

# 北陸重粘土転換畑での早期エダマメ直播栽培における 地温と出芽に及ぼすマルチ・べたがけの効果

細野達夫\*・片山勝之\*・細川 寿\*

## 目 次

I はじめに .....	17	IV 摘要 .....	29
II 材料と方法 .....	18	V 引用文献 .....	29
III 結果と考察 .....	21	VI Summary .....	31

## I はじめに

エダマメは転換畑への導入作目として、近年、東北・北陸を中心に注目されている。転換畑でダイズを栽培している農家であれば比較的取り組み易く、ダイズに比べて高い収益性が期待される。北陸地域に位置する新潟県はエダマメの栽培面積が全国一である(2004年農林統計)。特産の「新潟茶豆」などは新潟市黒崎地区などを中心に、主として移植栽培により生産されているが、水田複合経営へのエダマメ導入を考える場合、水稲作との作業競合の問題から、移植栽培は労力的に困難である。最近、新潟県や富山県などの比較的大規模な水田複合経営においてエダマメの直播栽培を導入する事例が増えている。なお、ここでは、最近、北海道の一部産地で行われているような冷凍原料用のエダマメ生産でなく、生鮮品としてのエダマメ生産を想定している。

生鮮品としてのエダマメは貯蔵可能期間が通常2～3日と短く、また、収穫・調製・選別に多大な労力を要するため、収穫・出荷作業の分散化が必要であるが、収益を向上させるためには出荷の継続および長期化も重要である。出荷開始時期を早めることは出荷期間の長期化のみならず、高単価も期待できることから、産地として検討されるべき課題であ

る。特に、早生品種の導入と早期播種により省力的な直播栽培で出荷開始時期を早めることは有効な選択肢の一つである。しかし、安定した出芽のためには一定の温度が必要であり、新潟県では、直播は日平均気温の平年値が15℃以上になる5月中下旬以降に行うことが指導されている。何らかの方法により圃場で地温を高めることができれば、直播時期を早めることが可能になると考えられる。さらに、安定した出芽のためには土壌水分も重要な要因である。

そこで、筆者らは、エダマメの直播栽培において、比較的簡易で機械化作業も想定できる環境制御技術として、ポリエチレン製マルチフィルムによる畝被覆およびべたがけに着目した。それらにより地温を高め、土壌の乾燥を防ぐことで、北陸地域の重粘土転換畑において安定的にエダマメの直播時期を早めることができるかどうか検討した。

本研究は、農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」(課題名「北陸特有の環境条件に即した野菜安定生産技術の開発」課題番号18015、平成18-20年度)および農研機構運営費交付金(平成17-20年度)により行われた。

## Ⅱ 材料と方法

### 1. 栽培試験の概要

2005年～2008年の各年の早春期(主として4月下旬播種)に、ポリエチレン製マルチフィルム(以下、ポリマルチ)により畝を被覆、あるいは不織布をべたがけ(じかがけ)してエダマメを栽培する試験を行った。品種は、2005年は「福成」、2006年～2008年は「湯あがり娘」を用いた。

試験に用いた圃場は、新潟県上越市稲田の北陸研究センター内の水田転換畑である。圃場の土壌は、強粘質グライ低地土である。畑転換後年数が1～8年と幅がある複数の圃場を用いたが、いずれも顕著な畑地化の進行(土壌の透水性の改善など)はみられていない。

近年、排水性および碎土性の悪い重粘土転換畑におけるダイズ栽培で、改良型アップカッターロータリー(細川ら, 2005)を用いた耕うん同時畝立て播種作業機の利用により出芽・苗立ちが安定することが確認されている(細川, 2004)。本研究の試験では、播種は機械播種ではなく手で行った(播種深度3cm, 2粒播き)が、同様の作業機を用いて耕うん・畝立てを行った。施肥は、耕うん前に慣行量の肥料を圃場に散布し、全層施肥とした。

