の排煙にスラリー状の石灰を吹き付けることによって、排煙中の二酸化硫黄と吹き付けた石灰が反応を起こして排出されたもの。脱硫石膏には硫黄、カルシウムその他、様々な微量元素が混入している。現在、脱硫装置は高価であり、大量に排出される脱硫石膏の利用性が低いことから中国国内での導入は進んでいない。近い将来、脱硫石膏がアルカリ土壌の改良資材として利用可能であることが実証され、脱硫装置の導入が促進されれば「酸性雨」の原因が軽減され、環境改善に貢献できる。

【DS - 1997】 埼玉県農林総合研究センターが、山西省との姉妹県省交流事業の一環として、塩類集積・高pH土壌の理化学性の改良、作物に対する有機物・微量元素の補給、施用効果の持続性、施用量などを考慮して1997年に試作したもの。埼玉県が日本国内で特許を申請中。

【作物被害程度】 山西省北部に広範に分布する塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の塩性化及びアルカリ化程度を表すために、山西省で慣例的に用いられた表記方法。土壌の分析結果に基づいたものではなく、C/P及び農家の主観的判断によるものである。また、本現地実証調査では作物被害程度により試験地を軽・中・重・極重・甚の5段階に分けて表記している。

【塩類】 本総合報告書中に記載されている塩類とは、主として土壌中に含まれる主要な8つの無機イオン、すなわち、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、塩素、硫酸、炭酸、炭酸水素を指す。

【土壌溶液】 土壌水(作物の根によって吸収されることのできる土壌中の水)の中には、いろいろな成分が溶けている。これを土壌溶液と呼ぶ。土壌溶液中には、アンモニア、カリウム、カルシウ

ム、マグネシウムなどの陽イオンと硝酸、リン酸、硫酸、塩素などの陰イオンとが存在している。

【塩類集積】 土壌溶液中の様々な種類の塩類が、蒸発による水分の移動に伴い、土壌表層に集積する現象。特に降雨量より蒸発量が多い乾燥・半乾燥地帯では、降雨後や灌漑後に土壌水分は下から上への一方通行となり、塩類が土壌水とともに上昇し、水分は蒸発してしまうが塩類は表層に残されるために塩類集積が起こりやすい。

【塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌】 塩類土壌の分類は、国ごとに土壌の実情に応じて異なった分類法が用いられているが、本現地実証調査の総合報告書では、便宜的にアメリカ農務省(USDA)の分類基準のうち、ESPを除いたpH値とEC値の高低による分類を用いた。その基準を下表に示す。この基準を元に、塩性アルカリ土壌(pH値=8.5以上、かつEC_e値=4 dS m⁻¹以上)及びアルカリ土壌(pH値=8.5以上、EC_e値=4 dS m⁻¹以下)とした。ただし、ここではEC_e値は実測に基づくものとEC_{1:5}値からEC_e値への換算値との両方を含む。

塩類土壌とアルカリ土壌等の特性

項目	塩類土壌	塩性アルカリ土壌	アルカリ土壌
EC _e (dS m ⁻¹)	> 4	> 4	< 4
ESP	< 15	> 15	> 15
pH	< 8.5	> 8.5	> 8.5

(出所：U. S. Salinity Laboratory staff 1954)

【ソーダ型アルカリ土壌】 アルカリ土壌の1種で、その土壌に含有される組成塩類中のソーダ質(HCO₃⁻及びCO₃²⁻)が多いもの。

【EC値】 Electrical conductivityの略で、電気伝導度のこと。その値は25℃のEC値に換算して標記する。単位はdS m⁻¹(deciSiemen per metre)を主に使用した。EC値は水溶液中の総可溶性塩類量とほぼ比例の関係にあり、その関係は、おおよそ1 dS m⁻¹ = 10mmol_e L⁻¹ = 700mg L⁻¹となっている。mmol_eは、mmolをその分子の原子価によって換算したものの(例：Ca²⁺10mmol = 20mmol_e)。本総合報告書では、EC_{1:5}値¹⁾を主とし、必要に応じてEC_e値²⁾を測定し、併記した。(本報告書では特別に下付字がない場合は、pH = pH_{1:2.5}値及びEC = EC_{1:5}とする)。

¹⁾ EC_{1:5}値：土壌5gに対して、蒸留水をその5倍の25g加えて、土壌中の可溶性塩類を抽出した溶液を電気伝導度計で測定したもの。

²⁾ EC_e値：土壌を蒸留水で飽和させてペースト状にしたものを遠心器を使用して抽出した溶液の電気伝導度を測定したもの。

【交換性陽イオン】 腐植や粘土などの土壤コロイドは電氣的にマイナスの性質をもっているので、プラスの電荷をもつ塩基や水素イオンを吸着している。これらの陽イオンは他の陽イオンによって交換(置換)されて土壤溶液中に遊離してくるので、交換性陽イオン(置換性塩基)と呼ばれる。交換性陽イオンには、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウム、アンモニアなどがある。水素イオンも陽イオンであるが、塩基とはいわない。交換性陽イオンが少ないと土壤は酸性化し、過剰になるとアルカリ土壤となる。また、交換性カルシウムが多いと土壤の団粒構造が発達し、交換性ナトリウムが多いと土壤構造は単粒化し、土壤物理性が悪化する。

【陽イオン交換】 土壤に塩基を加えると、マイナス荷電をもつ腐植や粘土などの土壤コロイドに電氣的に吸着されていた陽イオンの一部は、加えた塩基に由来する陽イオンによって交換(置換)され、土壤溶液中にでる。このような現象を「陽イオン交換」または「塩基置換」と呼ぶ。この反応は可逆的に進む。多くの陽イオンが共存する場合、土壤に交換吸着されるイオンの優先順位は以下のようなになる。

水素 > カルシウム > マグネシウム > カリウム・アンモニウム > ナトリウム

【ESP】 Exchange Sodium Percentの略。土壤の陽イオン交換容量(塩基置換容量)の何パーセントが交換性ナトリウムで満たされているかを示したもので、塩類土壤の指標の1つ。

【陽イオン交換容量】 土壤コロイドは電氣的にマイナスの性質を示し、水素や陽イオンを吸着できる。土壤が陽イオンを吸着できる最大量を「陽イオン交換容量(Cation Exchange Capacity: CEC)」または「塩基置換容量」と呼ぶ。一般に粘質土壤や腐植質土壤では大きく、砂質土壤では小さい。

- 引用・参考文献 -

『国際協力用語集』(株)国際開発ジャーナル社 1999年

『土壤肥料用語辞典』(社)農山漁村文化協会 1988年

“Water quality for agriculture” 1985. FAO Irrigation and Drainage Paper 29.

“The use of saline water for crop production” 1992. FAO Irrigation and Drainage Paper 48.

図リスト

- 図 5 - 1 アルカリ土壌の分布と発電所の位置関係
- 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 $EC_{1:5}$ 値と EC_e 値との間の相関関係
- 図 6 - 3 脱硫酸石膏・DS - 1997の施用による土壌の分散性の変化
- 図 6 - 4 脱硫酸石膏($22,500\text{kg ha}^{-1}$)・DS - 1997($2,250\text{kg ha}^{-1}$)の施用がトウモロコシのNa及びB含量に及ぼす影響
- 図 7 - 1 トウモロコシ生産の損益分岐点
- 図 7 - 2 最適施用量と収益
- 図 7 - 3 土壤改良資材の利用についてのまとめ

表リスト

- 表 4 - 1 山西省に分布するアルカリ土壌の面積
- 表 4 - 2 山西省に分布する塩性アルカリ土壌のタイプ別面積
- 表 4 - 3 大同盆地に分布する各県の代表的試験圃場の地質、0 ~ 150cm深の平均pH値、EC値及び可溶性塩類の組成と濃度
- 表 4 - 4 大同盆地に分布する各県の代表的試験圃場での断面調査に基づく土壌分類
- 表 5 - 1 a 2000年度の試験地及び試験概要 その1
- 表 5 - 1 b 2000年度の試験地及び試験概要 その2
- 表 5 - 2 a 2001年度の試験地及び試験概要 その1
- 表 5 - 2 b 2001年度の試験地及び試験概要 その2
- 表 5 - 2 c 2001年度の試験地及び試験概要 その3
- 表 5 - 3 2002年度の試験地及び試験概要
- 表 5 - 4 a 2000/2001年度に採取した脱硫石膏に含まれる重金属とその含有量
- 表 5 - 4 b 2000/2001年度に採取した脱硫石膏に含まれる肥料成分とその含有量
- 表 5 - 4 c 2000/2001年度に採取した脱硫石膏の水溶性成分とその含有量
- 表 5 - 5 DS - 1997に含まれる原材料とその配合割合
- 表 5 - 6 無硫DS - 1997に含まれる原材料とその配合割合
- 表 5 - 7 中国産土壌改良資材 1号・2号に含まれる原材料とその配合割合
- 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
- 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
- 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圃場での処理前の $pH_{1:2.5}$ 及び $EC_{1:5}$ ($dS m^{-1}$)値と苗立率
- 表 6 - 2 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 $EC_{1:5}$ ($dS m^{-1}$)値と作物収量($kg ha^{-1}$)
- 表 6 - 2 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 $EC_{1:5}$ ($dS m^{-1}$)値と作物収量($kg ha^{-1}$)
- 表 6 - 2 c 2002年度に実施した脱硫石膏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($kg ha^{-1}$)
- 表 6 - 3 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 $pH_{1:2.5}$ 値の比較

- 表 6 - 3 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 値の比較
- 表 6 - 3 c 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 値の比較
- 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 $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1}) 値の比較
- 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 $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1}) 値の比較
- 表 6 - 4 c 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 $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1}) 値の比較
- 表 6 - 5 脱硫石膏の残効・連用に関する試験での処理前の $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1}) 値と異なる施用量ごとの作物収量 (kg ha^{-1})
- 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
- 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
- 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
- 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
- 表 6 - 7 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1}) と苗立数または苗立率
- 表 6 - 7 b 2001年度に実施したDS - 1997の施用効果確認試験での重度作物被害程度圃場における処理前の $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1}) と出芽・苗立数または出芽・苗立率
- 表 6 - 7 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1}) と苗立率
- 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1}) 値と作物収量 (kg ha^{-1})

- 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重度作物被害程度圃場における処理前の $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})値と作物収量(kg ha^{-1})
- 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})値と作物収量(kg ha^{-1})
- 表 6 - 9 a 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 値の比較
- 表 6 - 9 b 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 値の比較
- 表 6 - 9 c 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 値の比較
- 表 6 - 10 a 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 $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})値の比較
- 表 6 - 10 b 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 $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})値の比較
- 表 6 - 10 c 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 $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})値の比較
- 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})及び作物収量(kg ha^{-1})
- 表 6 - 12 a 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)での脱硫酸石膏・DS - 1997及び脱硫酸石膏・DS - 1997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
- 表 6 - 12 b 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)での脱硫酸石膏・DS - 1997及び脱硫酸石膏・DS - 1997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
- 表 6 - 13 a 2000年度に実施したモデル試験での各作物被害程度圃場におけるDS - 1997処理前の $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})値と作物収量(kg ha^{-1})
- 表 6 - 13 b 2001年度に実施したモデル試験での各作物被害程度圃場における脱硫酸石膏・DS - 1997処理前の $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})値と作物収量(kg ha^{-1})
- 表 6 - 13 c 2002年度に実施したモデル試験での各作物被害程度圃場における脱硫酸石膏・DS - 1997処理前の $\text{pH}_{1:2.5}$ 及び $\text{EC}_{1:5}$ (dS m^{-1})値と作物収量(kg ha^{-1})
- 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 $\text{pH}_{1:2.5}$ 値

- 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石膏・DS - 1997処理前と収穫時の $EC_{1:5}$ 値
- 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
- 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
- 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
- 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
- 表 6 - 16e 大同県党留庄郷党留庄試験圃場での地下水位、pH及びEC値の経時変化
- 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 $pH_{1:2.5}$ 値、 $EC_{1:5}$ ($dS\ m^{-1}$)値及び作物収量($kg\ ha^{-1}$)
- 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度作物被害程度圃場の処理前の $pH_{1:2.5}$ 値、 $EC_{1:5}$ ($dS\ m^{-1}$)値及び作物収量($kg\ ha^{-1}$)
- 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 $pH_{1:2.5}$ 、 $EC_{1:5}$ ($dS\ m^{-1}$)値及び作物収量($kg\ ha^{-1}$)
- 表 7 - 1 中国産土壌改良資材の使用コストの試算

要 旨

本報告書は、国際協力事業団(Japan International Cooperation Agency : JICA)の投融資事業の一環として、中華人民共和国(以下、「中国」と記す)山西省アルカリ土壌地域における農業開発等の推進に寄与するために実施した「中国山西省アルカリ土壌改良現地実証調査 (2000年4月～2003年3月)」の結果を取りまとめたものである。

本現地実証調査は、山西省北部に位置する大同市を中心とした大同盆地のアルカリ土壌地域で作物被害程度別に圃場を選び、脱硫石膏(石炭火力発電所から排出される二酸化硫黄を削減する目的で設置された脱硫装置から副次的に生成される物質)及び埼玉県が開発したDS - 1997の2種類を土壌改良資材として使用し、アルカリ土壌の改良効果、施用方法等を技術的に実証するとともに、施用効果のメカニズム解明、両土壌改良資材利用等における経済性評価を行ったものである。

山西省大同盆地は、標高は盆地の平地面で1,000～1,100m、気候は大陸性の温暖乾燥モンスーン気候に属し、年平均降水量は約400mm、蒸発量は約1,900mmで蒸発量が降水量の約5倍である。3～5月(土壌凍結の解凍期)は降水量が60mmと少ないうえに風が強く、この期間の蒸発量は約700mmと降水量の約12倍にもなる。解凍時には土壌の下層に集積した塩類が溶け出し、地表面の乾燥に伴う水分上昇とともに塩類が土壌の表面に移動し、地表層に塩類の集積が起こる。夏期6～8月は高温となるが、まとまった降雨(年間降水量の約60%強)もあり、土壌表層の塩類は下層に移動する。晩秋(11月中旬)から再度土壌が凍結し、春になると解凍して再び地表への塩類の移動集積が起きている。また、地下水の塩類含有量も多く、地下水からの塩類供給もある。地下水位はおおむね1～2mである。

大同盆地の総耕地面積は77万ha、塩類・アルカリ土壌地域の面積は約20万ha(今回の調査地の平均pH値はおおむね8.5～10)である。この地域の主要作物はトウモロコシ、パレイショ、春小麦、ヒマワリ、テンサイ、アワ等であるが、土壌浸食や厳しい条件の下で農業の生産性は低い。

