博士（農　学）　鮫　島　良　次

学位論文題名

気象環境要因に対するダイズの生育反応の解析およびモデリングに関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は，7章，181ページからなる和文で，別に11編の参考文献が添えられている。

現在，地球環境変化による温暖化が問題になり，21世紀における食料の安定確保が懸念されている。この食料の安定確保のため，気象環境要因に対する作物の生育予測モデルを確立し，温暖化や環境変動に対して対策を講じる必要がある。本研究は，気象条件に敏感に反応するダイズを用いて，温暖化や環境変動に対する品種の選定や作季の策定作業に必要なモデルを，数多くの生育試験を行って構築した。

生育モデルには生育データと気象データを用いて統計的に処理する方法と，生理のミクロなメカニズムと気象環境要因との関係を調べ，それを積み上げて生育全体を予測する方法がある。しかし，統計的方法は異常気象年や特定の地域以外に適用できない欠点がある。また，生理的なメカニズムを用いる方法は場所や気象条件に左右されないで広い範囲に適用出来るが，膨大な数のサブモデルやパラメータが必要である。そのため著者は複数の生理的なミクロのメカニズムをまとめて，一つのマクロな過程として扱うモデルを構築し，温暖化や環境変動下におけるダイズの生育を予測した。

第1章は「緒論」で，既往の研究と本研究の目的および概要である。

第2章は「発育過程の解析とモデリング」である。人工気象室を使用して，種々の一定気温と一定日長時間条件で3品種のダイズの栽培実験を行い，発育速度の気温と日長時間に対する反応を調べた。その結果，播種日から開花期までの期間では，発育速度は気温に比例し，キタホマレとエンレイの品種ではそれぞれ10℃と13℃の気温で発育速度がゼロとなった。

開花期から子実生産開始期までの期間では，発育速度は日長時間に影響し，短日条件下で子実生産が促進された。この期間では気温の影響は

僅かであったが，28℃以上の気温で子実の生産が遅延した。また，開花期が遅い個体ほど発育速度は大きく，これは開花期における個体の状態がその後の発育に影響したものと推定した。

以上の結果を基に発育速度モデルの型を定め，圃場試験データを用いて，モデルのパラメータの値を決定した。作成した播種日から開花期までのモデルを使用して，品種の早晩性を解析し，それが主として日長反応性に起因することを示した。また，発育速度が気温のみの関数として表されるのは，気温と日長時間の間に相関関係の存在する地域・作期範囲内に限ることを明らかにした。さらに，この関数関係を直線近似したものが有効積算温度法であることを示した。また，発育速度におよぼす気温と日長時間の効果に相互作用が存在することも明らかにした。

次に，ダイズが日長に反応する時間（実効日長時間）を計算する方法を提案した。この実効日長を使用すると低温・寡照条件での発育予測精度が向上する事を示した。また，気象データの平滑化平年値を発育モデルに入力して発育予測を行うと評価誤差が生じる危険性が有ることを指摘し，平滑化平年値データに毎日のバラツキを考慮することによって評価誤差が少なくなる手法を提案した。

第3章は「乾物生産過程の解析とモデリング」である。乾物生産過程は作物群落の日射透過率と日射吸収率の影響を受けるため，これらの推定法について検討し，門司・佐伯の式が日射透過率の日平均値の推定に応用できることを示した。さらに，日射吸収率の簡易推定式を導き出し，精度を検証した。次に，群落乾物生産速度のモデルを構築し，遮光実験を含む圃場試験データからパラメータを決定した。このモデルのパラメータから群落乾物生産速度と日射強度の関係が生育初期とその後の期間で異なることを見いだした。従来のように，生育時期による日射強度との関係を考慮しないモデルは，連続する寡照条件下のダイズの生育を再現することが出来ないが，このモデルを使用すれば可能である。

