ダイズに対するメヒシバの雑草害早期診断プログラムの開発

高柳 繁*

キーワード: 雑草害早期診断, シミュレーション, 成長・発育モデル, 光競争, 雑草重群落比

Key words: weed damage early diagnosis, simulation, growth and development model, light competition, relative weight of weeds in mixed stand

農業現場において雑草を取るか取らないか, 取るとしたらどのような手段を用いるのが最も適切かといった, 雑草管理に関する意志決定に際しては, 雑草の専門家ないしは関連技術者の助言すなわち意志決定支援が不可欠である。特に環境保全型農業や持続型農業を模索している今日, 雑草管理に関する意志決定は慎重になされねばならない。そこで, 雑草管理に関する意志決定の一つの重要な支援技術である雑草害早期診断法(プログラム)を開発した。本プログラムを以下では WEDPREM (WEed Damage PREdiction Model) と言う。

現在のプログラムは, ダイズ(品種エンレイ)の播種期およびダイズとメヒシバそれぞれの出芽期と出芽密度を基に, ダイズに対するメヒシバの雑草害すなわちダイズの減収率を予測するものである。しかし, 他の作物や雑草を対象とした場合でも, それぞれの作物や雑草に関する情報(モデルにおけるパラメータの絶対値)が得られていれば, プログラムの基本構造を変えることなく適用が可能である。

1. モデルの概要^{1,3~5)}

WEDPREM は, ① 混合群落条件におけるダイズとメヒシバそれぞれの成長・発育と両種の光競争の生理生態的メカニズムをシステム・ダイナミック

スの手法で数学的にモデル化し, これに基づいて両種の出芽・発生期からダイズ開花期までの毎日の器官別乾物成長や葉面積成長, 草丈(草高)の推移など求める動的なシミュレーションモデルと, ② 上記によってシミュレートされたダイズ開花期の雑草重群落比に基づいて, 最終的なダイズの減収率を予測する, 経験的で静的な回帰モデルとから成っている。

1) ダイズとメヒシバ混合群落の成長は, それぞれの種の個体群の成長と両種を混植した場合に生ずる光競争をモデル化してシミュレートした。

① ダイズとメヒシバ個体群の成長のメカニズムは基本的には全く同一と考えた。すなわち, 葉群の光合成による物質生産, 植物体各器官の呼吸によるその消費, 各器官に対する物質の転流・分配という3つの過程を1日単位で繰り返して, 拡大再生産つまり成長するものとした。

② 個体群の1日当りの総光合成産量は, 個葉の光一光合成曲線のパラメータ, 群落吸光係数, 葉の光透過率, 葉面積指数(LAI), 1日当りの総日射量, 日長時間から求める。この場合, 葉面積は葉乾物重に比葉面積(SLA)を乗じて計算するが, SLAは定数ではなく, 次で述べる発育指数(DVI)の関数とした。各器官の1日当りの呼吸量はその日の各器官の乾物重に, DVIの関数であるそれぞれの器官の呼吸速度を乗じて求める。1日当りの総光合成産量から総呼吸量を引き差した残りの物質は, それぞれの器官に対する乾物分配率(これもDVIの関数とした)に応じて分配され, 各器官の乾物成長が実現する。

③ WEDPREMの特徴は, 植物体の生育過程に発育モデルの考え方を取り入れたことである。すなわちメヒシバの発育の進み具合は, 連続変数である発育指数(DVI)で定量的に表し, 出芽期を0, 出穂期を1, そして成熟期を2とした。同様にダイズのDVIは播種期を0, 開花期を1, 収穫期を2とした。DVIは1日当りの発育速度(DVR)の積算値である。

* 農林水産省農業研究センター

Shigeru Takayanagi: Development a weed damage early diagnosis program for *Digitaria ciliaris* in soybean. National Agriculture Research center. Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan

(1996年12月25日受理)

Fig. 1. Flow diagram for simulation of light competition between *D. ciliaris* and soybean.

Note: a) $\square$ State variable, $\bowtie$ Rate variable, $\circ$ Auxiliary variable, $\oplus$ Parameter, $\longrightarrow$ Flow of material, $\cdots \longrightarrow$ Flow of information.

b) (W) indicates weed (*D. ciliaris*) and (C) indicates crop (soybean).

たとえば出芽期から出穂期までの期間のメヒシバの出芽後 i 日目の DVR_i は、 i 日目の日長 L_i と日平均気温 T_i によって決定するので、出芽後 i 日目までの毎日の DVR の積算値が i 日目の DVI であり、 DVI が 1 になった日が出穂日である。

④ 混合群落におけるダイズとメヒシバの相互作用のモデル化は、光競争のみに限定した。この場合、養水分についてはダイズとメヒシバの間で種間競争が生じない範囲で十分に供給されているものと仮定した。光競争は、混合群落全体を垂直方向に 10 層に

分け、層別葉面積の決定→層別光強度の決定→層別光合成速度の決定という 3 つの過程を通して実現すると考えた。層別葉面積は、それぞれの種の草高、 LAI 、葉面積の垂直分布パターンから決定される。メヒシバの草高は草丈と群落内相対照度、さらに草丈は個体当りの地上部乾物重と個体密度から求める。ダイズの草高は単位面積当りの地上部乾物重から直接求められる。積算葉面積密度の垂直分布パターンは、相対的には経時変化しないとし、それぞれの種の分布パターンをロジスチック式で近似した。

Fig. 2. Flow chart for program of the weed damage prediction model "WEDPREM".