本現地実証調査は2期に分けられ(第1期：2000～2001年度、第2期：2002年度)、第1期は大同市周辺の8県区、合計約35haの作物被害程度別の試験地を選定し、両土壌改良資材の効果及びメカニズムの解明、両土壌改良資材の効率的な施用方法、作物栽培管理方法等について検討するため、試験地でのモニタリング(土壌水分、塩類濃度(EC値)、pHの経時的変化)、土壌理化学性の分析、作物の生育、収量調査を内容とする調査を実施した。

第2期は、第1期のフォローアップとして調査期間を約1年間とし、第1期の重要な調査地及び新たに未耕地を基盤整備(井戸及びスプリンクラーの設置等)した調査地で実施した。

さらに、第1期で収集されたデータを基に、実施すべき課題と内容を絞り、特に、土壌の種類と作物被害程度に応じた作物別の土壌改良資材の残効・連用効果、アルカリ土壌における両土壌改良資材のメカニズム解明、将来における土壌改良資材の普及を目的に中国現地で試作されたDS

- 1997類似土壌改良資材(中国産土壌改良資材)の効果等について調査した。

また、2001/2002年度に、土壌改良資材利用の経済性評価及び投資環境等の調査も実施した。
本現地実証調査の主な成果として以下のことがあげられる。

- (1) 山西省農業科学院土壌肥料研究所の分析・実験室が整備され、カウンターパート(C/P)に対して分析技術等が移転されたことにより、当該研究所が山西省の重点実験室に指定された。これによって依頼分析を受注することが可能となり、供与機材の維持管理費の一助となることが期待される。
- (2) 山西省北部に分布するアルカリ土壌に対する脱硫石膏の施用効果が実証された。これにより、山西省・太原市に位置する石炭火力発電所から排出される脱硫石膏は、当該地域内で有効利用できる可能性が示された。
- (3) DS - 1997の施用効果が実証され、モデル農家の支持を得たことにより、使用を希望する農家が増大した。
- (4) 中国産土壌改良資材の製造が山西省で可能であること、及びその施用効果が実証され、さらに、脱硫石膏を加えることによって相加的な効果もみられたことから、中国の自助努力によるアルカリ土壌改良の効果としての農産物の増収のみならず、アルカリ土壌地域の草地・森林化による砂漠化防止にも寄与できる可能性が示された。

また、各調査・試験項目の主要な結果は次のとおりである。

(1) 脱硫石膏の品質

山西省電力公司太原第1発電所の脱硫石膏の品質(硫黄、カルシウム等の一般成分及び水銀等の重金属含有量)を日本公定分析法によって分析した結果、硫黄の含有量は平均して13.6%、カルシウム含有量は23%であった。また、水銀濃度は、2000年度の平均値で2.4ppm、2001年度の平均値で2.2ppmであった。水銀濃度は中国土壌環境基準値(酸性土壌5ppm、アルカリ土壌15ppm)以下であった。

(2) 土壌改良資材の施用効果

- 1) 脱硫石膏は、作物被害程度が重～極重度のソーダ型アルカリ土壌での施用効果が高く、ヒマワリ・トウモロコシの出芽・苗立率が向上し、初期生育量及び収量が増加した。しか

し、塩化物塩と硫酸塩を主体とする塩性アルカリ土壌では塩類濃度(EC値)の上昇による出芽不良や生育抑制が発生し、顕著な効果は認められなかった。

2) DS - 1997は軽～極重度の塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌でのトウモロコシ、ヒマワリ、アワ、テンサイの出芽・苗立率の向上、初期生育の促進、生育・収量の増加が認められた。

(3) 施用効果のメカニズム

1) 脱硫石膏の施用は、土壌物理・化学性の改善(土壌分散性、固相率、pHの低下等)による出芽・苗立率の向上及びアルカリ土壌で欠乏している肥料成分(カルシウム、硫黄、鉄、亜鉛、マンガン等)の供給による作物栄養の総合的改善などをもたらし、これによって生育・収量が増加すると推察された。

2) DS - 1997の施用により、土壌改善及び肥料効果が総合的に作用した結果、出芽・苗立率の向上及び生育・収量の増加が得られると推察された。また、DS - 1997は塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌のいずれの作物被害程度の圃場でも $2,250\text{kg ha}^{-1}$ の施用により、比較的安定した増収効果が得られることが明らかとなった。

(4) 土壌改良資材の連用・残効

残効は作物被害程度中～重度の塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌で、両土壌改良資材ともにテンサイ、トウモロコシの生育促進、増収が認められた。しかし、脱硫石膏の連用によって土壌中の塩類濃度の増加がみられたので、排水施設のない山西省北部の農地では連用は避けることが望ましいと考えられた。

(5) 中国産土壌改良資材の開発と施用効果

2002年に3種類の中国産土壌改良資材 DS - 1997(硫黄純度99%のものを使用)と同成分のもの、硫黄成分を脱硫石膏で置き換えたもの、DS - 1997の硫黄純度99%を50%にしたものを試作し、資材の施用効果確認試験を実施した。いずれも、DS - 1997と同等またはそれ以上の効果が認められた。特に、硫黄成分を脱硫石膏で置き換えた資材の効果が大きかった。

(6) 土壌水分・塩分の動態モニタリング

現地圃場で作期を通して定期的に地下水及び土壌調査を行った結果、地下水位は場所によって異なり、1～2m前後で推移した。土壌水分含量は概して0～60cm深では季節的な変動が大きく、60cm以下での変化は小さかった。脱硫石膏・DS - 1997施用区の土壌水分、pH値、EC値等の鉛直分布は、調査時期、試料採取地点による変動が大きく、一定の傾向がみられな

かった。しかし、脱硫石膏・DS - 1997の施用により、作土のpHの低下が確認され、これに伴う置換性ナトリウムの減少が確認された。

(7) 土壤改良資材の経済性評価

「土壤改良資材の経済効果」「土壤改良資材を利用して農作物を生産した場合の収益性」及び「土壤改良資材を中国内で生産できるか否かの可能性」等について調査・検討を行った。

その結果、中国産土壤改良資材及び脱硫石膏のいずれのタイプも土壤改良資材として作物の増収効果があり、土壤改良資材としての利用は有益であると評価された。

土壤改良資材使用コストの試算では、中国産土壤改良資材は1,320～1,368元 ha^{-1} で、地域差はあるものの農民の負担し得る金額であると評価された。脱硫石膏は、土壤改良資材としては効果があるものの、必要投入量が大きく(25～30t ha^{-1})、運搬費がかさむため、中国産土壤改良資材よりコスト高となる(1,725元 ha^{-1})。また、その取扱量がかさむため、施用労力、保管の点でも農家の負担が大きい。

なお、供給面でみると、中国産土壤改良資材は年間50万t、脱硫石膏は将来火力発電所に「脱硫装置」の設置が義務づけられた場合には年間230万tの中国産土壤改良資材の生産が可能であると同時に、運搬距離が50km以内では経費負担が少なくなる可能性がうかがえる。

第1章 緒言

1 - 1 本現地実証調査の経緯

中華人民共和国(以下、「中国」と記す)の国土は広大(9億9,000万ha)であるが、人口増加に対してその生態系は脆弱である。耕地面積は9,500万ha(国土の約10%)にすぎず、山岳、高原、丘陵が多いが、森林は約1億3,000万ha(森林被覆率は13.4%)と極めて少ない。

中国では、人口増加と経済成長に伴って食糧・資源・エネルギー - の安定的な確保と環境問題が重要な課題となっている。中国のエネルギー - 消費量は急激に増加し、1997年には標準炭換算で約14億tと世界第2位となった。しかし、エネルギー - 消費の約75%を占める石炭の硫黄含有量が高いうえに、燃焼後の脱硫がほとんど行われていないため、二酸化硫黄の年間排出量は日本の約25倍の約2,000万tに達し、大気汚染や酸性雨等による深刻な被害をもたらしている。

食糧生産量はここ数年来5億t前後の高水準で推移しているが、一方で砂漠化の進行や水資源の枯渇等も懸念されている(耕地とほぼ同じ面積が既に砂漠化し、現在も進行中である)。また、乾燥・半乾燥地域における土壌の塩類集積が問題となっている。なかでも交換性ナトリウムの濃度が高いアルカリ土壌は、通常の塩類土壌よりも作物の生育が厳しく、土壌改良も困難である。中国にはこのようなアルカリ土壌地域が北部を中心に10万km²(1,000万ha)にわたって分布しているとみられており、耕地面積拡大や農作物生産の発展を妨げている。

山西省太原市周辺から北方は、陝西省、河南省、甘肅省、寧夏回族自治区にまたがっている黄土高原(何百万年の年月を経てきた西域のゴビ砂漠、タクラマカン砂漠等から風で運ばれてきた黄砂が堆積したもので、黄土の厚さはおよそ10~200mもある)の一部で、風で運ばれてきた土は粒子が細かく、これが乾燥すると堅く固まり、耕作等で砕かれると粉状になって風に舞う。一方、微粒子の土のため隙間が少なく、通気性、透水性が悪く、雨水を含むとグリース状になり、作物栽培には困難が伴う。また、乾燥気候で降雨量が少なく、蒸発量が極端に多いために、地下水に溶け込んだ塩類が毛管現象で地表近くに移動して集積している。

山西省大同盆地は塩性土壌とアルカリ土壌が複雑に入り組んだ不良土壌地域になっており、場所によっては広大な未耕地(荒れ地)になっている。また、耕地の多くは天水に依存し、穀物生産の基盤が不安定である。

したがって、将来にわたるアルカリ土壌の改善は、作物生産と環境保全に対する要請の増大に対応するとともに、厳しい自然条件に依存している人々の安定した生活の確保という課題に対応しなければならない。この課題に対応するために、中国では、石膏等を使用した土壌の改良が行われてきたが、いまだに十分な成果が得られていない。

アルカリ土壌の改良には石膏が有効であることが知られているため、東京大学の定方教授らは、脱硫石膏がその土壌改良に利用できれば耕地面積の拡大に貢献できるうえ、脱硫装置導入のイン

センティブになることに着目し、1995年から中国遼寧省瀋陽市において試験を開始した。この試験は、環境庁地球環境研究総合推進費の砂漠化防止の一環として、工業技術院資源環境技術総合研究所から株式会社環境リサーチが受託して1997年まで行われ、脱硫石膏がアルカリ土壌改良に有効であることを確認した。

埼玉県は、1982年から続いている山西省との交流事業の一環として、同省の北部に広がる広大なアルカリ土壌地域の土壌改良に取り組み、同県試験場が開発した土壌改良資材(DS - 1997)の有効性を確認した。同県は、山西省との交流事業を継続・発展させるため、自治体提案型事業の可能性をJICAに打診してきた。

脱硫石膏のアルカリ土壌改良効果が技術的・経営的に実証されれば、アルカリ土壌地域における農業開発事業や脱硫装置の導入などの民間投資の促進が期待できる。同様に、DS - 1997の効果が実証されれば現地生産などへの支援と合わせた農業開発事業などの協力事業の推進に寄与すると考えられる。

このような認識の下、本現地実証調査が企画され、JICAは実施の可能性を検討するため、1999年11月に環境保全関連開発投融资促進調査団を山西省に派遣した。山西省には、我が国の通産省(当時)のグリーン・エイド・プランによる簡易型湿式脱硫装置の設置・運転に係る実証試験を電源開発株式会社が受託して1994年度から1998年度まで実施したので脱硫石膏の入手が容易であるうえ、埼玉県との共同研究の実績があった。同調査団と山西省政府関連機関は一連の協議を行い、当該実証調査の実施について合意した。その後、中国国家科学技術部から我が国へ要請書が提出されたことを受けて、2000年4月に派遣された計画打合せ調査団と山西省科学技術庁との間で討議議事録(R/D)の署名が行われ、2年間の予定で本現地実証調査が開始された。

2年間の調査の結果、脱硫石膏・DS - 1997は山西省大同盆地に分布するアルカリ土壌改良資材として効果があることが確認された。脱硫石膏は作物被害程度が重～極重度のアルカリ土壌で高い増収効果を示した。また、DS - 1997は塩性土壌とアルカリ土壌のいずれの作物被害程度でも増収効果を示した。しかし、中国産土壌改良資材の施用効果確認、両土壌改良資材の残効・連用効果の確認、土壌改良効果のメカニズム解明に関する裏づけデータの収集、作物被害程度別の適正施用量の確定など追加的な調査・試験の必要性が認められたことから、調査期間を約1年間延長した。

1 - 2 目 的

本現地実証調査の目的は、山西省のアルカリ土壌地域における農業開発事業の誘導及び脱硫装置導入等の民間投資の促進並びに土壌改良資材の現地生産等への支援と合わせた農業開発事業などの協力事業の推進に寄与するため、脱硫石膏・DS - 1997のアルカリ土壌改良効果を技術的・経営的に実証することであった。

第2章 実施体制

(1) 中国側

- 1) 山西省科学技術庁(庁長): 実証調査の実施についての総責任者(討議議事録(R / D)の署名者)。
- 2) 山西省農業科学院(院長): 実証調査の運営及び管理の責任者。
- 3) 山西省農業科学院土壤肥料研究所(所長): 副実施責任者及び技術責任者(実証調査の運営及び管理並びに技術的事項についての責任者)。
- 4) 山西省農業科学院土壤肥料研究所(調査・研究所員)

(2) 日本側

長期、短期専門家を派遣して、中国側に対して実証調査の実施方法等について、調整、技術協力、必要な提言及び助言を行った。また、日本国内には「国内推進委員会」を設置し、技術面で支援を行うとともに、毎年度の成果発表等に参加し、必要な提言等を行った。

1) 国内推進委員会構成メンバー

委員長	亀若 誠	(社) 農林水産技術情報協会 顧問
委員(土壤)	松本 聡	東京大学(土壤圏科学研究室) 教授
委員(肥料・植物栄養)	藤沼 善亮	(財) 日本肥料検定協会 理事長
委員(土壤改良)	日高 伸	埼玉県農業試験場 環境生物部 部長

(2000年6月～2001年3月)

委員(土壤改良)	高遠 宏	(財) 肥料科学研究所 常務理事
------------	------	--------------------

(2001年4月～2003年3月)

委員(脱硫石膏品質)	森下 政徳	電源開発(株) 国際事業部 IPP事業室 課長
委員(発電所副産物利用)	菅沼 浩敏	(財) 電力中央研究所 我孫子研究所 上席研究員