作業機の仕様、畝幅、試験区の構成などは、大きく分けて「2005年と2006年」および「2007年と2008年」で異なるので、それぞれ以下に記述する。

2005年と2006年の各試験区の概要は表1に示した。「無被覆(平)区」以外の区においては、耕うん同時畝立て作業機を用いて幅75cm, 高さ20cmの畝を形成した(1条植え)。「無被覆(平)区」は、畝立てをしない区である(畝幅75cm, 1条植えは共通)が、

アップカッターロータリーを用いて耕うんしたので碎土率はその他の区と同程度であった。いずれの作期でも、耕うん作業は播種の前日に行った。黒マルチ区では、厚さが0.03mmの黒色ポリマルチを使用し、マルチ展帳後、播種位置にカッターで十字に切り込み(切り込み長5～6cm)を入れて播種した。「スリットマルチ」は、黒色ポリマルチの中央部(畝の播種条にあたる部分)に、幅約10cm, 1cm間隔で切り込みの入った資材(みかど化工製, メデルシート)である。スリットマルチの場合、発芽した種子は、切り込みを通じて出芽できるので播種後に展帳した。べたがけ資材は、長繊維不織布(MKVプラテック製, パオパオ90)を用いた。畝面に直接かける「じかがけ」とし、播種後に敷設した。いずれの区も、株間は、2005年は24cm(栽植密度, 約5.56株/m<sup>2</sup>), 2006年は18cm(栽植密度, 約7.41株/m<sup>2</sup>)であった。

2007年および2008年の各試験区の概要は表2に示した。2007年および2008年の試験では、耕うん同時畝立て作業機にマルチ展帳機能を付加した、耕うん同時畝立て・マルチ作業機(細川ら, 2009)を用いて幅150cm, 高さ20cmの畝を形成し、各色マルチ区では同時にポリマルチを展帳した。ポリマルチは、厚さ0.02mmで播種穴のあいたもの(特注品。以下、「穴あきマルチ」)を用いた。この穴あきマルチには、直径6cmの円形の穴が空けられており、播種位置となる。穴は株間20cm, 条間40cmの2条植えとなるように配されており、約6.67株/m<sup>2</sup>の栽植密度になる。この穴あきマルチの利用および150cmの畝幅は、作業機の仕様によるものである。無被覆区およびべたがけ区でも条間、株間は各色マルチ区と同じ

表1 試験区の概要(2005年および2006年)

試験区	概要
無被覆区	無被覆, 畝高さ約20cm
無被覆(平)区	無被覆, 平畝
マルチ区	黒色ポリマルチ被覆後, カッターで穴をあけて播種
スリットマルチ区	播種後にスリット入りマルチで被覆
べたがけ区	播種後に長繊維不織布をじかがけ
スリットマルチ+べたがけ区	播種後にスリット入りマルチで被覆, その上から長繊維不織布をじかがけ

表2 試験区の概要(2007年および2008年)

試験区	概要
無被覆区	無被覆
黒マルチ区 緑マルチ区 透明マルチ区	それぞれ黒色, 緑色および透明の有孔ポリマルチで被覆後, 穴に播種. 緑マルチは2007年のみ.
べたがけ区	播種後に長繊維不織布をじかがけ
黒マルチ+べたがけ区 緑マルチ+べたがけ区 透明マルチ+べたがけ区	各色有孔ポリマルチで被覆後, 穴に播種. その上から長繊維不織布をじかがけ. 緑マルチは2007年のみ.