さらに，既往の手法である群落の積算吸収日射量と乾物生産量をプロットして，日射利用効率を図上から求める方法について考察した。その結果，この方法は両者の相関の大きさを論ずるのには合理的ではないが，日射利用効率の変化傾向を調べるのには有効な手段であることを示した。その結果，この方法は両者の相関の大きさを論ずるのには合理的ではないが，日射利用効率の変化傾向を調べるのには有効な手段であることを示した。また，土壌水分が乾物生産モデルにおよぼす影響を定量的に調べるために，過湿，適湿，乾燥の3水準の土壌水分処理区を設けて蒸発散速度の観測を行い，乾燥および過湿土壌水分条件で乾物生産速度が低下することを示した。

第4章は「乾物分配・子実生産過程の生育解析とモデリング」である。乾物分配・子実生産過程には，ある器官の乾物重と全乾物重の割合（器官構成比）が重要であるため，この器官構成比について圃場試験によって調べた。その結果，器官構成比は個体の大きさのバラツキに影響されにくい安定した値であることを確認した。しかし，播種期が異なる個体の器官構成比には，同一ステージにおいても差が認められる。したがって，器官構成比を単純に発育ステージと結びつける乾物分配過程のモデリングは，適当でないと判断した。

そこで，圃場試験から導いた次の結果を使用して，子実の乾物重の増加過程を器官構成比を使用しないでモデル化した。すなわち，葉面積の増加の終了時期と子実の乾物重の増加開始時期は一致する。この時期の子実の乾物重は一定の相対速度で指数的に増加する。子実の乾物重が増加して，子実の乾物重と一定の相対速度の積が光合成による乾物生産速度を超える値となった後は，子実の乾物重増加速度は個体の乾物生産速度に等しくなる。子実粒数は，子実乾物重の指数的増大期における群落乾物生産速度の関数として計算される。

第5章は「葉の生長過程の解析とモデリング」である。既往の葉の生長過程の解析法に，比葉面積を発育ステージと関連づける手法がある。この手法の妥当性を圃場試験で調べたが，比葉面積は同じ発育ステージでも栽培条件に依存して値が変動し，この手法の採用は適当でないことが判明した。次に，個葉の生長状態を解析し，出葉間隔，葉面積の増加速度を定量的に把握した。さらに，展開後の葉面積が播種期や日射強度の影響を受けていることを見いだしたが，これを定量的に把握することは出来なかった。そこで，圃場試験から導いた次の仮定で計算を行う簡略型の葉面積増加過程モデルを構築した。すなわち，開花期までの器官においては葉面積は指数的に増加する。開花期以後は葉面積の増加は直線的で，かつ子実の生長開始に近づくにつれて徐々に葉面積増加速度が減少する。群落の葉面積指数がある閾値以上になると葉面積増加速度は徐々に低下する。

第6章は「生育シミュレーション」である。第5章までの研究で明らかになったダイズの生育の気象反応性を統合して，生育シミュレーションモデルを構築し，精度を検証した。さらに，モデルを用いて温暖化およびCO_2濃度が増加した場合の影響を評価した。CO_2濃度が2倍に増加し，乾物生産速度が30%増大しても，収量の増加率は最大20%程度であった。CO_2濃度が上昇した場合，最大収量を与える気温は現在の気温水準に1.5℃で上昇する場合であった。気温が3℃以上上昇すると逆に収量を減少

させる結果となったが，これは栄養生長期間の短縮による葉面積の減少が原因であった。

第7章は「まとめ」である。

学位論文審査の要旨

主　査　教　授　堀　口　郁　夫
副　査　教　授　中世古　公　男
副　査　教　授　松　田　　　豊

学位論文題名

気象環境要因に対するダイズの生育反応の解析およびモデリングに関する研究

本論文は，7章，181ページからなる和文で，別に11編の参考文献が添えられている。

現在，地球環境変化による温暖化が問題になり，21世紀における食料の安定確保が懸念されている。この食料の安定確保のため，気象環境要因に対する反応が予測できる生育モデルを確立し，温暖化や環境変動に対して対策を講じる必要がある。本研究は，作物の中でも気象条件に対する反応性が敏感なダイズを用いて，温暖化や環境変動の影響を知るために重要なモデルを，数多くの生育試験によって構築した。