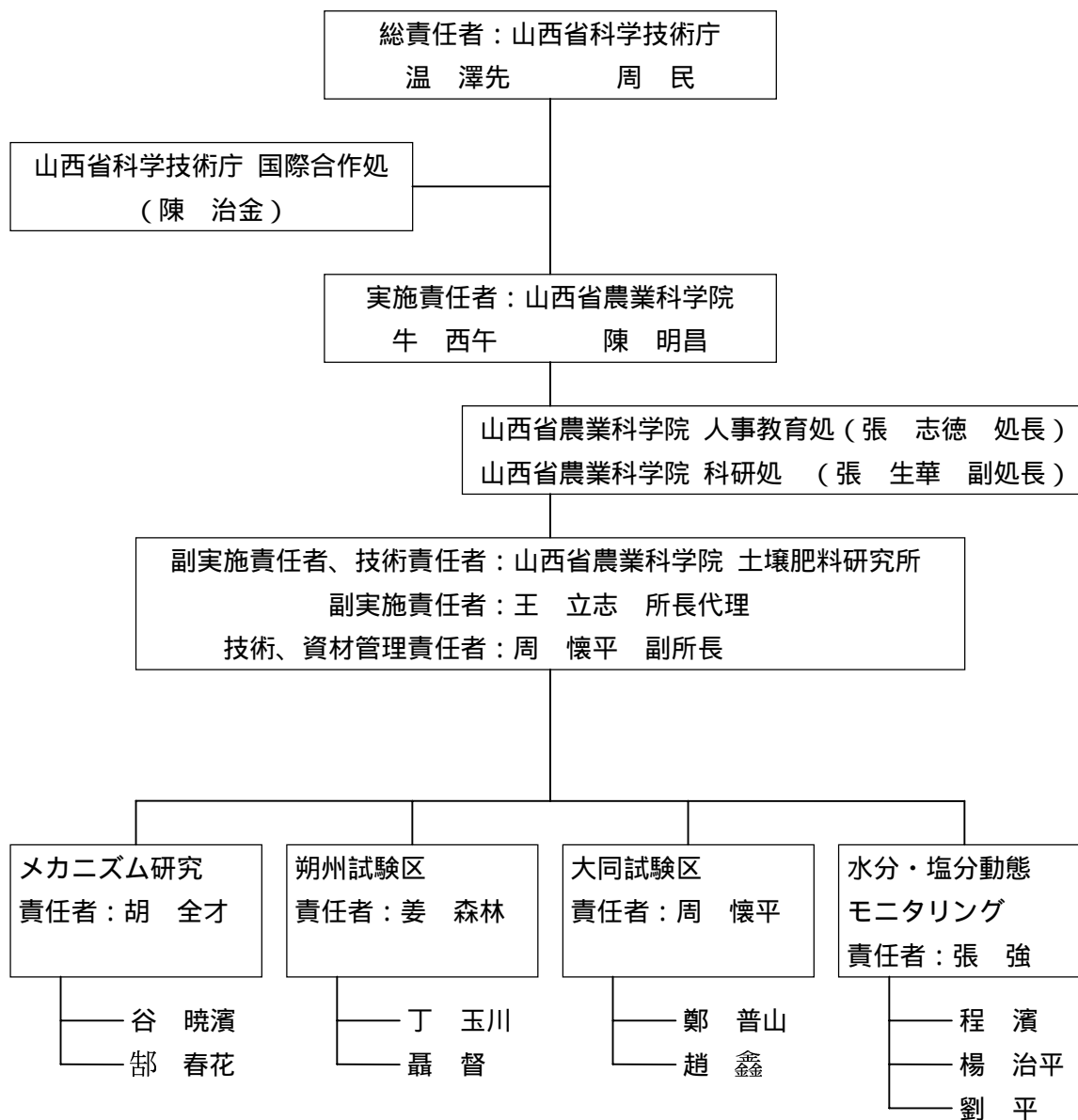
なお、各委員の所属先は、委員会設置当時による。

2) オブザーバー

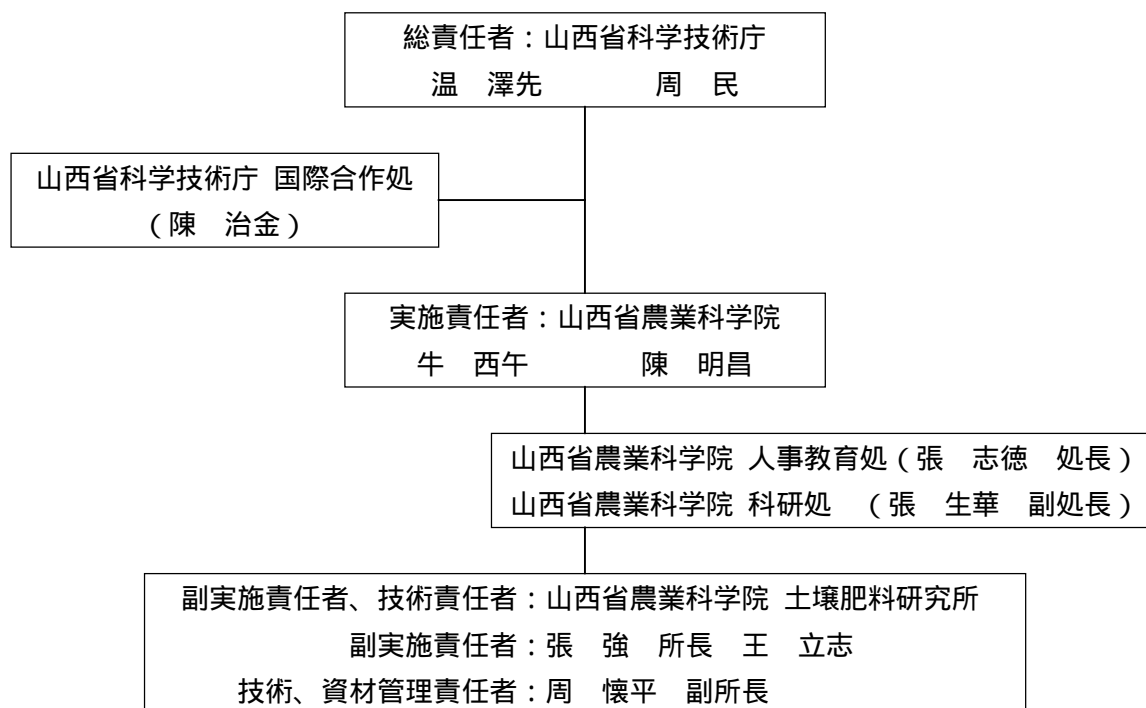
外務省 開発協力課
農林水産省 国際協力計画課
埼玉県農林部 農政課
埼玉県農業試験場
JICA担当課他

(3) 事業運営体制

日本・中国側双方の関係者の中で、毎月1～2回の定例会議及び毎週に技術者会議を開催し、短期・中期・長期の計画を作成して双方の意志疎通を図った。

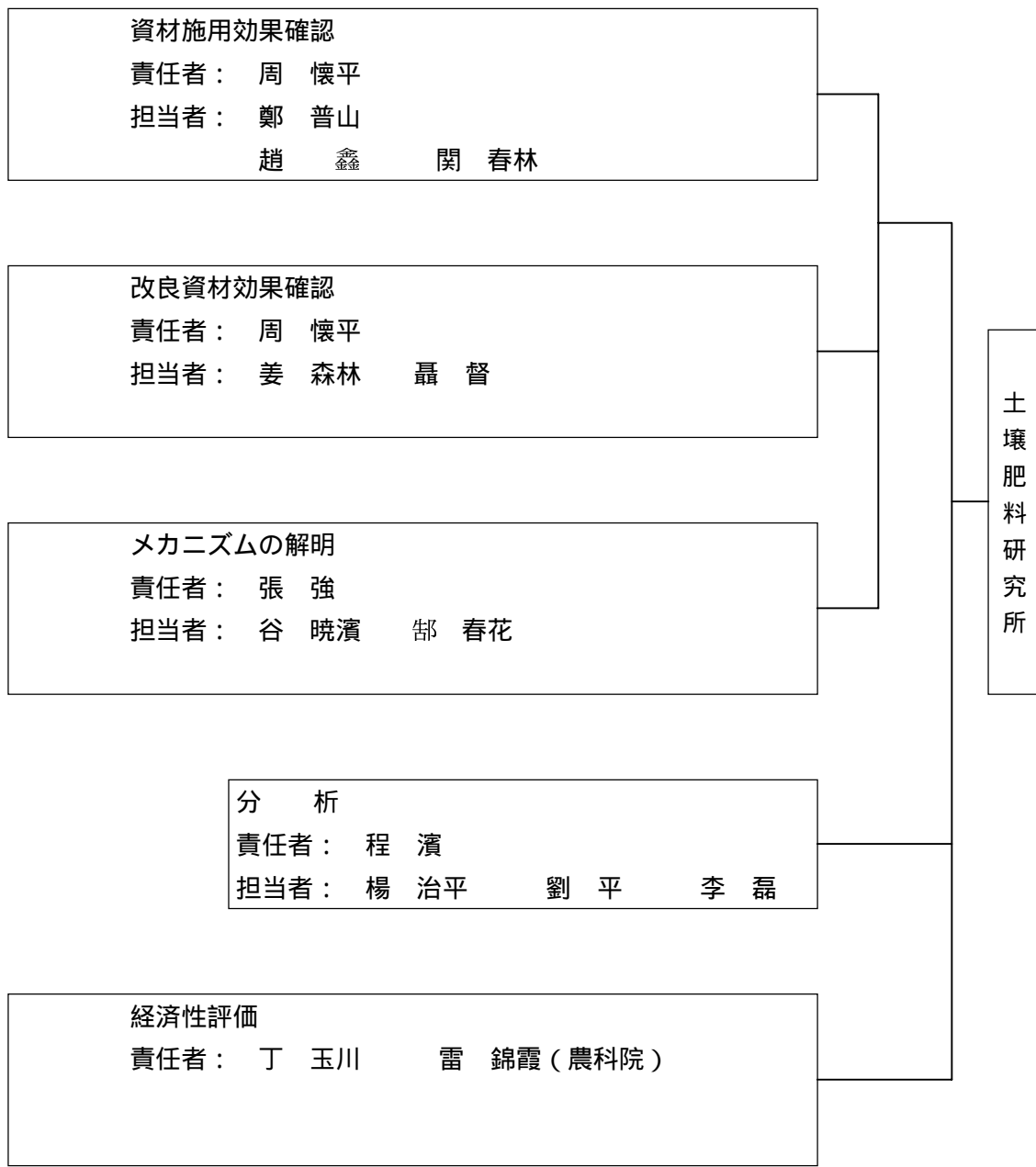


中国側実施体制一覽
(2000～2001年度)



圃場關係	：責任者 周懷平
メカニズムの解明	：責任者 張強
分析	：責任者 程濱
經濟性評價	：責任者 丁玉川

中国側実施体制一覽
(2002年度)



カウンターパート（C/P）業務所掌

第3章 実証調査の活動状況

3 - 1 専門家・カウンターパート(C/P)

3 - 1 - 1 専門家

(1) 長期専門家

担当分野	氏名	所属	期間
リーダー	須藤 高良	農林水産省	2001年9月7日～2003年4月17日
業務調整	叶 成洋	(株)JATACO	2000年6月26日～2003年4月17日
土壌肥料	日高 伸	埼玉県農林総合研究センター	2001年4月1日～2002年3月31日
作物栽培	惣慶 嘉	JICA国際協力総合研修所	2002年3月10日～2003年3月31日

(2) 短期専門家

担当分野	氏名	所属	期間
土壌肥料	日高 伸	埼玉県農林総合研究センター	2000年5月15日～2000年6月13日
作物栽培	吉田 宣夫	埼玉県農林総合研究センター	2000年6月26日～2000年7月15日
作物栽培	渡邊 耕造	埼玉県農林総合研究センター	2000年8月7日～2000年8月27日
土壌肥料	日高 伸	埼玉県農林総合研究センター	2000年9月5日～2000年10月3日
作物栽培	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター	2000年9月29日～2000年10月30日
土壌肥料	高遠 宏	(財)肥料科学研究所	2000年10月16日～2000年11月27日
作物栽培	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター	2001年1月12日～2001年1月20日
土壌肥料	日高 伸	埼玉県農林総合研究センター	2001年1月12日～2001年1月20日
広 報	駒沢 千鶴	無所属	2001年4月16日～2001年5月15日
作物栽培	渡邊 耕造	埼玉県農林総合研究センター	2001年5月27日～2001年6月22日
作物栽培	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター	2001年6月4日～2001年7月11日
広 報	駒沢 千鶴	無所属	2001年7月9日～2001年9月28日
経済性評価	橋本 吉之	(株)ブイ・エス・オー	2001年8月8日～2001年9月28日
機器分析	靱島 雅之	埼玉県農林総合研究センター	2001年8月26日～2001年10月6日
作物栽培	吉田 宣夫	埼玉県農林総合研究センター	2001年9月3日～2001年9月23日
作物栽培	加藤 徹	埼玉県農林総合研究センター	2001年9月16日～2001年10月31日
作物栽培	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター	2001年10月14日～2001年11月24日
作物栽培	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター	2002年3月1日～2002年3月16日
機材据付	藤川 健司	(株)大田計器製作所	2002年5月8日～2002年5月15日
作物栽培	吉田 宣夫	埼玉県農林総合研究センター	2002年6月10日～2002年7月8日
作物栽培	加藤 徹	埼玉県農林総合研究センター	2002年9月16日～2002年10月25日
作物栽培	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター	2002年10月7日～2002年11月15日
経済性評価	馬場 淳	太陽コンサルタンツ(株)	2002年10月7日～2002年3月16日
作物栽培	渡邊 耕造	埼玉県農林総合研究センター	2002年10月28日～2002年12月5日

3 - 1 - 2 C/Pの配置

(1) 総括分野

担当分野	氏 名	所 属	期 間
全体総括責任	陳 明昌	山西省農業科学院 副院長	2000年4月～2000年11月
全体総括副責任	王 立志	土壤肥料研究所 書記	2000年4月～2003年3月
全体総括責任	張 強	土壤肥料研究所 所長	2000年4月～2003年3月
技術責任	胡 全才	土壤肥料研究所 副所長	2000年4月～2001年5月
技術責任	周 懷平	土壤肥料研究所 副所長	2000年4月～2003年3月

(2) 基礎試験分野

担当分野	氏 名	所 属	期 間
分野責任	胡 全才	土壤肥料研究所 副所長	2000年4月～2001年5月
ポット試験	谷 曉濱	土壤肥料研究所 副研究員	2000年4月～2002年4月
ポット試験	郜 春花	土壤肥料研究所 副研究員	2000年4月～2003年3月

