

隔離ほ場試験での観測データに基づくユーカリの低温傷害予測モデルの開発

中鉢 友彰 (筑波大学 生物学類) 指導教員: 小口 太一 (筑波大学 生命環境系)

【背景】

地球規模の環境変動に対応した植物開発では、有用性の検証が求められる。検証は、様々な条件の試験地で行われることが好ましいが、コストや規制の観点から困難な場合が多い。そこで、限られた実験データから数理モデルを構築し、シミュレーション評価する手法が注目されている。数理モデルの構築にはできるだけ多くの種類のパラメータや観測値を用いる方が有利であるが、わが国で実施される小規模な組換え植物の隔離ほ場試験では試験地は限定されており、観測できるパラメータも限定的である。

本研究では、ただ1か所の隔離ほ場における冬季のユーカリの葉の生理学測定値と気象データをもとに、ユーカリ属林木の低温傷害の予測する数理モデルの開発を試みるとともに、開発したモデルの拡張性について検証を行った。

【材料と方法】

植物材料及びほ場観測データ: 植物材料は、2011年~13年に植栽され、2011年11月~17年9月に実施された耐冷性遺伝子組換えユーカリの隔離ほ場試験中に栽培した非組換えユーカリ (*Eucalyptus globulus*) 4クローン (No.1, No.8, Au1, L047) を対象とした。生理学的データは、移植後2、3年目の個体の葉から測定した光合成量子収率 (QY)、電解質漏出率 (IL) を用いた。QYは、1回の測定サンプリングで1個体につき3~4枚の葉、各葉3か所で測定しその平均値を用いた。測定には FluorPen-FP100 (Photon System Instruments 社、ドラーソフ、チェコ共和国) を用いた。ILは、一回の測定で1個体につき3枚の葉を採取し、測定した。QYは、2013年度~16年度の冬季 (11月下旬~翌2月) の間の約2週間毎に、ILは2013年度の冬季のみ測定を実施した。気象データは、筑波大学アイソトープ環境動態研究センターの観測値 (日最高気温、日最低気温、日平均気温) を用いた。

低温傷害指標の選択: 2013年度のQYとILの測定値データセットと気温観測値の推移を比較し、気温の低下によって生じる傷害をより正確に示すと考えられる指標を選択した。

モデル化: モデル化には線形回帰モデルを採用した。各種気象観測値に基づく指標を算出し、2013~15年度冬季のQY測定値との間で線形回帰分析を行い、最尤法によりモデル比較を実施した。気象指標はQY測定日以前の低温の評価を行う。気象指標のパラメータとして、気温データの種類 (日最高、日最低、日平均)、記憶期間 (最大70日で傷害指標に測定日以前の気温が影響を与える期間)、温度閾値及びその蓄積方法 (定量モデル: 期間中閾値を下回った面積、又は定性モデル: 期間中閾値下回った日数) を考慮し、決定した。

検証: 最尤モデルにおいて2013~15年度のQYデータセットを使った自己回帰、及び学習に使用しなかった16年度のQYデータセットと予測分析により、モデル精度の検証を行った。また、入手可能な世界各地の気象データを最尤モデルに当てはめることで、本モデルの地理的拡張性についても検証を試みた。

【結果】

1: 低温傷害の指標の選択

QY及びILと気温推移を比較した所、QYが気温の低下とほぼ同調的に変動が見られたのに対し、ILの変動は気温に対して遅れた。QYとILの相関分析を行ったところILの推移はQYに対し、約50日遅れることが分かった。このことから本研究の目的としてはQYの方が低温傷害指標として適していると判断した。

2: 最尤モデルの決定

2013~15年度のQYデータセットを使い、各種気象指標との間でモデルを作成し、各モデルの尤度による比較を行った。その結果、測定日前46日間に、最高気温を用いた場合が9.5°Cを下回った日数とQY測定値の相関が最も高いことが分かった。

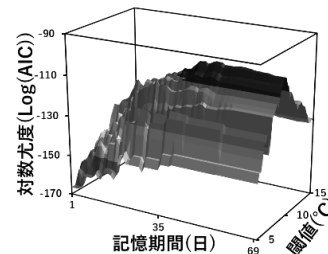


図1 尤度分析の一例

図は日最高気温、定性モデルとした場合の記憶期間 (1日刻み) と閾値 (0.25°C刻み) の尤度分布を示す

3: 検証

モデル作成に使用した2013~15年度におけるQY実測値と回帰QY値との相関は、図2に示す通りで相関係数は0.74であった。また、モデル作成に使用していない16年度のQY実測値とモデルから予測されるQY予測値の相関係数は0.70でほとんどの実測値は95%の予測範囲内に収まっていた (図3)。

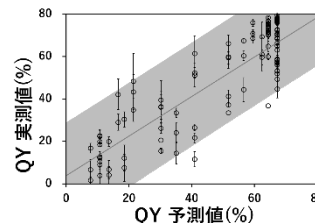


図2 最尤モデルの自己回帰
実線が回帰直線、網掛けは回帰直線の95%信頼区間

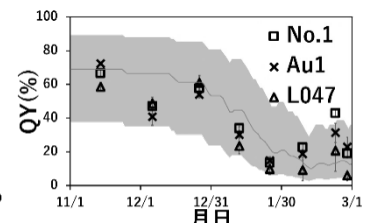


図3 最尤モデルの予測分析
実線は予測値、網掛けは予測値の95%信頼区間

さらに入手可能な世界各地からの2018年度の気象データを本モデルに導入し予測を行った。日毎に予測されるQY値を点数化し総和を階級別に分類し地図上にプロットしたところ、生育可能性が高いと予測される地域と既知のユーカリ植林地分布はほぼ一致し、ユーカリ植林地可能性の予測にも拡張できることが推察された。

【今後の展望】

ただ1か所のほ場での実測値と気象データからユーカリの冬季の低温傷害や栽培地域を予測するモデルを示した。ただ、予測値の信頼区間はかなり大きい。今後、より多くの地点で同様の栽培試験を行うことができれば、予測精度の向上が期待される。今後は、耐冷性の向上を目的として当研究室で開発中の組換えユーカリの低温耐性の評価へ応用したい。