以上の混合群落の成長・発育および光競争のメカニズムモデルを1日をタイムスケールとしてダイズ開花期 (DVI=1) まで計算を繰り返し、同時点のダイズおよびメヒシバの地上部乾物重をシミュレートし、雑草重群落比を求める (Fig. 1)。なお、混合群落におけるダイズとメヒシバの出芽期から生育初期 (メヒシバが $0 < \text{DVI} \leq 0.3$ またはダイズが $0 < \text{DVI} \leq 0.5$) の期間は、両種の成長は LAI の拡大のみがシミュレートされる。

2) 最終的なダイズの減収率は、ダイズ開花期 (DVI=1) の雑草重群落比 {メヒシバ地上部乾物重 / (ダイズ地上部乾物重 + メヒシバ地上部乾物重)} とダイズ精子実重の対無雑草区比との間に認められる高い指数回帰関係を用いて求める。

3) WEDPREM を用い、農業研究センターにおいて実施した年次、播種期、栽植・発生密度を異にする 27 ケースの圃場試験におけるメヒシバ・ダイズ混合群落のダイズ減収率をシミュレートした結果、実測値とシミュレーション値とはよく一致した ($R^2=0.879$)。

2. WEDPREM の実行⁶⁾

WEDPREM は BASIC で記述された約 800 行のプログラムであるが、ユーザはモデルを意識するこ

となく、パソコンとの対話形式で簡便に操作できるように策定されている (Fig. 2)。

① 気象データ: 気象データは WEDPREM とは独立させ、データファイルに予め納めておく。従って、ユーザは気象要素 (通常は対象地域の平年値) をシーケンシャル形式でファイル化しておく必要がある。必要とする気象データは、1月1日を起算日とする暦日 (days of year; DOY) と DOY ごとの日平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)、日射量 (cal)、日長 (hr) である。

② 気象データの WEDPREM への入力: WEDPREM を立ち上げると直ちに気象データファイルのリストが画面に表示される。ユーザはこれから適当なファイル (通常は対象地域の平年値) を選択しファイル名を入力する。入力されたデータは配列変数に読み込まれる。

③ ダイズの播種期、ダイズ、メヒシバそれぞれの出芽期と栽植・発生密度 (m^2 当り) を入力する。これによってモデル混合群落における両種の発育指数 (DVI) が 0 に設定されるとともに両種の葉面積指数 (LAI) の初期値が決定する。

④ 両種とも出芽期からメヒシバの DVI が 0.3 (またはダイズの DVI が 0.5) に達するまでの期間は、LAI の成長のみがシミュレートされる。この期間は種内、種間競争とも生じないと仮定している。

Fig. 3. Weed damage prediction experiments using by WEDPREM on the yield loss of soybean caused by *D. ciliaris*.

⑤ メヒシバの DVI が 0.3 (またはダイズの DVI が 0.5) になるとそれぞれの種の LAI は DVI の関数である比葉面積 (SLA) と乾物分配率とによって器官別乾物重に置き換えられ、混合群落の成長・発育と光競争過程がダイズ開花期 (DVI=1) までシミュレートされる。

⑥ 以上からダイズ開花期の雑草重群落比{メヒシバ地上部重/(メヒシバ地上部重+ダイズ地上部重)}を求め、これとの回帰から最終目的のダイズ減収率を予測する。

3. ダイズに対するメヒシバの雑草害の早期診断 (シミュレーション実験)⁷⁾

WEDPREM は様々なダイズ栽培様式 (播種期, 栽植密度), メヒシバ発生様相 (出芽期, 発生密度) および気象条件 (気温, 日射量, 日長) に対応して雑草害診断を行うことができる。そこで, これらの要因をいろいろに変えて組合せ, 一連のシミュレーションを行った。その結果, ダイズに対するメヒシバの雑草害の程度はメヒシバ発生密度, ダイズ栽植密度, ダイズ播種期の違いによって, 当然, 大きく変動するが, これらの条件が同一であってもダイズとメヒシバの出芽期の差 (相対出芽日数) のわずかな違いが雑草害程度に大きく影響することがわかった。このことは雑草害早期診断法をさらに進めていくうえで, 雑草の発生予測法の確立²⁾が不可欠であることを示すものである (Fig. 3)。

さらに WEDPREM によるシミュレーション実

験に基づいて, ダイズに対するメヒシバの発生許容限界量 (本数) や除草必要期間などが求められることを明らかにした。

受賞業績

- 1) 高柳 繁・中谷敬子・草薙得一 1989. メヒシバ, ヒメイヌビエ, シロザの出芽後出穂・着蕾までの日数に対する日長と気温の効果. 雑草研究 34 (1), 12-18.
- 2) 高柳 繁・草薙得一 1989. メヒシバの発消長を気温と土壤水分で表現する動的モデルの策定. 雑草研究 34 (3), 253-260.
- 3) 高柳 繁・草薙得一 1990. ダイズ栽培条件下のメヒシバ個体群の乾物分配率および比葉面積の推移と発育ステージとの関係—ダイズ単植群落と比較して—. 雑草研究 35 (2), 144-154.
- 4) 高柳 繁 1991. 雑草害早期診断法開発のためのメヒシバとダイズ単植群落の成長・発育モデルの策定. 雑草研究 36 (4), 372-379.
- 5) 高柳 繁・草薙得一 1991. 雑草害早期診断法開発のためのメヒシバ・ダイズ混合群落の成長と光競争機構のシミュレーション. 雑草研究 36 (4), 380-388.
- 6) 高柳 繁 1993. 雑草害早期診断プログラムの開発—メヒシバによるダイズ減収程度の予測—. 雑草研究 38 (別), 158-159.
- 7) 高柳 繁 1995. ダイズ収量に対するメヒシバ雑草害の早期予測—雑草害診断プログラム WEDPREM を用いて—. 雑草研究 40 (別), 170-171.