

## 論文の内容の要旨

氏名：Pirach Pongwichian

博士の専攻分野の名称：博士（生物資源科学）

論文題名：Agronomic Management of Saline Soil in Agricultural Lands in Thailand

（タイ国の農地における塩類土壌の農法的管理）

### 1. はじめに

タイ国の土壌資源は土層厚、土性、排水性、肥沃性、洪水の程度などが要因となって種々に異なるものとなっている。塩類影響の土壌、酸性硫酸塩土壌、砂質土壌、土層の薄い酸性土壌のような問題の多い土壌に山地地域を加えると、それらの面積は4,330万haにも及んでいる。これらの問題の多い土壌は植物の生育に影響を及ぼしている。問題の多い土壌群の中でも、塩類土壌は農業上で特に問題の多いものの1つである。タイ国において、塩類土壌は230万2千haを占めており、その大半（184万1千ha）は東北部にみられ、東北部の耕作地面積の18%に相当する。その他、海岸性や中央平原性の塩類土壌はそれぞれ42万5千haと6万3千haである。塩類影響の土壌の管理や改善において難しいものが多くあるが、塩分濃度と特有の塩類化過程を処置するための農法的、生物化学的あるいは工学的な対応法がある。

農法的管理においては、現在推奨されている対策として洗脱、均平、表層マルチ、深耕、有機質資材施用および耐塩性品種利用がある。弱くあるいは中程度に塩類に影響を及ぼされている土壌では、稲栽培が行われている。緑肥、特にマメ科の*Sesbania rostrata*の施用が塩類影響の土壌での天水による低地稲作のために高い有効性を持つと認められてきている。さらに、強く塩類に影響を及ぼされている土壌においては、塩性植物が植生の再生に役立つており、環境改善に寄与している。また、耐塩性微生物を用いた生物学的な方法による弱塩類土壌あるいは中程度の塩類土壌の改善や改良も試みられてはいる。しかしながら、タイ国における耐塩性細菌の利用に関する試みは限定された範囲のものであり、この細菌の利用は農家の実用段階には至っていない。

高地を活用するための塩分濃度の制御において、森林の再生が補助的な方法として提案されている。しかし、その方法には高額の資金が必要であり、その実施には大規模な国家主導型の組織立てが必要である。

石膏や化学物質を用いた化学的な管理においては、その費用に化学物質が高価であることを考慮する必要がある。工学的な管理においては、洗脱と排水が強塩類土壌の改良において効果的な方法である。この方法にも高額の資金が必要である。それゆえ、その実施は大規模な国家主導型の組織立てに基づかなければならず、農家や地主自らでは不可能である。費用対高価、自然環境および地域農家の能力の点からみて、農法的管理がタイ国では最も役立つといえる。最良の管理は現地適合のものでなければならない。

本論文の目的は、タイ国の塩類土壌における種々の塩耐性の植物等を用いた適切な農法的管理の方法を見出し、土壌生産力の増大を顕著なものとするところである。特に、本論文の有用性はタイ国の低地の塩類土壌の全ての種類における現地適合の最良な農法的管理を考究するところにある。

### 2. 方法

タイ国の農地における塩類土壌の農法的管理についての本論文は、1993年～2015年に研究してきた成果を取りまとめたものである。研究の地域はタイ国の塩類土壌の全土壌型のところであった。内陸性の塩類土壌についてはタイ国の北東部において、海岸性の塩類土壌についてはペッチャブリー県において実験を行った。中央平原性の塩類土壌についてはタイ国の中央部で実験を行った。これらの研究の地域は全て低地であった。植栽としては、耐塩性の稲品種、ブロッコリー、サトウキビ、薬用ナッツ、*Sesbania rostrata*品種及び4種の塩性植物を農家圃場において実験した。測定値としては、植物生育と収量のデータを収集した。実験の前後の土壌試料について、pH、電気伝導度、有機物量、可給態養分（N、P、K）およびNaを分析した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 内陸性の塩類土壌