とした。2007年および2008年については作業上の都合により、播種は耕うん・マルチ展帳の6日後あるいは7日後となったが、播種前後に十分な降雨があり、播種時の土壤水分の面では問題なかった。べたがけ資材は2005年および2006年と同じ資材(ただし、幅は210cm)を用い、播種後に敷設した。

全ての作期において、べたがけ区では、出芽後しばらく(1～3週間)経過してからべたがけ資材を除去した。

## 2. 地温および土壤水分の測定

畝内の深さ5cmの地温を、熱電対(銅-コンスタンタン)を用いて測定した。1分おきに瞬時値を測定して10分毎にその間の平均値をデータロガー(Campbell製, CR10X)に記録した。なお、地温・土壤水分の測定は各処理区につき1つの畝でのみ行った。

地温は、2005年および2006年は、各処理区4点、畝中央(播種条)付近の、播種深度に近い深さ5cmで測定した。2007年および2008年は、穴あきマルチを用いたので、播種位置である穴付近と、穴から離れた位置では地温が異なることが想定された。また、畝幅160cmの東西畝2条植えであったので、播種位置は畝の中央部ではなく、北側および南側に偏っている。そこで、畝の北側と南側では地温に差異が生じる可能性も想定し、穴からの距離および条の南北の条件が異なる位置で地温を測定した。各色ポリマルチ区および各色ポリマルチ+べたがけ区での測定位置は図1に示した通りであり、①～④の条件毎に、2点(2007年)または3点(2008年)ずつ、区あたり合計8点(2007年)または12点(2008年)で測定した。無被覆区およびべたがけ区では、条に沿う株と株の中間(図1の③、④の位置)で、南北各3点(2007

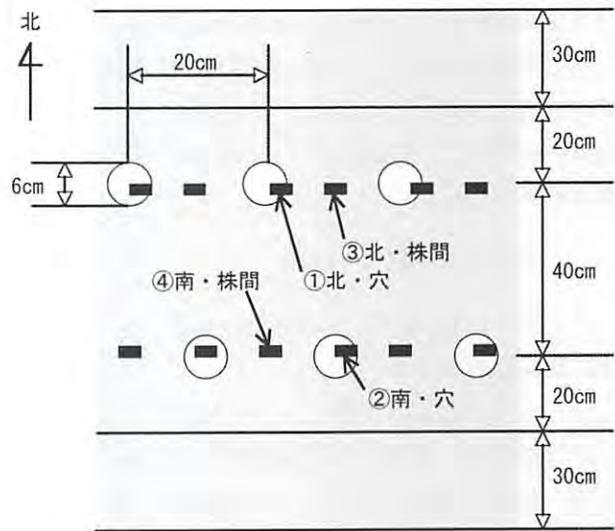


図1 2007年および2008年の試験における各色マルチ区および各色マルチ+べたがけ区における地温センサ配置の概念図。

黒塗りつぶしの長方形が地温センサ(熱電対の感部)を示す。各処理区において、①～④の各グループにつき2箇所(2007年)または3箇所(2008年)の測定点を設けた。

年)または4点(2008年)、区あたり合計6点(2007年)または8点(2008年)で測定した。測定深さはいずれも5cmとした。

畝内の土壤水分(体積含水率)は、TDRプローブ(Campbell製, CS615またはCS616, ロッド長30cm)により測定した。10分おきに測定し、上記と同じ型の別のデータロガーで測定した。TDRプローブは、2005年および2006年の試験においては、畝表層10cmの平均的な体積含水率を測定するように、畝上面からロッドと水平面との角度が約18度になるように斜めに差し込んだ。測定点数は各区、1～2であった。2007年および2008年の試験においては、TDRプローブは畝内に水平に設置した。設置深さは、2007

年が5 cmおよび15 cm, 2008年が3 cmおよび10 cm (いずれも畝上面からの深さ)とした。2007年および2008年においては、体積含水率を測定した区は無被覆区と黒マルチ区のみ限定し、各区の各深さ2点ずつ測定した。

### 3. 出芽率の調査と解析

子葉が地上に露出した時点で出芽とした。出芽が確認できた株数を調査し、播種した株数に対する割合を出芽率とした。この調査は、出芽期間中、原則として毎日午前中に行った。各処理区内の畝毎に出芽率を算出した(区あたり2畝または6畝)。