(3) 現地圃場試験分野

担当分野	氏 名	所 属	期 間
分野責任	周 懷平	土壤肥料研究所 副所長	2000年4～2003年3月
圃場調査・試験	姜 森林	土壤肥料研究所 研究員	2000年4～2003年3月
圃場調査・試験	丁 玉川	土壤肥料研究所 副研究員	2000年4～2003年3月
圃場調査・試験	鄭 普山	土壤肥料研究所 副研究員	2000年10～2003年3月
圃場調査・試験	聶 督	土壤肥料研究所 技術員	2000年10～2003年3月
圃場調査・試験	趙 鑫	土壤肥料研究所 技術員	2000年10～2001年12月

(4) 土壤変動分析調査分野

担当分野	氏 名	所 属	期 間
分野責任	程 濱	土壤肥料研究所 副研究員	2000年4～2003年3月
調査・分析	楊 治平	土壤肥料研究所 研究員補佐	2000年4～2003年3月
調査・分析	劉 平	土壤肥料研究所 研究員補佐	2000年4～2003年3月
調査・分析	李 磊	土壤肥料研究所 研究員補佐	2002年3～2003年3月

(5) 経済性評価分野

担当分野	氏 名	所 属	期 間
分野責任	丁 玉川	土壤肥料研究所 副研究員	2001年6月～2002年12月
調 査	雷 錦霞	総合考察研究所 研究員補佐	2002年10月～2003年12月

3 - 2 C/Pの研修

2000年4月～2002年9月(全4回・全13名)

(1) 2000年12月13～22日(4名)

温 澤先 山西省科学技術庁 庁長
劉 惠民 山西省農業科学院 副院長
張 志徳 山西省科学技術庁 人事教育処 処長
王 立志 山西省科学技術庁 土壤肥料研究所 書記兼副所長

研修実施機関：埼玉県農林総合研究センター、農林水産省農業研究センター、他

研修科目：土壤改良技術

(2) 2001年3月2～23日(3名)

胡 全才 山西省科学技術庁 土壤肥料研究所 副所長
姜 森林 山西省科学技術庁 土壤肥料研究所 研究員
張 強 山西省科学技術庁 土壤肥料研究所 副研究員

研修実施機関：埼玉県農林総合研究センター

研修科目：機器分析、作物栽培

(3) 2001年11月24日～12月22日(3名)

陳 明昌 山西省農業科学院 副院長
周 懷平 山西省科学技術庁 土壤肥料研究所 副所長
谷 曉濱 山西省科学技術庁 土壤肥料研究所 副研究員

研修実施機関：埼玉県農林総合研究センター、電力中央研究所、朝日工業、他

研修科目：機器分析、作物栽培

(4) 2002年8月15日～9月13日(3名)

程 濱 山西省農業科学院 土壤肥料研究所 実験室長 副研究員
楊 治平 山西省農業科学院 土壤肥料研究所 副研究員
鄭 普山 山西省農業科学院 土壤肥料研究所 研究員補佐

研修実施機関：埼玉県農林総合センター、電力中央研究所、他

研修科目：分析技術、生育調査

3 - 3 各種会合

3 - 3 - 1 合同委員会の実施状況

第1回委員会：2001年6月26日・太原市

概要：2000年度年次報告書の検討

第2回委員会：2002年3月12日・太原市

概要：2001年度年次報告書の検討と延長期間中の調査計画協議

第3回委員会：2003年3月5日・太原市

概要：2002年度年次報告書の検討と終了時合同評価

3 - 3 - 2 成果公表等の実施状況

(1) 本実証調査の成果発表 2001年6月28～30日

・太原セミナー

場所：山西大酒店 参加人数：75名

・大同現地検討会

場所：応県、懷仁県、山陰県 参加人数：80名

・北京セミナー

場所：亮馬川飯店 参加人数：35名

(2) 2002年度本実証調査中間成果発表会 2002年8月29日～9月1日

・太原セミナー

場所：山西省科技会展中心 参加人数：60名

・大同現地検討会

場所：応県、懷仁県、山陰県 参加人数：85名

(3) 本実証調査の終了時成果発表会 2003年3月6日

・太原セミナー

場所：銭江飯店 参加人数：115名

3 - 4 調査団

3 - 4 - 1 本実証調査期間前

(1) 1999年11月15～22日 環境保全関連開発投融資促進調査

担当分野	氏名	所属
総括	澤田 清	JICA農林水産開発調査部 計画課 課長
協力企画	島田 嘉幸	農林水産省 経済局 国際協力計画課 管理係長
土壌肥料	日高 伸	埼玉県農業試験場 環境生物部 部長
業務調整	荻原 秀彦	JICA農林水産開発調査部 農林業投融資課 課長代理

(2) 2000年2月24日～3月6日 土壌サンプリング調査

担当分野	氏名	所属
土壌分析	高遠 宏	(財)肥料科学研究所 常務理事
農業開発	島田 嘉幸	農林水産省 経済局 国際協力計画課 管理係長

(3) 2000年3月15～22日 環境保全関連開発投融資促進調査

担当分野	氏名	所属
総括	須藤 高良	農林水産省 経済局 国際協力計画課 協力企画官
協力企画	荻原 秀彦	JICA農林水産開発調査部 農林業投融資課 課長代理
自治体協力	大塚 一雄	埼玉県農林部農政課 副参事
試験計画	日高 伸	埼玉県農業試験場 環境生物部 部長

(4) 2000年4月16～21日 計画打合せ(R/D調印)

担当分野	氏名	所属
総括	大橋 達雄	埼玉県農林部 部長
協力政策	上野 栄作	外務省 経済協力局 開発協力課 開発投融資班 班長
協力企画	満永 俊典	農林水産省 経済局 国際協力計画課 海外技術協力官
自治体協力	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター 副所長
試験計画	藤田 耕朗	埼玉県農林総合研究センター 企画情報室 室長
業務調整	清水 勉	JICA農林水産開発調査部 農林業投融資課

3 - 4 - 2 本実証調査期間中

(1) 2001年2月26日～3月2日 計画打合せ

担当分野	氏名	所属
総括	星野榮太郎	埼玉県農林総合研究センター 所長
協力企画	廣瀬 勝士	農林水産省 総合食料局 国際協力課 課長補佐
自治体協力	相崎 浩	埼玉県農林部 農政課 主査
試験計画	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター 副所長
脱硫石膏	森下 政徳	電源開発(株) 国際事業部 コンサルタント事業室 課長
投資環境	村尾 一	(社) 海外農業開発協会 第二事業部 課長
運営管理	清水 勉	JICA農林水産開発調査部 農林業投融資課

(2) 2001年6月24～30日 作業監理

担当分野	氏名	所属
総括	亀若 誠	(社) 農林水産技術情報協会 理事長
協力企画	河野 方彦	農林水産省 総合食料局 国際協力課 海外技術協力官
土壌改良	高遠 宏	(財) 肥料科学研究所 常務理事
脱硫石膏品質	森下 政徳	電源開発(株) 国際事業部 コンサルタント事業室 課長
発電所副産物利用	菅沼 浩敏	(財) 電力研究所 我孫子研究所 応用生物部 上席研究員
投資環境	村尾 一	(社) 海外農業開発協会 第二事業部 課長
運営管理	清水 勉	JICA農林水産開発調査部 農林業投融資課

(3) 2002年3月10～15日 計画打合せ

担当分野	氏名	所属
総括	芦澤 和郎	農林水産省 総合食料局 国際部国際協力課 海外技術協力官
土壌改良	高遠 宏	(財) 肥料科学研究所 常務理事
脱硫石膏利用	菅沼 浩敏	(財) 電力研究所 我孫子研究所 応用生物部 上席研究員
試験計画	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター 副所長
運営管理	清水 勉	JICA農林水産開発調査部 農林業投融資課

(4) 2003年3月2～8日 計画打合せ(終了時評価)

担当分野	氏名	所属
総括	亀若 誠	(社) 農林水産技術情報協会 理事長
協力企画	窪田 修	農林水産省 総合食料局 国際部国際協力課 課長補佐
土壌改良	高遠 宏	(財) 肥料科学研究所 常務理事
脱硫石膏利用	菅沼 浩敏	(財) 電力研究所 我孫子研究所 応用生物部 上席研究員
自治体協力	大塚 一雄	埼玉県農林総合研究センター 副所長
運営管理	清水 勉	JICA農林水産開発調査部 農林業投融資課

3 - 5 予 算

予算の執行状況

現地実証調査活動経費執行状況は、以下のとおりとなっている。

(単位：人民元(RMB)・レート：1元/15円)

年 度	日本側	中国側	年度計
2000	364,216	700,000	1,064,216
2001	782,880	840,000	1,622,880
2002	881,480	1,000,000	1,881,480
計(元)	2,02,857	2,540,000	4,568,576
計(円)	30,428,640	38,100,000	68,528,640

3 - 6 供与機材・基盤整備等

本実証調査の供与資機材・基盤整備等状況は、以下のとおりとなっている。

(単位：万円)

供与資機材・基盤整備				
本邦調達分	現地調達分	携行機材	改良資材	圃場灌漑等整備
8,500万円	4,150万円	820万円	1,950万円	240万円
合計：15,660万円				

第4章 山西省のアルカリ土壌の概要

4 - 1 山西省の地勢及びアルカリ土壌の概況

山西省は黄河の中流、黄土高原の東部、華北平原の西側に位置し、北は外長城を境にして内モンゴル自治区と接している。西は黄河を隔てて陝西省と相對し、東南と南は太行山を背にして河北省と河南省につながっている。境界の輪郭は平行四辺形を呈し、東西長は約380km、南北長は680km、総面積15万6,300km²、人口約3,272万人である(2002年、山西統計年鑑)。

山西省の地勢は東北から南西に傾斜している。省境の東と西にそれぞれ太行山と呂梁山があり、両山の間には大小の盆地が形成されている。そのうち、大同盆地が5,000km²と最大の面積を有し、忻定盆地が2,000km²程度で一番小さい。全省の河川は地勢の影響を受けて、黄河水系と海河水系に分かれている。中部の汾河、西部の昕水河、三川河、朱家河等が黄河水系に属し、北部の桑干河、南洋河、東部の滹沱河、東南部の清、濁漳等は海河水系に属している。

これらの盆地は、河流沈殿物が堆積し、地勢は平坦で灌漑水を有し、山西省の主要な農業基地となっている。しかし、これらの盆地は塩類が集積しやすく大面積でアルカリ化が進み、農作物の生産を阻害している。山西省でのアルカリ土壌の形成要因は、乾燥した気候に起因する土壌からの激しい水分蒸発、水の浸透が少ないなどの多種要因の総合的作用によるものである。塩類の集積程度は気候、地形、地下水、土壌母材で異なり、植生や耕作管理に影響を与えている。

4 - 2 アルカリ土壌の分布と面積(内表紙地図参照 - 山西省資料による)

山西省では地勢、気候、地形、母材、地下水位、地下水の硬度、植物の被覆度、耕作管理等の影響を受け、大面積の土地にアルカリ土壌が形成された。現在のアルカリ土壌の総面積は30万200haであり、主として平坦地にみられ、桑干河、南洋河、滹沱河、汾河、涑水河の河床の低い平原に多く分布する。そのうちの28万1,100haが大同、忻定、晋中、運城の4大盆地に集中し、全省アルカリ土壌の93%を占める。全省のアルカリ土壌類型は塩性アルカリ土壌(塩碱潮土)、アルカリ土壌(碱化潮土)及び塩性土壌(草甸塩土とアルカリ性塩土)に分けられるが、このうち塩性アルカリ土壌が25万8,700haとその大部分を占める。その他、アルカリ土壌が1万5,200ha、塩性土壌2万6,300haで、塩性土壌のうち草甸塩土が1万4,500ha及びアルカリ性塩土が1万1,800haとなっている(表4 - 1)。潮土とは「耕作湿草地土(Cultivated meadow soils)または耕作河成土(Cultivated fluviogenic soils)」といわれ、耕作に由来した塩類土壌である。

表4 - 1 山西省に分布するアルカリ土壌の面積（万ha）

塩性アルカリ土壌	アルカリ土壌	塩 土	
		草甸塩土	アルカリ性塩土
25.87	1.52	1.45	1.18

(1) 塩性アルカリ土壌

塩性アルカリ土壌は、主に大同、天鎮、忻定、晋中、臨汾、运城盆地の各大河の1級、2級低地に分布する。表層の塩類含量は一般的に0.2~0.8%と高く、特に表層0~5cmで顕著である。山西省の塩性アルカリ土壌には硫酸塩塩性土(硫酸塩塩化潮土)、塩化物塩性土(塩化物塩化潮土)、ソーダ型塩性土(ソーダ型塩化潮土)、混合塩性土(混合塩化潮土)の4つのタイプがある。それぞれの面積を表4 - 2に示す。

表4 - 2 山西省に分布する塩性アルカリ土壌のタイプ別面積（万ha）

硫酸塩塩性土	塩化物塩性土	ソーダ型塩性土	混合塩性土
13.14	1.96	9.75	1.02

1) 硫酸塩塩性土

この土壌は早春の塩類上昇期に、地表に白い粉状又は針のような霜状の様子がみられることから、「白毛塩化土」とも呼ばれ(CaSO_4 に由来)、山西省の塩性アルカリ土壌の総面積の50.8%にあたる13万1,400haを占める。この土壌では塩類の洗脱が比較的容易であるため、圃場での作物への被害は比較的軽い。

2) 塩化物塩性土

この土壌はナトリウムの強い吸湿性により、地表に湿気があり、黒褐色を呈することから、「黒油塩化土」とも呼ばれ(NaCl に由来)、塩性アルカリ土壌の総面積の7.5%にあたる1万9,600haを占める。この土壌は土壌構造が不良で、作物被害が顕著である。

3) ソーダ型塩性土

この土壌の地表に集積する塩類は尿黄色を呈することから、「馬尿碱」ともいう。総面積は9万7,500haで、主に大同、忻定盆地の1級低地と沖積扇状地に分布する。この土壌は塩類含量が高く、アルカリ度も強いために、作物被害が顕著である。

4) 混合塩性土

総面積は1万200haで、所々に小さく点在し、天鎮県、陽高盆地の1級低地と河床の低い場所及び忻定盆地の滹沱河の沿いの両側に分布している。

(2) アルカリ土壌

アルカリ土壌の総面積は1万5,300haで、天鎮、陽高、大同、懷仁等の河床流域の1級低地と河床の低い場所に点在するほか、運城地区の平坦で低い沖積地に分布している。この土壌の地表は茶色の馬尿碱斑を呈し、土壌の耕耘性が悪い。土壌中のナトリウムイオン含量が多く、容積重は $1.4 \sim 1.7 \text{gcm}^{-3}$ と大きく、pH値は $8.5 \sim 11.0$ 、可溶性塩類含量が $0.065 \sim 0.216\%$ である。また、土壌のアルカリ度が $15 \sim 30\%$ と高く、作物の発芽に悪影響を及ぼしている。