緑肥は植物栄養の給源および土壌微生物へのエネルギーの供給物として塩類影響の土壌の管理に適している。多くの研究成果によって窒素固定を行う茎粒菌の共生を有するマメ科の *Sesbania rostrata* が塩類影響の土壌での天水による低地稲作体系における緑肥作物として高い可能性を有することが指摘されている。*Sesbania rostrata* は南アフリカ原産のものであり、多くの国でまたタイ国の塩類土壌で稲作のための緑肥として研究がなされてきた。塩類土壌へ緑肥を施用した筆者の研究成果は次のようであった。

1) 第1の研究は塩類土壌における2種類の稲栽培方式に関する *Sesbania rostrata* の効果についてであった。RD 15 と KDML 105 の2種類の稲品種を *Sesbania rostrata* が緑肥として栽培されたところとそうされなかったところに、移植および乾田直播の方式で植え付けた。その結果は *Sesbania rostrata* の利用が移植および乾田直播の方式とも Table 1 に示すようにより高い収量となることを示した。

**Table 1** 2種の稲品種に及ぼす *Sesbania rostrata* と植付け法の効果  
Effect of *Sesbania rostrata* and planting method on 2 rice varieties (t/ha)

Planting method	Varieties	Green manure (t/ha)	
		<i>S. rostrata</i>	Non GM
Transplanting	RD 15	3.042	1.889
	KDML 105	2.724	2.012
Average		2.883	1.951
Direct seeded	RD 15	3.466	2.144
	KDML 105	3.227	2.465
Average		3.346	2.305
<b>Average</b>		3.065	2.128

全ての数値は、3年連続の3反復での平均値。緑肥はDMRTによって有意の差 ( $P < 0.05$ ) があることを示す。

**Table 2** 塩類土壌の植物体量、窒素含量、窒素集積および稲収量に及ぼす *Sesbania rostrata* の混和時期の効果  
Effect of incorporation age of *Sesbania rostrata* on biomass, N-content, N-accumulation and rice yield in saline soils

Incorporation age	Biomass (t ha <sup>-1</sup> )		N content (%)		N-accumulation (kg N ha <sup>-1</sup> )		Rice yield (t ha <sup>-1</sup> )	
	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997
40 days	1.563d	5.956	1.96	1.493	20.813	5.313	0.716	1.757
45 days	2.708d	12.000	1.81	1.997	60.938	8.375	1.330	2.231
50 days	5.417cd	11.318	2.47	2.271	66.875	29.000	0.702	1.682
55 days	9.063bc	12.248	2.99	2.154	63.938	66.125	1.074	1.977
60 days	13.958ab	13.241	2.93	2.322	73.875	95.563	0.950	2.082
65 days	17.813a	12.093	3.43	2.915	89.438	173.063	1.155	2.414
control	-	-	-	-	-	-	1.003	2.094
Urea	-	-	-	-	-	-	1.102	2.382
<i>F</i> -test	**	ns	-	-	-	-	ns	<1
CV (%)	32.8	29.6	-	-	-	-	23.5	28.2

同じ列の異符号間に有意差あり ( $P < 0.05$ )

2) 第2の研究は塩類土壌における稲栽培のための緑肥としての *Sesbania rostrata* の最適な混和時期についてであった。播種後の40日目、45日目、50日目、55日目、60日目および65日目の混和時期を研究対象とした。*Sesbania rostrata* の生育と窒素集積のデータを収集した。また、生産量のデータも記録した。さらに、土壌特性の変化に及ぼす *Sesbania rostrata* の混和の効果も研究対象とした。その結果は *Sesbania rostrata* の植物体量と窒素集積が混和時期の増大に伴って増加することを示した。65日目における *Sesbania rostrata* の利用が Table 2 に示すように最高の稲の平均収量となった。