出芽率の時系列データは、出芽反応を数値化して解析するために、シグモイド曲線の一つであるRichards関数により近似した。Richards関数は次式で表される。

$$y = a(1 + b \cdot d \exp(-c \cdot x))^{(-1/d)} \quad (\text{式1})$$

ここで、 $y$ は出芽率、 $x$ は播種後日数、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ および $d$ は定数である。

得られた近似式の定数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ および $d$ より3つの応答特性値、すなわち、最終的な出芽率に相当する $V_i$ 、出芽率が $V_i$ の50%となる播種後日数を示す $Me$ 、出芽率が $V_i$ の25%から75%になるのに要する日数の1/2であり、出芽の時間的ばらつきを度合いを示す $Qu$ を算出した。Richards関数と応答特性値の詳細については、Hara(1999)および原(2000)を参照されたい。

### 4. 有効積算地温の算出

地温の差異が出芽に及ぼす影響を定量的に評価するため、播種から出芽までに必要な有効積算地温を算出した。

有効積算地温は次式で表される。

$$AET_n = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b) \quad (\text{式2})$$

ここで、 $AET_n$ : 播種から $n$ 日後までの有効積算地温( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ )、 $T_i$ : 播種後 $i$ 日目の日平均地温( $^{\circ}\text{C}$ )、 $T_b$ : 基準温度( $^{\circ}\text{C}$ )。ただし、 $T_i - T_b < 0$ の場合、 $T_i - T_b = 0$ とする。

播種から出芽に要する有効積算地温および基準温度は、以下に示す、DVR(発育速度)の概念を用いる方法(鮫島, 2000)により算出した。

DVRモデルは、DVR(発育速度)とDVI(発育指数)という概念を用いて発育ステージを表すモデルである。DVRは、通常、1日あたりの値を考え、DVIはその積算値である。通常、DVIは発育ステージの開始日には0、終了日に1とする。「播種から出芽」という発育ステージを考える場合には、播種日のDVIが0、出芽日のDVIが1となる。

まず、播種から出芽までの発育ステージにおいて、DVRが以下のように、地温の一次式で表されるものとする。

$$DVR_{sg} = aT + b \quad (\text{式3})$$

ここで、 $DVR_{sg}$ (/日)は播種から出芽までの発育ステージにおけるDVRである。 $T$ は日平均地温( $^{\circ}\text{C}$ )、 $a$ および $b$ は定数である。播種から出芽までの期間の平均DVRは、播種から出芽に要する日数の逆数として計算できる。本研究のような様々な温度条件における出芽試験データを用いると、播種から出芽までの平均地温と平均DVRとの直線回帰によって、 $a$ および $b$ が求められる。

温度とDVRの関係が直線関係にある場合、直線回帰式の傾きの逆数は、ある発育ステージの開始から完了(本研究の例では、「播種から出芽」)までの有効積算温度、 $X$ 切片が基準温度となる。すなわち、播種から出芽に要する有効積算地温( $AET_{sg}$ )および基準温度、( $T_b$ )が以下のように求められる。

$$AET_{sg} = 1/a \quad (\text{式4})$$

$$T_b = -(b/a) \quad (\text{式5})$$

なお、本研究で播種から出芽までの平均地温と平均DVRとの関係を求める際、前記の圃場試験データでは得られない温度域でのデータを含ませるため、温室での出芽試験のデータも用いた。このデータは、ガラス温室内で、大型バット(縦横134 cm × 90 cm, 深さ15 cm)に前記圃場の土壌(耕うん土壌)を充填し、低温期から高温期まで種々の時期に播種し、圃場試験と同様に出芽調査、地温測定を行って得たものである。

### Ⅲ 結果と考察

#### 1. 被覆資材による地温効果

##### 1.1 播種後10日間の平均的な地温効果

各種資材による畝面の被覆が、畝内地温を上昇させる効果(以下、地温効果)について、まず、各作期の各区における播種翌日から10日間の平均地温を整理した(表3, 表4)、10日間の平均的な地温効果(無被覆区との地温差)は資材により大きく異なった。なお、表3および表4に記載のある応答特性値については、3および5の項で説明する。