(3) 塩土

塩土は塩類集塩過程で形成される主要な土壌類型である。0~20cm深の塩類組成はナトリウムまたは硫酸ナトリウムを主体とし、塩類含量は1%以上、ソーダ型の塩類含量は0.6%以上に達する。全省の塩土は2万6,300haであるが、そのうち大同盆地で1万7,500haを占め、すべてが荒地で、天鎮、陽高、大同、懷仁、山陰、朔城、応県など7つの県区に分布する。塩土は草甸塩土と碱化塩土(アルカリ性塩土)の2種類に分類される。

1) 草甸塩土

草甸塩土は普通塩土とも呼ばれ、地下水位は通常1~2mである。土壌塩類はナトリウムと硫酸塩を主体とし、0~20cm深の表層土壌の全塩量は1%を超える。全省の草甸塩土の総面積は1万4,500haであるが、大同盆地に最も多く分布し(3,800ha)、全体の約4分の1を占める。表土に大量の塩類が集積し、耐塩性植物以外は生育しにくい。

2) 碱化塩土

碱化塩土の土壌塩類は硫酸塩を主体とし、0~20cm深の表層土壌の塩含量は0.6%以上で草甸塩土より低いが、土壌のアルカリ度が強く、pHは9以上である。面積は1万1,800haで、桑干河流域と南洋河流域の大同盆地に集中的に分布する。碱化塩土は CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 含量が高く、交換性 Na^+ は20%以上であり、土壌粘土の分散性が高く土壌物理性が極めて劣悪であるため、植物は顕著に少なく、大部分は灰色の堅い禿地で利用や改良が困難である。

4 - 3 大同盆地の塩性・アルカリ土壌の概要

山西省大同盆地のアルカリ土壌地域は、地質的には第三紀から第四紀の風成堆積物及び河湖成堆積物(一部崩積も含む)で、主として、カルシウム、マグネシウム、ナトリウムの多い片麻岩、玄武岩、石灰岩などや黄土物質が母材となっている。また、地下水位も比較的浅く(約1~2.5m)、地下水は重炭酸ナトリウムや炭酸ナトリウムを多量に含有し、高アルカリ性となっている。これらの要因などにより、大同盆地には各種の塩性・アルカリ土壌が分布している。

2000年10~11月(本実証調査の1年目の栽培試験終了後)に大同盆地の各県に分布する本現地実

証調査試験地において、各県の代表土壌断面調査を実施し、土壌の分類とアルカリ性程度を検討した。

表4 - 3に土壌断面調査の実施地点、調査地点の地質、0～150cm深土壌の平均pH値、EC値及び可溶性塩類の組成とそれらの濃度を示した。大同盆地のアルカリ土壌は、断面調査の結果、pH値は大部分の調査地点で全層が8.5以上のアルカリ反応を示した。EC値(電気伝導度)は、示した分析値では1:5法で測定したために低くなっているが、塩類土壌の指標となっている水飽和抽出液のEC値(EC_e 値)に換算するとかなり高くなる地点もあった。アルカリ土壌の指標となる土壌の交換性ナトリウムの占める割合(ESP)が測定できなかったことから、塩類土壌の分類を行うのは困難であったが、pH値、EC値、土壌内の可溶性塩類の分布状況及び土壌断面観察による土壌構造発達状況から各断面の土壌を分類した。

表4 - 4に土壌断面調査の実施地点及び土壌分類を示した。土壌分類は国際連合食糧農業機関(FAO)、国際土壌照合センター(ISRIC)、国際土壌科学会議(ISSS)で提出された世界土壌照合基準1998(World Reference Base for Soil Resources: WRB)を使用し、それに対応する中国土壌系統分類(1999)を併記し、調査結果から認められた土壌タイプについて考察した。

この分類基準によると、アルカリ反応が強い土壌で、下層土の土壌構造が発達し、柱状構造を呈する場合にはソロネツツ土壌(Solonetztes、アルカリ土壌)となるが、土壌断面調査地点ではそのほとんどが壁状構造か弱度の角塊状・亜角塊状構造を示し、B層の発達の少ないA - C型のまだ若い土壌であった。したがって、本現地実証調査の試験実施地域の土壌は、その大部分がソロネツツ的性質も混入したアルカリ型ソロンチャック土壌(アルカリ - 塩性土壌)であると判断された。

表4-3 大同盆地に分布する各県の代表的試験圃場の地質、0-150cm深の平均pH値、EC値及び可溶性塩類の組成と濃度

調査地	地質	pH	EC mS cm ⁻¹	meq 100g ⁻¹								特記事項など
				Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻		
1 渾源县 什義号郷 西辛庄村 唐四妮圃場	沖積(崩積性河成堆積物)	9.3	0.28	0.57	1.88	1.31	0.36	0.94	-	0.40	EC: 60cm深まで0.4ms cm ⁻¹	
2 渾源县 什義号郷 西辛庄村 張志鉄圃場	沖積(崩積性河成堆積物)	8.7	0.19	0.56	2.45	8.05	0.38	0.89	-	0.37	pH: 下層に向かって高	
3 大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤南側圃場	沖積(河成堆積物)	10.0	0.23	0.66	0.99	1.35	0.19	0.92	0.06 ¹⁾	0.32		
4 大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤北側圃場	沖積(河成堆積物)	9.5	0.26	0.54	0.92	1.20	0.31	0.92	-	0.30	pH・EC: 下層に向かって高	
5 大同県 党留庄郷 謙鋪村 高寛城路地	風成堆積物(河成堆積物)	8.7	0.13	0.45	0.95	1.94	0.31	0.88	-	0.26		
6 天鎮県 三十里鋪鎮 劉家庄村 熊正圃場	風成堆積物(河成堆積物)	9.6	0.36	0.76	1.85	1.79	0.33	1.06	0.03 ²⁾	0.29	pH: 上層に向かって高	
7 陽高県 龍泉鎮 八里台村 四甲地	風成堆積物	8.9	0.26	0.56	2.38	3.30	0.24	1.77	-	2.48		
8 陽高県 龍泉鎮 八里台村 二路橋西 張照圃場	風成堆積物(河成堆積物)	9.5	0.69	1.11	2.00	3.38	0.96	1.20	0.03 ³⁾	0.52	pH・EC: 42~85cm深で最大	
9 懷仁県 金沙灘鎮 南家堡村 甕場	風成堆積物	9.3	0.29	0.58	1.24	1.66	0.18	1.35	0.04 ⁴⁾	0.52	pH: 上層に向かって高	
10 懷仁県 金沙灘鎮 南家堡村 大棚西	風成堆積物	9.4	0.50	0.81	1.63	2.00	0.85	1.45	-	0.31	pH: 上層に向かって高	
11 懷仁県 金沙灘鎮 塩豊峯村 張慶圃場	風成堆積物	9.2	0.19	0.59	1.81	2.51	1.09	1.32	-	0.36		
12 懷仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇偉圃場	風成堆積物	9.5	0.19	0.55	0.95	1.23	0.38	1.38	-	0.35		
13 応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場	風成堆積物	9.6	0.21	0.66	1.62	1.79	0.32	1.50	-	0.32		
14 応県 応県農業局農場 トウモロコシ良種場	風成堆積物(河成堆積物)	10.0	1.09	0.99	0.67	1.01	1.19	1.95	0.12 ⁵⁾	0.29		
15 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 朱文貴圃場	風成堆積物(河成堆積物)	9.4	0.80	0.91	1.04	2.22	0.49	1.70	-	0.37	pH: 下層に向かって高	

注)

1) 13~20cm深のみ検出; 0.28.

2) 10~24、24~32、32~50cm深のみ検出; それぞれ0.07、0.05、0.12.

3) 42~85及び90~95cm深のみ検出; それぞれ0.12.

4) 0~2cm深のみ検出; 0.35.

5) 0~10及び23~60cm深のみ検出; それぞれ0.24及び0.35.

表 4-4 大同盆地に分布する各県の代表的試験圃場での断面調査に基づく土壌分類

調査地	土壌分類		アルカリ程度 他
	世界土壌照合基準 (WRB) 分類	中国土壌系統分類	
1 渾源県 什義号郷 西辛庄村 唐四妮圃場	Sodic-Hypersalic-Chloridic Solonchak	弱塩潮湿碱積塩成土	高アルカリ、高塩
2 渾源県 什義号郷 西辛庄村 張志鉄圃場	Gypsic-Calcic Solonchak	含硫潮湿正常塩成土	
3 大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤南側圃場	Sodic Solonchak	普通簡育碱積塩成土	高アルカリ
4 大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤北側圃場	Haplic Solonchak	普通潮湿正常塩成土	
5 大同県 党留庄郷 謙鋪村 高寛城路地	Haplic Solonchak	普通潮湿正常塩成土	
6 天鎮県 三十里鋪鎮 劉家庄村 熊正圃場	Sodic-Endosalic Solonchak	弱塩簡育碱積塩成土	高アルカリ、高塩
7 陽高県 龍泉鎮 八里台村 四甲地	Hypersalic Solonchak	弱塩潮湿正常塩成土	
8 陽高県 龍泉鎮 八里台村 二路橋西 張照圃場	Sodic-Hypersalic Solonchak	弱塩潮湿碱積塩成土	高塩
9 懷仁県 金沙灘鎮 南家堡村 費場	Sodic-Hypersalic Solonchak	弱塩潮湿碱積塩成土	高アルカリ、高塩
10 懷仁県 金沙灘鎮 南家堡村 大棚西	Sodic-Sulphatic-Hypersalic Solonchak	弱塩潮湿碱積塩成土	高アルカリ、高塩
11 懷仁県 金沙灘鎮 塩豊营村 張慶圃場	Hypersalic Solonchak	弱塩潮湿正常塩成土	
12 懷仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇偉圃場	Haplic Solonchak	普通潮湿正常塩成土	
13 応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場	Sodic-Hypersalic Solonchak	弱塩潮湿碱積塩成土	高塩
14 応県 応県農業局農場 トウモロコシ良種場	Sodic-Chloridic-Sulphatic-Hypersalic Solonchak	弱塩潮湿碱積塩成土	高アルカリ、高塩
15 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 朱文貴圃場	Sodic-Chloridic-Sulphatic-Hypersalic Solonchak	弱塩潮湿碱積塩成土	高塩

注)

WRBの照合土壌群コード：Solonchak (SC)。

WRBの土壌単位形容詞コード：Sodic (so)、Gypsic (gy)、Calcic (cc)、Hypersalic (szh)、Chloridic (cl)、Sulphatic (su)、Haplic (ha)、Endosalic (szn)。

第5章 試験地、試験内容及び結果の概略

5 - 1 試験地の概況

試験は拠点事務所(山西省農業科学院土壤肥料研究所)のある太原市から北方約500kmに位置する大同市を中心とした半径200km以内の天鎮県、陽高県、大同県、懷仁県、渾源県、応県、山陰県及び朔州区の8県区で実施され、試験課題ごとに塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌での作物被害程度別区分(軽・中・重・極重・甚)に応じた試験地(農家圃場・未耕地)を選定して行われた。2002年度に実施された「土壌改良資材の施用効果確認試験」は、大同県党留庄郷にある山西省農業科学院高寒区作物研究所の試験場(未耕地)を整備して実施された。各年度ごとの試験地及び試験概要を表5 - 1 a及び表5 - 1 b(2000年度)、表5 - 2 a~b(2001年度)及び表5 - 3(2002年度)に示した。

なお、本実証調査期間中の3か年の気象条件は、2000年度が乾燥年であったがほぼ平年並み、2001年度は大旱魃年、2002年は比較的多雨年となり、3か年とも異なる気象条件下で試験が実施された。

5 - 2 試験圃場数及び面積

(1) 第1期(2000~2001年度)の試験圃場数及び面積

1) 2000年度の試験圃場数及び実施面積は、施用効果確認試験12か所(約0.77ha)、連用・残効に関する試験2か所(約0.23ha)、土壌改良資材の成分改良に関する試験7か所(約0.46ha)、モデル試験17か所(約10.55ha)、土壌水分・塩分動態モニタリング試験5か所(試験地は、前記の試験地内)で、合計36か所(約12ha)であった。

2) 2001年度の試験圃場数及び実施面積は、施用効果確認試験11か所(約0.39ha)、連用・残効に関する試験5か所(約1.21ha)、土壌改良資材の成分改良に関する試験6か所(約0.19ha)、土壌改良資材の施用時期に関する試験1か所(約0.07ha)、モデル試験35か所(約20.67ha)、土壌水分・塩分動態モニタリング試験3か所(約0.05ha)で、合計60か所(約22.57ha)であった。

(2) 第2期(2002年度)の試験圃場数及び面積

1) 2002年度の試験圃場数及び実施面積は、資材の施用効果確認試験3か所(面積約0.3ha)、連用・残効に関する試験1か所(1.2ha)、土壌改良資材の施用方法に関する試験3か所(1.3ha)、モデル試験11か所(約4.2ha)、残効調査4か所(3.05ha)で、合計22か所(約10.05ha)であった。

表5 - 1a 2000年度の試験地及び試験概要 その1 (資材の施用効果確認試験)

