

綿花葉面の近赤外線ハイパースペクトル分光反射率を用いた塩害の測定 Measurement of soil salinity by hyperspectral reflectance of cotton leaves

○長野宇規* 宮嶋崇志* 小寺昭彦* **BILGILI Ali Volkan **CULLU Mehmet Ali

○*NAGANO Takanori *MIYAJIMA Takashi *KOTERA Akihiko **BILGILI Ali Volkan **CULLU Mehmet Ali

1. はじめに

これまで衛星による塩害地の補捉は低波長分解能(マルチスペクトル)衛星の利用を主眼として数々の指標が提案されてきた^[1]. 今後各国から打ち上げ予定のハイパースペクトル衛星は従来と比較して高波長分解能を持ち、近赤外領域まで観測可能な特徴を有する. これにより近赤外分光法において研究が盛んな計量化学が利用可能となる. そこで本研究は塩害地で栽培される綿花葉面の近赤外分光反射率を測定し、塩類集積を予測する新たな指標の作成を試みた.

2. 研究方法

2.1 実験概要

塩害地に一般的に栽培される綿花 (*Gossypium hirsutum* L.) を測定対象とした. トルコ共和国 Sanliurfa 県における塩害地で屋外実験を 2012 年, 2013 年の 8-9 月に実施した. また 2013 年 5-7 月に水耕栽培による室内実験を実施した. 測定綿花の葉および周辺土壌を採集し、各種分析を行った(Table 1). ICP-MS により測定されたイオンは Ca^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} である.

2.2 分光反射率測定

綿花葉面の分光反射率測定には FieldSpec 3 Hi-Res Portable Spectroradiometer (ASD, Inc.) を用いた. 葉面反射率測定のため, アタッチメントに Leaf Clip (ASD, Inc.) と Plant Probe (ASD, Inc.) を使用し, 葉 1 枚当たり 5 回の連続測定を行った. 350-2,500nm の範囲で 1nm 刻みで出力された分光反射率を 10 nm 毎に単純平均し, 分析に用いた.

2.3 指標作成方法

分光反射率について計測値とその 2 次微分値を用いて 1 バンド, 2 バンドの線形回帰分析と多バンドを用いた PLS 回帰を行った. 2 バンド使用の際には以下の式に表す NDSI (Normality differential spectral indices) と RSI (ratio spectral indices)^[3]を作成した.

$$NDSI = (R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2}) / (R_{\lambda_1} + R_{\lambda_2}) \quad (1)$$

$$RSI = R_{\lambda_1} / R_{\lambda_2} \quad (2)$$

ここで, R_{λ_1} , R_{λ_2} はそれぞれ λ_1 , λ_2 nm における分光反射率である.

*神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

**Harran 大学農学部 Faculty of Agriculture, Harran University

キーワード: リモートセンシング, 塩害, ハイパースペクトル

Table 1 屋外・屋内実験の計測項目

	2012 outdoor	2013 indoor	2013 outdoor
The number of sampling places in outdoor or sampling hydroponical apparatus in indoor	20	57	22
The number of collected soil per sampling place outdoor	1	-	3
The number of collected leaves per sampling place in outdoor or hydroponic apparatus in indoor	20	4(10) [†]	20
EC in soil or solution	20	57	66
Concentration of ion and pH in soil	20 ^{††}	-	22
Concentration of ion in cotton leaves	20	57	22
Reflectance of cotton leaves	2000	2850	2200
Fresh weight, dried weight and Leaf area	-	228	440

[†] The number in the parenthesis represents sample size for measurements of reflectance in each day and 6 leaves were not excised in the day.