なお、2007年および2008年の試験では、同一処理区内で、条件が異なる種々の箇所での測定を行ったが、条件毎の測定点数が少なかった(2~4点)ため、結果的には穴との水平距離や畝の南北の条件の違いによる有意な地温差は検出できなかった。地温は水平方向の空間的なばらつきが大きいことが知られており、処理による地温差を評価するには多点(例えば、10点程度)での測定が必要とされている(鈴木ら、1996)。上記のような同一処理区内での条件の相違による地温の差異については、より詳細な検討が必要と考えられるが、本稿では、各処理区内の全測定点の平均地温のみを用いて結果を考察した。

2007年および2008年の試験結果から、ポリマルチの色による地温効果の違いを見ると、透明マルチ区では無被覆区に比べて播種後10日間の平均地温は4~5℃程度高くなったのに対し、黒マルチ区および緑マルチ区では、0~1℃程度の増加であった(表4)。一般に、ポリマルチ被覆による地温効果は、マルチ資材の日射透過率が大きいほど大きくなる(小寺、2003)。本研究でも、日射透過率の大きい透明ポリマルチの地温効果が著しく大きく、黒色ポリマルチおよび緑色ポリマルチの地温効果は小さかった。本研究の試験では、黒色ポリマルチと緑色ポリマルチの地温効果の差異は小さかった。

また、同じ黒色ポリマルチでも、切りこみの量や穴の有無により差異が見られる。2005年および2006年の試験では、播種位置にのみカッターで切り込みを入れた場合(黒マルチ区)の地温効果が約2℃あったのに対し、畝の中央部分に連続的に切り込みの入ったスリットマルチでは、地温効果は最大で1℃程度であった。2007年と2008年の試験で用いた穴あきマルチの場合も、地温効果はスリットマルチと同

程度と考えられた。

べたがけ区の地温効果は、平均的には2℃程度と大きかった(表3および表4)。ポリマルチ被覆の上に不織布をべたがけした処理は地温効果が高く、その程度は、ポリマルチ被覆とべたがけ、それぞれ単独の地温効果を足した値に近かった(表3および表4)。

黒色ポリマルチでも、切りこみの量や穴の有無により地温効果が異なる主な理由は、被覆下の空気と外気との換気量の差異によると推察される。スリットマルチ、あるいは穴あきマルチの場合は、播種位置にのみカッターで切り込みを入れた場合よりも換気量が大きくなることは十分考えられる。

ところで、実際の農家においてはポリマルチが風で飛ばないようにするため、ポリマルチ被覆した上から土を被せる場合がある。その場合にはポリマルチと畝がより密着し、換気速度が減少(高温化の方向)する一方、畝内への日射透過率や伝熱量も減少(低温化の方向)すると考えられる。ポリマルチの上に土を被せた場合の地温効果については別途検討する必要がある。

なお、同じ無被覆でも、平畝の場合は、畝立てをするよりも地温は高く維持される傾向であった。この原因は、畝の高低により土壤水分や外気に露出している地面の表面積、日射受光量などの条件が異なるためと考えられる。

##### 1.2 日毎の地温効果

地温効果の日による差異をみるために、播種翌日から10日間について、1日毎に無被覆とそれ以外の各区との日平均地温差を求めた。その10日間の日平均地温差(10データ)の標準偏差および最大・最小値を表3および表4に示した。

一般的に、各種資材によるマルチ被覆やべたがけにより地温を上昇あるいは下降させる効果(地温効果)の温度幅は、同一資材であっても一定ではない(小寺、2003)。本研究の試験の播種後10日間についても、地温効果は日毎に大きく異なっていることがわかる。日毎の地温効果は、その日の気象条件などにより異なる。この点については、既往の研究で詳細に調べられている(鈴木・棚田、1988；鈴木・大