第1章は「緒論」で，既往の研究と本研究の目的および概要である。

第2章は「発育過程の解析とモデリング」である。人工気象室を使用して，種々の気温と日長時間で3品種のダイズの栽培実験を行い，気温と日長時間に対する発育速度の反応を調べた。その結果，播種日から開花期までの期間は，発育速度は気温に比例したが，開花期から子実生産開始期までの期間は，発育速度は日長時間に影響し，短日条件下で子実生産が促進された。これらの結果を基に発育速度モデルの型を定め，圃場試験データを用いてモデルのパラメータの値を決定した。次に，ダイズの日長に反応する時間（実効日長時間）を計算する方法を提案し，この実効日長を使用すると低温・寡照条件での発育予測精度が向上することを示した。

第3章は「乾物生産過程の解析とモデリング」である。乾物生産過程は作物群落の日射透過率と日射吸収率の影響を受けるため，これらの推定法について検討した。さらに，日射吸収率の簡易推定式を導き出し，精度を検証した。次に，群落乾物生産速度のモデルを構築し，遮光実験を含む圃場試験データからパラメータを決定した。このモデルのパラメータから群落乾物生産速度と日射

強度の関係が生育初期とその後の期間で異なることを見いだした。

第4章は「乾物分配・子実生産過程の生育解析とモデリング」である。乾物分配・子実生産過程には，ある器官の乾物重と全乾物重の割合（器官構成比）が重要であるため，この器官構成比を圃場試験によって調べた。その結果，器官構成比は個体の大きさのバラツキに影響されにくいが，播種期が異なる個体では同一ステージにおいても差が認められた。したがって，器官構成比を発育ステージと結びつけて，乾物分配過程のモデリングをすることは適当でないと判断した。そこで，圃場試験から導いた結果を使用して，器官構成比を使用しないモデルを構築した。

第5章は「葉の生長過程の解析とモデリング」である。既往の葉の生長過程のモデリングに，比葉面積を発育ステージと関連づける手法がある。この手法の妥当性を圃場試験で調べたが，比葉面積は同じ発育ステージでも栽培条件によって値が変動するため，この手法の採用は適当でないとした。次に，個葉の生長状態を解析し，出葉間隔，葉面積の増加速度を定量的に把握した。さらに，展開後の葉面積が播種期や日射強度の影響を受けていることを見いだしたが，これを定量的に把握することは出来なかった。そこで，圃場試験から導いた仮定に基づいて計算を行う簡略型の葉面積増加過程モデルを構築した。

第6章は「生育シミュレーション」である。第5章までの研究で明らかになったダイズの生育の気象反応や各過程のモデルを統合して，全生育シミュレーションモデルを構築し，精度を検証した。さらに，モデルを用いて温暖化およびCO_2濃度が増加した場合の影響を解析した。その結果，CO_2濃度が2倍に増加し乾物生産速度が30%増大しても，収量の増加率は最大20%程度であった。CO_2濃度が上昇した場合，最大収量を与える気温は，現在の気温水準に1.5℃上昇する場合であった。気温が3℃以上上昇すると，逆に収量が減少する結果となったが，これは栄養生長期間の短縮による葉面積の減少が原因であることが判明した。

第7章は「まとめ」である。

以上のように本研究は，圃場試験を数多く行い，その解析結果からダイズの各生育過程のモデルを構築し，さらに温暖化およびCO_2濃度が増加した場合の生育シミュレーションを行ったものである。この成果は学術的にも実用的にも高く評価される。よって審査員一同は，鮫島良次が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。