3) 第3の研究は強塩類土壌での明渠組織における塩類移動が及ぼす土壌改善と稲栽培への効果についてであった。本研究は強塩類土壌で実施した。堆肥、厩肥、もみ殻および *Sesbania rostrata* の利用を乱塊法で研究した。3年間の実験において、Table 3 に示すように厩肥の施用が最高の稲収量をもたらすとともに、*Sesbania rostrata* の利用も高い稲収量をもたらすことが分かった。それゆえ、*Sesbania rostrata* は他の土壌改良剤と同様の塩分緩和の効果も有していた。

**Table 3** 強塩類土壌における稲収量に及ぼす土壌改良剤の効果  
Effect of soil amendments on rice yields in severely saline soils

Soil amendments	Rice yields (t ha <sup>-1</sup> )		
	First year	Second year	Third year
Compost	211.19	1177.20	287.56
Farmyard manure	441.81	1355.00	1046.69
Rice husk	373.31	1026.50	564.69
<i>S. rostrata</i>	468.00	1236.00	739.75

内陸性の塩類土壌における稲栽培のための緑肥としては、*Sesbania rostrata* を利用するならば、それは塩類影響の土壌での天水による低地稲作において塩分を緩和するための高い可能性を有すると言える。また、*Sesbania rostrata* の施用は電気伝導度を減ずるとともに30%ほど稲収量を増大させた。上記の1)~3)で記述した研究結果を生み出した *Sesbania rostrata* は根と茎に「根粒」や「茎粒」と呼ばれる窒素固定器官を形成する共生窒素固定細菌が存在しており、土壌への窒素養分賦与の役割も果たしている。従って、収量が増大する。また、緑肥として植物体及びその残渣物を土壌に混合することで土壌の物理性の向上ならびにリーチングの効果が上昇し塩類緩和に繋がったと言える。

### 3.2 海岸性の塩類土壌

タイ国の海岸性の塩類土壌の修復のための耐塩性の草品種の活用に関する研究はペッチャブリー県チャーム地区にあるシリントン・インターナショナル環境公園で実施した。本研究の目的は海岸地域の塩類土壌において各種の塩性植物の生育を比較するとともに、塩類土壌の化学的な特性の変化に及ぼす塩性植物の効果および海岸性の塩類土壌の修復のためのそれらの植物の適性を調査することであった。4種類の塩性植物、すなわちデキシー草 (*Sporobolus virginicus*, 硬い型)、スマーナ草 (*Sporobolus virginicus*, 無毛型)、シーブルック草 (*Distichlis spicata*) およびジョージア草 (*Spartina patens*) を研究した。その結果はシーブルック草が Figure 1 のように生重量および乾燥重量とも最も高いものとなることを示した。それらの全品種の栽培後では、土壌電気伝導度および溶解性のナトリウムが減じた。特に、シーブルック草は塩分のかなり高いところで生育できるとともに、栽培後に土壌有機物と可給態リンとがより高くなった。

タイ国の海岸性の塩類土壌の修復のための耐塩性の草品種の活用に関する研究はペッチャブリー県チャーム地区にあるシリントン・インターナショナル環境公園で実施した。本研究の目的は海岸地域の塩類土壌において各種の塩性植物の生育を比較するとともに、塩類土壌の化学的な特性の変化に及ぼす塩性植物の効果および海岸性の塩類土壌の修復のためのそれらの植物の適性を調査することであった。4種類の塩性植物、すなわちデキシー草 (*Sporobolus virginicus*, 硬い型)、スマーナ草 (*Sporobolus virginicus*, 無毛型)、シーブルック草 (*Distichlis spicata*)

およびジョージア草 (*Spartina patens*) を研究した。その結果はシーブルック草が Figure 1 のように生重量および乾燥重量とも最も高いものとなることを示した。それらの全品種の栽培後では、土壌電気伝導度および溶解性のナトリウムが減じた。特に、シーブルック草は塩分のかかり高いところで生育できるとともに、栽培後に土壌有機物と可給態リンとがより高くなった。海岸性の塩類土壌では、シーブルック草が最も生育がよく、生重量および乾燥重量とも最も高くなり、特に窒素とナトリウムの養分集積を最良にすると考えた。シーブルック草の栽培は海岸性の強塩類土壌に推奨できる。海岸性の塩類土壌では、シーブルック草が最も生育がよく、生重量および乾燥重量とも最も高くなり、特に窒素とナトリウムの養分集積を最良にすると考えた。シーブルック草の栽培は海岸性の強塩類土壌に推奨できる。