表3 各種被覆資材による地温効果(各被覆資材下の平均地温:深さ5cm, 播種翌日から10日間の平均地温および無被覆との地温差)および応答特性値<sup>1)</sup>

播種日, 品種, 圃場名, 碎土率	処理区 <sup>2)</sup>	平均地温 <sup>3)</sup> °C		無被覆との地温差 <sup>4)</sup> 範囲		Vi, %		出芽所要日数		Qu, 日
		平均±SD	範囲	平均±SD	範囲	Vi, %	Me, 日	推定 <sup>5)</sup>		
2005年4月26日播種 品種:「福成」 A圃場, 碎土率:46%	無被覆	14.8±0.3 a	-	0.7±0.5	-	10.9±3.6 a	23.0±1.9 a	(14)	4.7±1.3 a	
	無被覆(平)	15.5±0.1 a	0.1~1.7	0.7±0.5	0.1~1.7	31.9±14.7 a	21.4±0.3 a	(12)	1.6±0.1 b	
	黒マルチ	17.3±0.6 b	1.5~4.1	2.7±0.9	1.5~4.1	93.7±2.3 b	9.6±0.0 b	(10)	1.5±0.4 b	
	Sマルチ	15.9±0.1 a	0.3~2.0	1.1±0.6	0.3~2.0	85.5±0.8 b	13.8±0.4 b	(12)	1.8±0.1 ab	
	べたがけ	17.4±0.5 b	0.9~2.7	1.7±0.5	0.9~2.7	43.9±15.9 ab	16.3±2.3 ab	(11)	3.5±0.2 ab	
	Sマ+べた	18.7±0.3 c	2.1~6.0	4.0±1.2	2.1~6.0	89.2±1.7 b	12.6±0.2 b	(9)	1.3±0.1 b	
2005年5月24日播種 品種:「福成」 B圃場, 碎土率:83%	無被覆	20.1±1.1 a	-	0.5±0.2	-	79.9±6.5 a	9.5±0.7 a	(8)	1.1±0.1 a	
	無被覆(平)	20.6±0.6 ab	0.2~0.8	0.5±0.2	0.2~0.8	81.4±9.1 a	8.6±0.5 ab	(8)	1.1±0.1 a	
	黒マルチ	22.0±0.6 b	1.1~3.2	2.0±0.6	1.1~3.2	96.7±1.5 a	5.2±0.1 c	(7)	0.5±0.1 a	
	Sマルチ	21.4±0.2 ab	0.3~2.5	1.4±0.6	0.3~2.5	97.8±1.3 a	7.3±0.5 bd	(8)	0.7±0.1 a	
	べたがけ	21.5±1.2 ab	0.8~1.9	1.4±0.3	0.8~1.9	86.9±4.3 a	7.7±0.4 abd	(8)	0.9±0.2 a	
	Sマ+べた	23.9±0.9 c	2.4~5.4	4.0±0.9	2.4~5.4	96.9±1.4 a	6.1±0.2 cd	(6)	0.6±0.3 a	
2006年4月19日播種 品種:「湯あがり娘」 C圃場, 碎土率:37%	無被覆	11.1±0.3 a	-	-0.0±0.3	-	98.8±1.2 a	17.7±0.2 a	17	0.6±0.1 a	
	無被覆(平)	11.1±0.0 a	-0.5~0.5	-0.0±0.3	-0.5~0.5	96.6±3.0 a	17.5±0.1 a	18	0.6±0.1 a	
	黒マルチ	12.8±0.4 b	1.2~2.4	1.7±0.4	1.2~2.4	98.0±1.3 a	13.4±0.4 b	15	1.3±0.2 b	
	Sマルチ	11.6±0.2 a	-0.1~1.1	0.5±0.4	-0.1~1.1	100.0±0.0 a	16.5±0.5 a	17	1.0±0.2 ab	
	べたがけ	13.8±0.2 b	1.5~3.4	2.7±0.6	1.5~3.4	100.0±0.0 a	12.3±0.3 b	14	0.8±0.1 ab	
	Sマ+べた	13.6±0.2 b	1.9~3.1	2.5±0.4	1.9~3.1	100.0±0.0 a	12.1±0.3 b	14	0.8±0.1 ab	
2006年4月28日播種 品種:「湯あがり娘」 B圃場, 碎土率:49%	無被覆	15.4±0.2 a	-	0.3±0.2	-	96.7±1.5 a	12.4±0.6 a	12	0.9±0.2 a	
	無被覆(平)	15.6±0.2 ac	-0.1~0.7	0.3±0.2	-0.1~0.7	96.7±2.3 a	12.5±0.3 a	11	1.1±0.2 a	
	黒マルチ	17.2±0.1 b	0.4~3.0	1.8±0.9	0.4~3.0	92.4±3.1 a	10.1±0.4 bc	10	0.5±0.1 a	
	Sマルチ	15.4±0.1 a	-0.8~0.8	0.0±0.5	-0.8~0.8	86.7±6.0 a	11.9±0.4 ab	12	1.0±0.3 a	
	べたがけ	16.8±0.4 bc	0.6~2.0	1.4±0.5	0.6~2.0	92.2±3.2 a	11.0±0.4 abc	11	0.7±0.2 a	
	Sマ+べた	17.7±0.5 b	1.0~3.4	2.4±0.9	1.0~3.4	95.6±2.8 a	9.7±0.4 c	10	0.7±0.1 a	