試験地	試験課題	試験対象資材	供試作物(品種)	作物被害程度	試験面積 (m ²)
1 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 魏官圃場	施用効果確認試験	脱硫石膏	ヒマワリ (晋葵3号)	甚度	1,000.5
2 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	施用効果確認試験	脱硫石膏	トウモロコシ (晋単35号)	重度	1,000.5
3 大同県 党留庄郷 謙鋪村 城路地区 高寛圃場	施用効果確認試験	脱硫石膏	トウモロコシ (晋単34号)	中度	480.0
4 渾源県 什義号郷 西辛庄村 赤土地帯 張志鉄圃場	施用効果確認試験	脱硫石膏	トウモロコシ (晋単42号)	中度	480.0
5 土壤肥料研究所 網室 (ポット試験)	施用効果確認試験	脱硫石膏	アワ (晋谷21号)	中度	3.3
6 土壤肥料研究所 網室 (土柱試験)	メカニズムの解明	脱硫石膏	キビ (晋品2号)	中度	2.4
脱硫石膏の施用効果確認試験 小計					2,966.7
7 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 魏官圃場	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単35号)	極重度	1,200.6
8 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単35号)	重度	1,200.6
9 応県 北曹山郷 段賚村 張良高瓦窯地	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (烟単14号)	極重度	504.0
10 渾源県 什義号郷 西辛庄村 赤土地帯 張志鉄圃場	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	中度	600.0
11 渾源県 什義号郷 西辛庄村 赤土地帯 穆二明圃場	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重度	600.0
12 大同県 党留庄郷 謙鋪村 城路地区 高寛圃場	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	中度	600.0
13 土壤肥料研究所 網室 (土柱試験)	メカニズムの解明	DS - 1997	キビ (晋品2号)	中度	2.4
DS - 1997の施用効果確認試験 小計					4,707.6
14 懐仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇幅堂圃場	連用・残効に関する試験	DS - 1997	テンサイ (ドイツ単粒種)	重度	1,120.0
15 懐仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇世和圃場	連用・残効に関する試験	DS - 1997	テンサイ (ドイツ単粒種)	中～重度	1,200.0
残効・連用に関する試験 小計					2,320.0
16 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 瓷廠柵西	土壌改良資材の成分改良	DS - 1997 + 風化石炭 他	トウモロコシ (晋早12号)	重～極重度	216.0
17 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 瓷廠柵西3号地	土壌改良資材の成分改良	DS - 1997 + 風化石炭 他	トウモロコシ (晋早12号)	重～極重度	225.0
18 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	土壌改良資材の成分改良	代替硫黄	トウモロコシ (晋単35号)	極重度	800.4
19 懐仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇子官圃場	土壌改良資材の成分改良	代替硫黄	アワ (沁州黄)	甚度	2,025.0
20 応県 北曹山郷 段賚村 張良高圃場	土壌改良資材の成分改良	DS - 1997 + 風化石炭 他	トウモロコシ (烟単14号)	重～極重度	638.4
21 大同県 党留庄郷 謙鋪村	土壌改良資材の成分改良	脱硫石膏 + 風化石炭 他	トウモロコシ (晋単34号)	中度	720.0
22 土壤肥料研究所 網室 (ポット試験)	土壌改良資材の成分改良	代替硫黄	トウモロコシ (晋単34号)	中度	0.4
土壌改良資材の成分改良に関する試験 小計					4,625.2
資材の施用効果確認試験 合計					14,619.5

表5 - 1b 2000年度の試験地及び試験概要 その2（アルカリ土壌の作物被害程度別モデル実証試験及び土壌水分・塩分動態モニタリング）

試験地	試験課題	試験対象資材	供試作物（品種）	作物被害程度	試験面積（m ² ）
23 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単35号）	重度	17,000
24 山陰県 薛園圃郷 西寺院村 雷青宝圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単35号）	極重度	11,000
25 山陰県 薛園圃郷 西寺院村 雷成龍圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単29号）	極重度	
26 朔州城区 賈庄郷 西小寨村 吳躍富南地	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（陝高農1号）	中度	9,000
27 応県 北曹山郷 陳国忠圃場	モデル試験	DS - 1997	キビ（雁北黍子2号）	軽度	1,000
28 応県 北曹山郷 吳仁金圃場	モデル試験	DS - 1997	アワ（晋谷2号）	軽度	1,000
29 渾源県 什義号郷 西辛庄村 張志鉄道路北側・張志堅圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	6,000
30 渾源県 什義号郷 西辛庄村 張勝徳圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	中度	7,000
31 天鎮県 三十里鋪鎮 劉家庄村 劉正圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	中度	6,500
32 天鎮県 三十里鋪鎮 劉家庄村 劉有金圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	6,000
33 天鎮県 三十里鋪鎮 劉家庄村 劉志強圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	6,000
34 陽高県 龍泉鎮 八里台村 張成圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	6,000
35 陽高県 龍泉鎮 八里台村 王効圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	6,000
36 陽高県 龍泉鎮 八里台村 張永發圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	4,000
37 陽高県 龍泉鎮 八里台村 登富圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	中度	4,000
38 大同県 党留庄郷 謙鋪村 高寛三柁地	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	7,000
39 大同県 党留庄郷 謙鋪村 呂国梁南嶺地	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ（晋単34号）	中度	8,000
モデル試験 小計					105,500
40 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 魏官養豚場西側	土壌水・塩分動態モニタリング	DS - 1997 他		軽度	不明
41 応県 北曹山郷 陳国忠圃場	土壌水・塩分動態モニタリング	DS - 1997・脱硫石膏	キビ（雁北黍子2号）	中度	1,000
42 応県 北曹山郷 吳仁金圃場	土壌水・塩分動態モニタリング	DS - 1997・脱硫石膏	アワ（晋谷2号）	中度	1,000
43 渾源県 什義号郷 西辛庄村 赤土地帯 張志鉄圃場	土壌水・塩分動態モニタリング	DS - 1997・脱硫石膏	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	1,080
44 大同県 党留庄郷 謙鋪村 城路地区 高寛圃場	土壌水・塩分動態モニタリング	DS - 1997・脱硫石膏	トウモロコシ（晋単34号）	軽度	1,080
土壌水分・塩分動態モニタリング 小計（ただし、No.40を除き他の試験と同一圃場で実施）					4,160
2000年度試験面積 合計					120,119.5

表5 - 2a 2001年度の試験地及び試験概要 その1 (資材の施用効果確認試験)

試験地	試験課題	試験対象資材	供試作物(品種)	作物被害程度	試験面積(m ²)
1 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 磁器廠西3号地	施用効果確認試験	脱硫石膏	ヒマワリ (晋葵6号)	重度	384.0
2 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西側2号土地	施用効果確認試験	脱硫石膏	トウモロコシ (晋単29号)	重度	384.0
3 応県 北曹山郷 段賽村 段仁成 圃場	施用効果確認試験	脱硫石膏	ヒマワリ (晋葵6号)	重度	384.0
4 渾源县 什義号郷 西辛庄村 康家地 王学智圃場	施用効果確認試験	脱硫石膏	トウモロコシ (晋単34号)	中度	384.0
5 土壤肥料研究所 網室(ポット試験)	メカニズムの解明	脱硫石膏	トウモロコシ (晋単42号)		1.4
脱硫石膏の施用効果確認試験 小計					1,537.4
6 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 磁器廠西3号地	施用効果確認試験	DS - 1997	ヒマワリ (晋葵6号)	重度	384.0
7 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 ハウス西2号地	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重度	384.0
8 応県 北曹山郷 段賽村 段仁成圃場	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重度	384.0
9 渾源县 什義号郷 西辛庄村 農牧場地	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重度	390.0
10 渾源县 什義号郷 西辛庄村 農牧場地	施用効果確認試験	DS - 1997	ヒマワリ (晋葵6号)	重度	390.0
11 大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤圃場	施用効果確認試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重度	390.0
12 土壤肥料研究所 網室(土柱試験)	メカニズムの解明	DS - 1997 他	トウモロコシ (晋単42号)		8.0
DS - 1997の施用効果確認試験 小計					2,330.0
13 懐仁県 金沙灘鎮 張慶圃場	残効・連用に関する試験	DS - 1997 他	テンサイ (ドイツ単粒種)		2,178.0
14 懐仁県 金沙灘鎮 張慶圃場	残効・連用に関する試験	脱硫石膏 他	テンサイ (ドイツ単粒種)		2,178.0
15 懐仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇世和圃場	残効・連用に関する試験	DS - 1997	テンサイ (ドイツ単粒種)		6,600.0
16 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 大柵西1号土壤	残効・連用に関する試験	DS - 1997 他	トウモロコシ (晋単34号)		216.0
17 渾源县 什義号郷 西辛庄村 張志鉄圃場	残効・連用に関する試験	DS - 1997・脱硫石膏	トウモロコシ (晋単34号)		960.0
連用・残効に関する試験 小計					12,132.0
18 土壤肥料研究所 網室(ポット試験)	土壤改良資材の成分改良	代替有機物	トウモロコシ (中単2号)		2.2
19 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	土壤改良資材の成分改良	代替有機物	トウモロコシ (中単2号)		288.0
20 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 工場の西3号土壤	土壤改良資材の成分改良	代替硫黄	ヒマワリ (晋葵6号)		390.0
21 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 大柵西2号土壤	土壤改良資材の成分改良	代替硫黄	トウモロコシ (晋単29号)		390.0
22 応県 北曹山郷 段賽村 段成仁圃場	土壤改良資材の成分改良	代替硫黄	トウモロコシ (晋単34号)		390.0
23 渾源县 什義号郷 西辛庄村 康家地 王学智	土壤改良資材の成分改良	代替硫黄	トウモロコシ (晋単34号)		390.0
土壤改良資材の成分改良に関する試験 小計					1,850.2
24 渾源县 什義号郷 西辛庄村 農牧場地	土壤改良資材の施用時期	DS - 1997・脱硫石膏	トウモロコシ (晋単34号)		667.0
資材の施用効果確認試験 合計					18,516.6

表 5 - 2b 2001年度の試験地及び試験概要 その2 (資材の施用効果確認試験)

試験地	試験課題	試験対象資材	供試作物(品種)	作物被害程度	試験面積 (m ²)
25 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 薛希貴圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重度	5,100
26 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張鳳山圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単42号)	重度	16,000
27 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 楊文堂圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	中度	2,400
28 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 賈二明圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (中単2号)		4,000
29 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 賈三明圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単24号)		5,700
30 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重度	8,000
31 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張輝圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単24号)		6,700
32 懐仁県 金沙灘鎮 南家堡村 工場西の3号土壌	モデル試験	DS - 1997	ヒマワリ (晋葵6号)		1,300
33 懐仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 劉保明圃場	モデル試験				
34 懐仁県 金沙灘鎮 田庄村 蘇偉圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (玉単4号)		8,000
35 応県 北曹山郷 段賽村 張貴文圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (戸単4号)	極重度	2,200
36 応県 北曹山郷 段賽村 張貴文圃場	モデル試験	DS - 1997	ピーマン		1,800
37 応県 北曹山郷 段賽村 楊顯勝圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (戸単4号)	中度	4,300
38 応県 北曹山郷 段賽村 郝成家圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (戸単4号)	極重度	2,300
39 応県 北曹山郷 段賽村 張良高圃場	モデル試験	DS - 1997・脱硫石膏	トウモロコシ (戸単4号)	極重度	4,000
40 応県 北曹山郷 段賽村 張良高圃場	モデル試験	DS - 1997	ヒマワリ (晋葵6号)		5,300
41 応県 北曹山郷 石庄村 劉志利圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (戸単4号)	軽度	6,600
42 応県 農業局農場 胡応圃場	モデル試験	DS - 1997	ヒマワリ (晋葵6号)	重度	20,300
43 大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重度	20,300
44 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 朱文貴圃場	モデル試験	DS - 1997	ヒマワリ (晋葵6号)		2,000
45 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 王英圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (陝単3911号)		4,300
46 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 郭文才圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (陝単3911号)		4,300
47 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 白玉徳圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単30号)		2,500
48 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 白玉軍圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単30号)		2,700
49 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 王登富圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単30号)		2,000
50 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 応登雲圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (陝単3911号)		2,000
51 山陰県 薛園圖郷 西寺院村 雷青宝圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (農大3138号)	極重度	2,700
52 山陰県 薛園圖郷 西寺院村 雷成龍圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (太単30号)	極重度	2,700
53 山陰県 薛園圖郷 西寺院村 雷世忠圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (太単30号)		6,700

表5 - 2c 2001年度の試験地及び試験概要 その3 (作物被害程度別モデル実証試験及び土壌水分・塩分動態モニタリング)

試験地	試験課題	試験対象資材	供試作物(品種)	作物被害程度	試験面積(m ²)
54 山陰県 薛園圃郷 西寺院村 劉志喜圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単35号)		3,200
55 朔州城区 賈庄郷 西小寨村 吳躍富南側圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (陝単3911号)	中度	4,000
56 朔州城区 賈庄郷 西小寨村 吳躍富西側圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (戸単4号)	軽度	5,300
57 渾源县 什義号郷 西辛庄村 康家地 王学智圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重~極重度	8,000
58 天鎮県 三十里鋪鎮 劉家庄村 劉存恩圃場	モデル試験	DS - 1997 他	トウモロコシ (晋単34号)	極重度	18,000
59 陽高県 龍泉鎮 八里台村 張徳宏圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単34号)	重~極重度	12,000
モデル試験 小計					206,700
60 渾源县 什義号郷 西辛庄村 唐四妮圃場	土壌水分・塩分動態モニタリング	DS - 1997 他	トウモロコシ (晋単34号)	中度	240
61 応県 北曹山郷 段宅村 張銀高圃場	土壌水分・塩分動態モニタリング	DS - 1997 他	トウモロコシ (晋単34号)	中度	480
62 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 朱文貴圃場	土壌水分・塩分動態モニタリング	DS - 1997 他	ヒマワリ (晋葵6号)	中度	240
土壌水分・塩分動態モニタリング 小計(ただし、No.61を除き他の試験と同一圃場で実施)					960
2001年度試験面積 合計					225,696.6