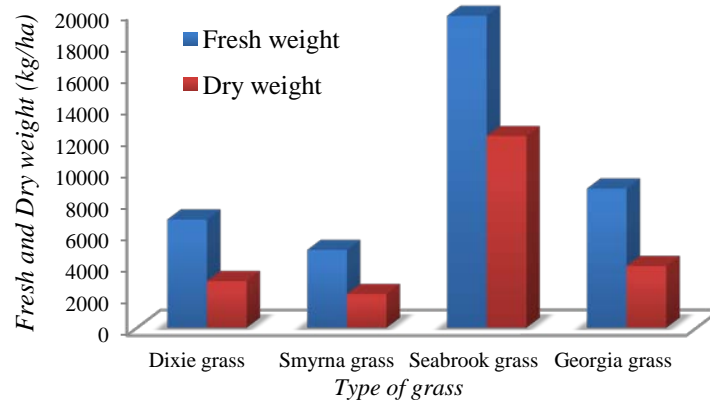


Figure 1 耐塩性の草品種の生重量と乾燥重量  
Fresh and dry weight of salt tolerant species

### 3.3 中央平原性の塩類土壌

本地域では、稲とサトウキビの栽培が一般的であり、それらの収量は概ね低い。どこの農家も稲とサトウキビからより高い収入となる換金作物へ転換させつつある。多くの研究が耐塩性の品種、土壌水分を保存するためのマルチ、土壌肥沃度を改善するための有機改良剤（緑肥、堆肥、厩肥）の施用および灌漑効果を増大させるための点滴灌漑の選択が作物の収量を増大させることを指摘してきている。中央平原性の塩類土壌におけるブロッコリーの収量に及ぼす栽培方法、マルチの期間および育苗の期間の効果に関する研究では、育苗期間 25 日の苗を大畝に植える方法が最も高い収量をもたらすことが認められた。平坦なところに植付ける方法においてはマルチの効果はみられないが、大畝に苗を植付ける方法ではマルチがより高い収量をもたらすことが認められた。この野菜についての研究の他に、サトウキビの収量に及ぼす土壌改良剤の効果に関する研究も行った。厩肥が他の有機改良剤に比べてより良好に作用し、より高いサトウキビの収量をもたらした。土壌の有機改良剤は土壌有機物、可給態リンおよび可給態ナトリウムの含量をより高め、土壌の電気伝導度を減じる傾向を示した。弱塩類土壌における薬用ナッツ (*Jatropha curcas* L.) の生育と収量に及ぼす有機肥料および化学肥料の効果に関する研究では、タイ国の中央平原性の弱塩類土壌における薬用ナッツの収量を増加させるための適切な管理を見出すとともに、土壌の化学性の変化に及ぼす土壌の有機改良剤の効果も把握することが出来た。化学肥料に有機肥料を加えた施用が化学肥料だけの施用よりもより高い収量をもたらした。薬用ナッツの 1 本の木に年当たり 4kg の厩肥を施用することを推奨した。

### 4. おわりに

内陸性の塩類土壌においては、緑肥として南アフリカ原産のマメ科の *Sesbania rostrata* が農地の土壌塩分の緩和にとって高い可能性を有している。中央平原性の塩類土壌において、ブロッコリー、サトウキビおよび薬用ナッツのような換金作物は弱塩類土壌および中程度塩類土壌での有機肥料と化学肥料の施用によって良好に生育する。それゆえ、土壌塩分を緩和するための現地適合の農法はタイ国の他の化学的方法あるいは工学的方法に比べてまさに実用的で、環境とも調和するものである。これらの技術は農民に伝達するに値するものである。