^{††} Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} are not measured owing to malfunction of ICP instruments

Table 2 近赤外分光反射率による綿花葉内の Na⁺濃度の推定結果 (1バンド, 2バンド, 多バンド)
 raw : 分光反射率の計測値, 2DR : 分光反射率の2次微分値, LV: 潜在変数

method	# of used bands	processed data	# of LVs	R ²	RMSE	Q ²	RMSECV
Partial Least Squares Regression	215	raw	9	0.831	0.274	0.609	0.428
	215	2DR	5	0.722	0.352	0.569	0.445
	180	raw without 1305-1435 and 1795-1995 nm	8	0.809	0.292	0.639	0.408
	180	2DR without 1305-1435 and 1795-1995 nm	6	0.736	0.343	0.597	0.428
Simple Linear Regression with 1 band	1	raw (1405 nm)	-	0.153	0.614	0.081	0.647
	1	2DR (1775 nm)	-	0.602	0.421	0.564	0.441
Simple Linear Regression with NDSI	2	(R565-R685)/(R565+R685) in raw	-	0.456	0.904	0.215	0.696
	2	(R1735-R595)/(R1735+R595) in 2DR	-	0.630	0.406	0.596	0.424
Simple Linear Regression with RSI	2	R1275/R1165 in raw	-	0.438	0.500	0.384	0.525
	2	R1735/R595 in 2DR	-	0.602	0.421	0.444	0.500

3. 結果と考察

3.1. 土壌 EC と葉内イオン濃度の関係

土壌 EC と葉の水分量の間には明確な関係は得られなかった。3 回の実験全てにおいて EC との相関関係が一貫していた葉のパラメータは Na⁺濃度のみであった。そこで回帰分析の従属変数には Na⁺濃度を採用した。既存研究においても塩害に伴う葉内 Na⁺濃度上昇は確認されている^[4]。

3.2. 分光反射率と葉内 Na⁺濃度の関係

2 回の屋外実験の結果に対し、分光反射率を用いて葉内の Na⁺イオン濃度の推定、交差検定を行った (Table 2)。1 バンドを用いた回帰分析では、反射率の2次微分値を用いた場合に予測性能が高くなり、1,775nm で最高の決定係数を得た。2 バンドを用いた場合でも反射率の2次微分値を用いた場合に NDSI, RSI の予測性能が向上した (1,735nm, 595nm)。NDSI と比較すると、RSI は交差検定での性能が低かった。PLS により作成されたモデルは全て潜在変数 (LV) が 5 以上となり、モデル作成時の決定係数は高いものの、交差検定時の決定係数は 1 バンドもしくは 2 バンドの2次微分値から作成された指標と大差はなかった (Table 2)。また、大気の影響を受ける領域 (1307 ~ 1437 nm と 1790 ~ 1992 nm) を除去することで、交差検定の結果が向上した。

4. おわりに

近赤外分光法を用いた綿花葉面の分光反射特性計測による塩害の測定を試みた。土壌塩分に対応する有効な葉内の変動成分として Na⁺が確認された。分光反射率の2次微分値を用いることで、PLS のような冗長に波長選択を行う回帰手法と同程度の予測性能を持ったモデルを 1 バンド (1,775nm) もしくは 2 バンド (1,735nm, 595nm) を組み合わせさせた NDSI 指標から作成することができた。ハイパースペクトル衛星の利用による新たな塩害測定法の可能性が示唆された。

参考文献

- [1] J. Wang *et al.*, Review of Satellite Remote Sensing Use in Forest Health Studies, *The Open Geography J.*, 2010, 3: 28-42.
- [2] L. Zhang *et al.*, Monitoring the leaf water content and specific leaf weight of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in saline soil using leaf spectral reflectance, *Eur. J. of Agronomy*, 2012, 41: 103 - 117.
- [3] Ashraf and Ahmad, Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fibre characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), *Field Crops Research*, 2000, 66: 115-12
- [4] W. Chen *et al.*, 2011. Comparative effects of osmotic-, salt- and alkali stress on growth, photosynthesis, and osmotic adjustment of cotton plants. *Photo synthetica*, 49 (3): 417-425, 201.

謝辞 本研究は総合地球環境学研究所プロジェクト「統合的水資源管理のための『水土の知』を設える」のもとで実施した。