表5 - 3 2002年度の試験地及び試験概要

試験地	試験課題	試験対象資材	供試作物(品種)	作物被害程度	試験面積(m ²)
1 大同県 党留庄郷 党留庄村 高寒区作物研究所 試験圃借地	国産改良資材の施用効果確認	中国産土壌改良資材	トウモロコシ (晋単24号)	新規開墾地	480
国産改良資材の施用効果確認試験 小計					480
2 大同県 党留庄郷 党留庄村 高寒区作物研究所 試験圃借地	施用効果確認試験	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (晋単24号)	新規開墾地	1,280
3 大同県 党留庄郷 党留庄村 高寒区作物研究所 試験圃借地	施用効果確認試験	DS - 1997・脱硫酸膏	ヒマワリ (晋葵6号)	新規開墾地	1,280
施用効果確認試験 小計					2,560
4 懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張慶圃場	残効・連用	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (晋単34号)	重度	12,000
残効・連用に関する試験 小計					12,000
5 大同県 党留庄郷 党留庄村 高寒区作物研究所 試験圃借地	モデル実証試験(施用方法)	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (晋単24号)	新規開墾地	4,000
6 応県 北曹山郷 段養村 段仁成圃場	モデル実証試験(施用方法)	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (晋単24号)	重度	4,000
7 懷仁県 毛家皂鎮 原種圃場	モデル実証試験(施用方法)	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ(冀承単3号)	中度	5,000
モデル実証試験(施用方法) 小計					13,000
8 懷仁県 毛家皂鎮 原種圃場	モデル試験	中国産土壌改良資材	トウモロコシ(冀承単3号)	中度	4,840
9 大同県 党留庄郷 党留庄村 高寒区作物研究所 試験圃借地	モデル試験	中国産土壌改良資材	トウモロコシ (晋単24号)	新規開墾地	12,500
10 懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 薛希貴圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (晋単24号)	重度	5,332
11 懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張鳳山圃場	モデル試験	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (戸単4号)	重度	2,664
12 懷仁県 金沙灘鎮 塩豊営村 張鳳山圃場	モデル試験	脱硫酸膏	クロマメ (在来品種)	極重度	2,664
13 応県 北曹山郷 段養村 段仁成圃場	モデル試験	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (晋単24号)	重度	1,665
14 応県 北曹山郷 段養村 段元樹圃場	モデル試験	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (京早10号)	重度	1,665
15 応県 北曹山郷 段養村 段仁平圃場	モデル試験	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (陝高1号)	重度	2,000
16 応県 北曹山郷 段養村 張貴文圃場	モデル試験	DS - 1997	トウモロコシ (戸単4号)	極重度	2,667
17 応県 北曹山郷 段養村 劉保全圃場	モデル試験	DS - 1997・脱硫酸膏	トウモロコシ (晋単24号)	中度	2,667
18 山陰県 山陰城鎮 劉継成圃場	モデル試験	DS - 1997・脱硫酸膏	ヒマワリ (星火1号)	極重度	3,330
モデル試験 小計					41,994
19 大同県 党留庄郷 謙鋪村 楊維坤圃場	残効調査(追加分)	DS - 1997	キビ (不明)	重度	10,000
20 陽高県 龍泉鎮 八里台村 張徳宏圃場	残効調査(追加分)	DS - 1997	トウモロコシ (不明)	中度	12,000
21 天鎮県 三十里圃鎮 劉家庄村 熊正圃場	残効調査(追加分)	DS - 1997	トウモロコシ (不明)	中度	6,500
22 山陰県 山陰城鎮 西塩池村 王登富圃場	残効調査(追加分)	DS - 1997	ヒマワリ (不明)	重度	2,000
残効追加調査 小計					30,500
2002年度試験面積 合計					100,534

5 - 3 試験内容及び試験結果の概略

5 - 3 - 1 脱硫石膏・DS - 1997の施用効果確認試験

(1) 脱硫石膏の品質確認調査

脱硫石膏の品質及び含有成分の変動を明らかにするため、その排出元である山西省電力公司太原第一熱電所から定期的に脱硫石膏を採取し、日本で依頼分析を行った。試料の採取は1999年11月及び2000年2月に予備試験を行った後、2000年4月から9月までは月1回、10月からは月2回とした。分析は硫黄、カルシウム等の一般成分及び水銀等の重金属成分の含有量について行った。分析は2000年度で終了予定であったが、水銀含有量で日本の環境基準値を超えた値が検出されたため、2002年3月まで継続して実施した。

表5 - 4 a ~ cに脱硫石膏の成分分析の結果を示す。分析結果から硫黄(2000/2001年度の平均含有量はそれぞれ16.1%及び12.9%)、カルシウム(同23.1%及び25.0%)などの一般成分及び重金属の含有量の年間変動が明らかとなった。特に懸念された水銀濃度は、2000年は 2.38 ± 0.52 ppm(平均値 \pm 標準偏差)、2001年は 2.20 ± 0.74 ppmで推移した。この値は中国の環境基準値のうち、アルカリ土壌での農業利用汚泥の最大許容濃度である15ppm以下である。また、フッ素は兩年とも1,500ppm前後で推移したが、フッ素に関する中国の環境基準値はまだ設定されていない。

(2) 脱硫石膏の施用効果確認基礎試験(作物生育・収量について)

山西省北部に広範に分布する塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の改良資材として、脱硫石膏の利用が可能か否かを明らかにすることを目的として、山西省農業科学院土壌肥料研究所の網室内でのポット試験及び圃場試験を実施した。

ポット試験では水・塩分移動などの点で圃場試験とは大きく異なるが、作物被害程度が重～極重のアルカリ土壌に脱硫石膏 $22,500\text{kg ha}^{-1}$ を施用すると出芽・苗立率が向上し、生育量が増大したことから土壌改良資材としての利用が可能であると判断した。しかし、 $30,000\text{kg ha}^{-1}$ (土壌の2%)の施用では生育抑制がみられた。

脱硫石膏の施用量確認に関する圃場試験は、2000年度は懷仁県、大同県、渾源県の3県4圃場(ただし討議議事録(R/D)外)、2001年度では懷仁県、応県、渾源県の3県4圃場、2002年度では大同県の2圃場で実施された。その結果、作物被害程度が重～極重度のソーダ型アルカリ土壌で施用効果が高いことが明らかとなった。具体的には $22,500 \sim 30,000\text{kg ha}^{-1}$ の施用で供試作物(トウモロコシ・ヒマワリ)の出芽・苗立率の向上による生育個体数の増加、及び初期生育量の増大が確認され、おおむね対照区の1.2～1.5倍程度の収量増加が期待できることが明らかとなった。しかし、塩化物塩や硫酸塩を主体とする塩性アルカリ土壌では出芽不良や生育抑制が観察された。特に $30,000\text{kg ha}^{-1}$ 以上の多量施用では、ポット試験と同様に、生育抑制を助長させ、収量を減ずる圃場もあった。

表5 - 4 a 2000/2001年度に採取した脱硫石膏に含まれる重金属とその含有量
(各年ともn = 12)

	mg/100g 全量分析											
	Cd (ppm)	Hg (ppm)	As (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)	F (ppm)	Se (ppm)	Co (ppm)	Al (%)
2000年度												
Mean	3.73	2.38	1.59	11.5	16.5	46.1	13.7	11.3	1461	38	4.79	0.347
SD	0.47	0.52	0.39	8.8	4.3	7.0	2.0	1.9	343	12	1.02	0.073
SE	0.135	0.150	0.113	2.54	1.25	2.02	0.59	0.55	99	3.4	0.295	0.0209
2001年度												
Mean	8.9	2.20	1.58	16.5	45.3	112	36.8	33.3	1539	98	18.8	0.44
SD	1.6	0.74	0.49	7.8	8.8	18	10.1	4.8	596	28	3.8	0.11
SE	0.47	0.212	0.143	2.25	2.55	5.1	2.90	1.38	172	8.1	1.10	0.031

表5 - 4 b 2000/2001年度に採取した脱硫石膏に含まれる肥料成分とその含有量
(各年ともn = 12)

	mg/100g 全量分析											
	C (%)	N (%)	P (mg)	K (mg)	Ca (%)	Mg (mg)	Na (mg)	Fe (mg)	Mn (mg)	Mo (mg)	B (mg)	S (%)
2000年度												
Mean	1.00	0.00	8.2	46	23.1	281	129	394	2.71	0.80	3.1	16.1
SD	0.61	0.00	2.7	17	1.1	87	29	72	0.62	0.16	1.9	1.3
SE	0.176	0.00	0.77	5.0	0.32	25.1	8.3	20.8	0.180	0.047	0.54	0.39
2001年度												
Mean	1.87	0.00	16.6	108	25	223	75	282	5.7	2.28	5.5	12.9
SD	0.84	0.004	8.6	48	11	46	32	113	4.5	0.42	1.7	1.8
SE	0.241	0.001	2.48	13.8	3.1	13.2	9.1	33	1.30	0.122	0.49	0.53

表5 - 4 c 2000/2001年度に採取した脱硫石膏の水溶性成分とその含有量
(各年ともn = 12)

	mg/100g 水抽出1:5											
	Cd (ppm)	Al (ppm)	P (mg)	K (mg)	Ca (%)	Mg (mg)	Na (mg)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	B (ppm)	S (%)
2000年度												
Mean	0.062	20.48	0.122	0.88	0.309	5.8	4.01	0.088	0.73	0.187	1.57	0.230
SD	0.023	1.00	0.017	0.47	0.026	1.8	0.86	0.038	0.38	0.047	0.48	0.013
SE	0.0067	0.290	0.0049	0.135	0.0076	0.51	0.249	0.0109	0.110	0.014	0.138	0.0039
2001年度												
Mean	0.137	7.5	0.161	1.84	0.309	5.1	6.2	0.34	0.39	0.54	1.47	0.242
SD	0.060	8.8	0.061	0.72	0.012	2.2	2.2	0.13	0.25	0.15	0.38	0.024
SE	0.0173	2.55	0.0175	0.207	0.004	0.64	0.63	0.039	0.073	0.042	0.109	0.0071

(3) DS - 1997の施用効果確認試験(作物生育及び収量について)

本現地実証調査の開始前より実施されていた埼玉県の間省交流事業を通じて、既に一部の土壌で施用効果が確認されているDS - 1997について、塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の各作物被害程度別にその施用効果を実証するため、トウモロコシとヒマワリを供試作物として試験が実施された。DS - 1997の原材料とその配合割合を表5 - 5に示す。試験は2000年度では懐仁県、応県、渾源県、大同県の4県5圃場、2001年度は同4県6圃場、及び2002年度は大同県の2圃場で実施された。

その結果、塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の両タイプの土壌の作物被害程度が中～極重度の各圃場で、供試作物の出芽・苗立率の向上、初期生育の促進、生育・収量の増加が認められた。また、DS - 1997の施用効果が安定的に発現する施用量は、両土壌タイプ及び作物被害程度中～極重度のいずれにおいてもおおむね2,250kg ha⁻¹であり、対照区の1.5倍程度の収量増加が期待できることが明らかとなった。また、一部の試験圃場では2,250kg ha⁻¹の施用で対照区の9倍(以前は未耕地：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)という爆発的な増収効果も観察された。

表5 - 5 DS - 1997の原材料とその配合割合

	原材料	配合割合	特記事項
* 1	硫黄華(純度99.9%)	40.00	硫黄の形状：1～8mmの粒状
2	腐植酸	26.90	
3	硫酸第一鉄	2.00	
4	硫酸マンガン	0.50	
5	硼砂	0.30	
6	硫酸亜鉛	0.20	
7	硫酸銅	0.10	
8	モリブデン酸アンモニウム	0.003	
9	米糠	30.00	

*：本邦では消防法第2条の危険物第2類に該当

5 - 3 - 2 両土壌改良資材の残効・連用に関する試験(作物生育・収量について)

現地の農家経営に見合う両土壌改良資材の経済的、かつ効率的な施用方法を明らかにすることを目的として、トウモロコシ・テンサイに対する脱硫石膏・DS - 1997の残効及び連用について検討した。

脱硫石膏の残効・連用試験は2001/2002年度に、2000年以後に施用された3圃場(トウモロコシ2圃場、テンサイ1圃場)を対象として調査を行った。DS - 1997では県・省交流事業で施用した圃場(1999年施用)も含め、2000年度から調査を開始した。しかし、作物被害程度の異なる圃

場ごとの調査圃場数が不足したこと、3作目の残効調査はDS - 1997を施用した1圃場でしか実施できなかったことなどの課題が残った。

残効は、作物被害程度中～重度の塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌のいずれにおいても、両土壌改良資材ともに1作目の標準施用量である $22,500\text{kg ha}^{-1}$ (脱硫石膏)及び $2,250\text{kg ha}^{-1}$ (DS - 1997)の施用で、2作目に対照区比で1.1～1.3倍程度の収量の増加が期待できることが明らかとなった。作物間ではテンサイがトウモロコシより残効による収量の増加が大きい傾向がみられた。

連用による作物収量の増加は、概して単年施用よりも良好であったが、単年施用や残効区よりも減収となった圃場もみられたことなどから、今後も継続して各地域の土壌の性質及び栽培環境を把握しながら調査を実施していくことが必要である。

5 - 3 - 3 アルカリ土壌の作物被害程度別モデル実証試験(作物生育・収量について)

山西省北部の農家圃場を対象として、塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌に対する作物被害程度別(軽・中・重・極重・甚)に圃場を選定し、両土壌改良資材を標準量施用し(脱硫石膏： $22,500\text{kg ha}^{-1}$ 、DS - 1997： $1,500\text{kg ha}^{-1}$ (2000年)、 $2,250\text{kg ha}^{-1}$ (2000～2002年))、現地の主要作物を供試して、農家の慣行栽培レベルでの施用効果を確認することを目的とした。

実施圃場は作物被害程度別に、2000年度は天鎮県、陽高県、大同県、懷仁県、応県、渾源県、山陰県、及び朔城区の8県区の17圃場(約 10.55ha)、2001年度は同8県区の35圃場(約 20.67ha)、2002年度は大同県、懷仁県、応県、山陰県の4県の9圃場(約 2.46ha)で、主としてトウモロコシを供試して脱硫石膏・DS - 1997の施用効果を展示実証した。また、渾源県の1圃場(2001年度)、懷仁県の1圃場(2002年度)でDS - 1997の秋施用の効果を春施用のそれと比較した。さらに、2002年度にはこれらの試験に加えて、施用量の節減を目的(農家の経済性に寄与)とした畝施用試験を大同県、懷仁県及び応県の3圃場で実施し、全面施用との比較を行った。

その結果、脱硫石膏の $22,500\text{kg ha}^{-1}$ の施用によって作物被害程度重～極重度のアルカリ土壌で、出芽・苗立率の向上による増収が確認され、対照区比でおおむね1.3倍程度の増収がみられた。しかし、生育中期には栄養生長に関する形質に生長の停滞がみられた。また、塩性アルカリ土壌では生育抑制もみられた。

DS - 1997の標準施用量では塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の各作物被害程度別圃場において、出芽・苗立率の向上と生育促進効果が大きく、各県区で増収が実証され、おおむね1.3～1.5倍程度の増収がみられた(1圃場では4.1倍(極重度の圃場で対照区収量は $1,181\text{kg ha}^{-1}$)という増収効果もあった)。

作物被害程度が重～極重度の圃場では脱硫石膏とDS - 1997の混合施用の効果が期待できることも示唆された。

収量に対する秋施用の効果は、2001年度では春施用に比べて顕著に良好であったが、2002年度では春施用と同等程度であった。全面施用と畝施用の比較試験では、播種位置と資材施用溝位置を一致させることの意志疎通が欠け、大同県、懷仁県では単なる条施用となった。しかし、両圃場ともに全面施用との差はみられなかった。また、播種位置直下に施用した応県の圃場では有意差はみられないものの畝施用でやや増収した。

5 - 3 - 4 中国産土壌改良資材の開発と施用効果

様々なタイプの塩類土壌で施用効果の確認されているDS - 1997を中国国内に普及させるためには(DS - 1997は本邦で製造・調達後、中国に搬入) その施用コストが莫大となるため、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て、2000 / 2001年度に「土壌改良資材の成分改良に関する試験(代替硫黄及び代替有機物)」を土壌肥料研究所内でのポット、圃場(懷仁県・応県)で実施した。表5 - 6にDS - 1997から硫黄を除いた「無硫DS - 1997」の原材料とその配合割合を示す。

調査の結果、DS - 1997中の無機成分は山西省内で調達でき、特にDS - 1997の主要成分の1つである硫黄(99%粉末)も日本産と同等の効果があること、有機物には米糠の代替物としてフルフラール滓(トウモロコシの芯を希硫酸処理し、蒸留後に残った滓)、酢滓及びキノコ栽培床土の未利用資源が利用可能であることが判明した。現地調達原料で試作したDS - 1997類似資材(代替硫黄)は、圃場試験では、「無硫DS - 1997(1,350kg ha⁻¹)+硫黄(900kg ha⁻¹)」で最大収量が得られた。

表5 - 6 無硫DS - 1997に含まれる原材料とその配合割合

	原材料	配合割合	特記事項
1	硫黄華	0	
2	腐植酸	44.90	
3	硫酸第一鉄	3.30	
4	硫酸マンガン	0.80	
5	硼 砂	0.50	
6	硫酸亜鉛	0.30	
7	硫酸銅	0.20	
8	モリブデン酸アンモニウム	0.005	
9	米 糠	50.00	

2002年度には、中国産土壌改良資材1号(DS - 1997と同原材料・配合割合)及び中国産土壌改良資材2号(国産改良資材1号の原材料のうち硫黄を脱硫石膏に含まれる硫黄で代替した)の2種

類の中国産土壌改良資材を試作し、大同県の党留庄試験圃場でその効果確認試験及び比較的大面積での効果実証試験を実施した。両中国産土壌改良資材の原材料とその配合割合を表5 - 7に示す。試験の結果、両中国産土壌改良資材ともにDS - 1997と同等か、それ以上の施用効果が認められた。

以上のことから、資材の施用効果の観点からは中国産土壌改良資材1号・2号の中国での製造と利用が可能であると判断された。

5 - 3 - 5 土壌水分・塩分動態のモニタリング

塩性アルカリ土壌・アルカリ土壌の生成過程及びその要因の解析、土壌水分、土壌塩類の鉛直方向の季節的動態を明らかにすることを目的として、現地圃場で作期を通して定期的に地下水及び土壌調査を実施した。あわせて脱硫酸石膏・DS - 1997の両土壌改良資材が土壌の理化学性に及ぼす影響についてのデータ収集も行った。

2000年度は懐仁県、応県、渾源県、大同県の4県、2001年度は渾源県、応県、山陰県の3県の両土壌改良資材を施用した農家圃場において、栽培期間中におよそ1か月間隔(5～10月)で土壌の水分含量、pH値、EC値、陽・陰イオン含量とその組成、及び物理性等のモニタリングを実施した。2002年度は土壌改良資材の施用効果メカニズムの解明を課題に含めて既存データの解析とともに、圃場試験を活用して土壌及び水質の分析を行った。

その結果、作期中の地下水位及び土壌水分の動態がいくつかの地域で明らかとなった。地下水位は場所によって異なり、懐仁県金沙灘鎮、渾源県裴村郷及び山陰県山陰城鎮では1～2m、大同県党留庄郷では2m前後で推移した。土壌水分含量は、概して0～60cm深では季節的な変動が大きかったが、60cm深以下での変化は小さかった。

脱硫酸石膏・DS - 1997施用区の土壌水分、pH値、EC値、両イオン含量の鉛直分布は、調査時期や試料採取地点によって変動が大きく、一定の傾向はみられなかった。また、脱硫酸石膏・DS - 1997の施用により、作土のpHの低下が確認され、これに伴う置換性ナトリウムの減少が確認された。

降雨と土壌水分含有量の関係を2002年度に気象測器を設置した大同県党留庄郷の試験圃場でみると、土壌水分含有量、特に表層土壌の含水量は比較的小雨であった4月～5月では低く、定期的に降雨のあった6月～7月に土壌水分含有量は上昇し、降雨にばらつきが大きかった8月には再び低下した。土壌の塩類含量の変化をEC値の変化でみると、5月～10月にかけて低下する傾向がみられ、降水量との関係はみられなかった。

表5 - 7 中国産土壤改良資材1号・2号の原材料とその配合割合

原材料	中国産土壤改良 資材1号配合割合	中国産土壤改良 資材2号配合割合
1 硫黄華（純度99%、粉状）	40.00	
2 脱硫石膏		71.30
3 腐植酸	26.90	12.87
4 硫酸第一鉄	2.00	0.23
5 硫酸マンガン	0.50	0.14
6 硼 砂	0.30	0.09
7 硫酸亜鉛	0.20	0.06
8 硫酸銅	0.10	0.03
9 モリブデン酸アンモニウム	0.003	0.001
10 米糠	30.00	14.33

塩性アルカリ土壤・アルカリ土壤の生成過程及びその要因の解析については、一筆圃場内の塩分布が極めて不均一であること、プロジェクトの期間内では分析試料数が限定されたことなどからそれらの解析は不完全となり、明らかにすることは困難であった。

5 - 3 - 6 施用効果のメカニズム解明

脱硫石膏・DS - 1997の施用効果発現のメカニズムを明らかにするために、2000/2001年度に山西省農業科学院土壤肥料研究所の網室でのポット試験や各県区で実施された試験圃場の土壤、植物体を採取し、その成分分析を実施して作物の生育や収量などと施用効果のメカニズムを関連づけて検討した。また、経時的に地下水位や土壤の水・塩分動態を追跡調査したモニタリング調査の結果等も斟酌した。2002年度には前2か年のデータの解析とともに大同県、応県試験地のデータを中心とし、他の圃場のデータも活用して不足データの補完に努めた。

これらの結果、山西省北部に分布する塩性アルカリ土壤・アルカリ土壤での低収要因は、主として高塩類濃度に起因する出芽障害と苗立数不足による生育個体数不足及び特定養分の吸収不足や過剰吸収による生理・生育障害であることが確認された。

作物被害程度が重～極重度の圃場での脱硫石膏の施用効果である出芽・苗立率の増加に伴う増収は主として、土壤pHの低下(平均1程度)、土壤物理性の改善、及び高pHアルカリ土壤で不足している微量元素(脱硫石膏に含まれる硫黄・鉄・亜鉛・マンガン等)の供給などにより作物生育を総合的に改善できた結果であると考えられる。しかし、脱硫石膏の施用により、EC値が上昇(1～2 dS m⁻¹程度)することが明らかとなり、処理前のEC値が高い塩性アルカリ土壤での生育抑制や減収の原因となると推察された。

DS - 1997の効果発現は主として、pHの低下(平均0.5程度)、DS - 1997に多量に含まれる

有機物による土壌緩衝能の改善、及び DS - 1997に含まれる微量要素の供給によるものと考えられた。これらの効果により出芽・苗立率の向上、初期生育の促進、生育・収量の増加が得られると推察できる。

5 - 3 - 7 経営収支及び投資環境

(1) 2001年度

2001年度に両土壌改良資材の利用について、農家経営収支の観点からの経済性評価を実施した。具体的には両土壌改良資材の普及活動の参考とするための資材の評価、問題点及び投資環境について明らかにすることを目的として、試験調査対象7県の農家に対するアンケート調査と農家経済性調査を実施した。また、関係機関での聞き取り調査、既存の統計資料・文献も加味して実施された。

この結果、現状の原材料供給能力を考慮すると、年間450t程度の改良資材の現地生産が可能であることが判明した。農家はこの資材を購入することが可能で、資材施用により農家1戸当たり約3,000元(11.5%)の所得向上が見込まれた。農家に対するアンケート調査では、これまでに改良資材を使用したほとんどすべての農家が施用効果に満足しており、継続使用を望んでいることも明らかとなった。また、改良資材未使用の農家であっても、その大多数が改良資材の導入に極めて積極的な意向を示しており、改良資材の普及に対する期待感は大いだと判断された。

(2) 2002年度

土壌改良資材(脱硫石膏・DS - 1997)の利用について、農業と農家経営のポテンシャル及び土壌改良資材の効果を基に、経済性の面から評価した。またあわせて、土壌改良資材の中国国内生産の可能性についても調査・検討した。

土壌改良資材の残効程度によって経済評価も大きく変わる可能性がある。本現地実証調査では残効調査期間が短いために経済性効果の検討は困難を極めた。しかし、本現地実証調査終了時点での検討をまとめると以下のように整理される。

1) 脱硫石膏

経済評価からみた場合、脱硫石膏の普及には幾つかの問題がある。前2か年(2000～2001年度)の実証試験結果から検討すると、土壌改良効果は農家に便益をもたらすことが認められる。しかし、1ha当たりの使用コストが約1,700元と高く、農家の負担能力を大きく超えるものとなる。また運用上の問題として、1ha当たりの扱い量が25～30tとかさむことは、運送だけでなく、施用、保存のうえでも農家にかなりの負担を強いることになる。

一方、将来的には、環境問題が国の重要な課題となり、すべての火力発電所に脱硫装置が整備されるといった本格的な対策が取られるようになれば、図5 - 1に示すように各火力発電所の半径50km円内にアルカリ土壌地域の約80%が入ることから、供給が需要を大きく超え、大量に脱硫石膏が生まれることも想定される。そのような状況になれば、むしろ発電所あるいは重化学工場などでは、脱硫石膏の廃棄場所に困ることも想定され、アルカリ土壌地帯において活用される道も生まれるものと考えられる。

また、本現地実証調査での脱硫石膏の残効調査年数が2年であったことから、3年目以降の残効調査をカウンターパート(C/P)の自助努力によって行い、経済性効果を再検討する必要があると考えられる。

2) DS - 1997

前2か年(2000~2001年度)までの実証試験の結果を経済的に評価すると極重度被害土壌のケースを除き、経済的にもDS - 1997は効果があるものと評価できる。しかし、検討結果は一様ではない。農家の希望価格は、700~800元 ha^{-1} にあるのに対し、改良材の使用コストは1,300元 ha^{-1} と高い。一方、農家のポテンシャルからみると、地域差はあるものの約1,300元 ha^{-1} は負担し得る金額である。またDS - 1997を使用することによって、トウモロコシの収量を4.2t ha^{-1} まで上げることが、決して不可能には思えない。

普及現場や農民サイドではDS - 1997に対する評価が高い。試験・調査の成果は別としても、本現地実証調査がきっかけとなり、現場サイドからの要望が高まれば、中国企業による中国産土壌改良資材の生産の可能性も出てくるものと考えられる。その意味では、なお一層の普及的実証が望まれる。

3) 土壌改良資材現地生産の可能性の検討

日本企業がDS - 1997の現地生産を行うのであれば、中国国内の現行の規則から委託生産はできない。生産工場建設を前提に検討すると、土壌改良材の需要、現地での加工機械の調達、施設の建設、原料調達などの点で、現地生産の可能性があると判断される。しかし、日本企業が投資するに見合うほどの大きな便益は、期待できないと判断するのが妥当である。

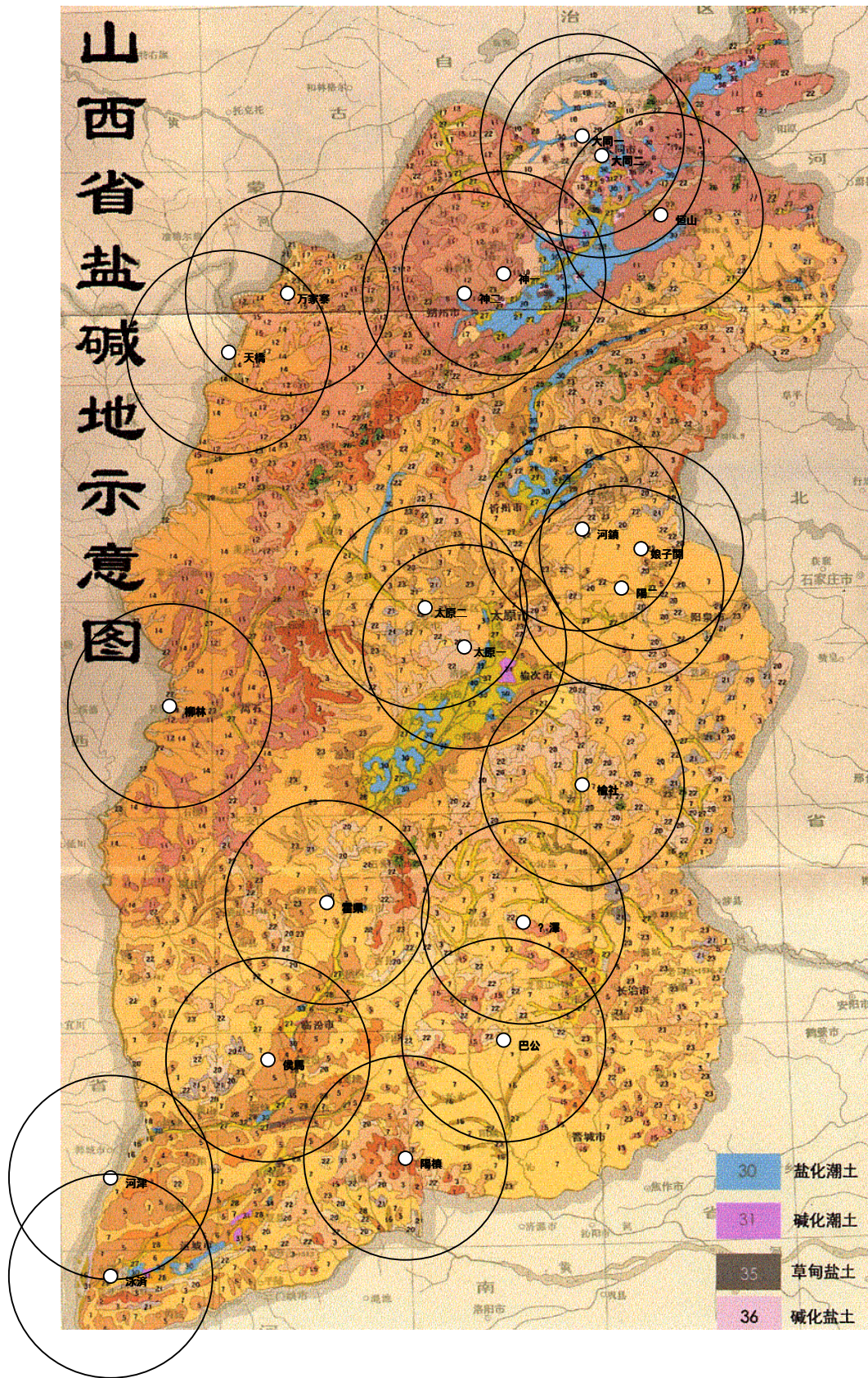


图 5 - 1 アルカリ土壤の分布と発電所の位置関係