1) 各区, 畝毎に出芽率時系列データを Richards 関数で近似して応答特性値を算出し (2005年4月26日播種は2畝/区, それ以外は6畝/区), その平均値±標準誤差を示した。応答特性値の Vi は最終出芽率, Me は出芽率が Vi の50%となる播種後日数, Qu は出芽率が Vi の25%から75%になるのに要する日数の1/2, である。出芽率が100%の場合, および Vi > 100 となる場合には Vi を100に固定して近似した。同一播種日で, 同じアルファベットを含まない処理区間には有意差がある (5%水準, Tukey 法による)。

2) 「Sマルチ」は「スリットマルチ」, 「Sマ+べた」は「スリットマルチ+べたがけ」

3) 播種翌日から10日間の平均地温で, 各区内の4測定点の平均±標準誤差。同一播種日で, 同じアルファベットを含まない処理区間には有意差がある (5%水準, Tukey 法による)。

4) 播種翌日から10日間について, 1日毎に, 無被覆とそれ以外の各区との日平均地温差を求めた。その10日間 (10データ) の平均±標準誤差, および範囲 (最小値~最大値) を示している。

5) 出芽所要日数の「推定」は, 図7bの直線回帰式から導いた有効積算温度法を用いて各区の地温から計算したものの。

表4 各種被覆資材による地温効果(各被覆資材下の平均地温：深さ5cm. 播種翌日から10日間の平均地温および無被覆との地温差)および応答特性値\*  
(品種は湯あがり娘, 圃場は表3のC圃場に同じ).

播種日 碎土率	処理区†	平均地温*		無被覆との地温差*		Vi, %	出芽所要日数		Qu, 日
		°C	範囲	平均±SD	範囲		Me, 日	推定*	
2007年 4月26日播種 碎土率：68%	無被覆	15.2±0.2 a	-	-	-	72.5±13.2 a	12.4±0.2 a	12	0.8±0.0 a
	黒マルチ	16.0±0.1 a	0.8±0.3	0.4~1.3	-	98.4±1.7 a	10.0±0.0 bc	11	0.5±0.0 a
	緑マルチ	16.1±0.2 a	0.9±0.4	0.5~1.6	-	96.9±3.1 a	8.9±0.1 cd	11	0.5±0.0 a
	透明マルチ	19.2±0.1 b	4.0±1.2	2.5~5.4	-	93.4±3.4 a	8.3±0.4 cd	9	0.4±0.1 a
	べたがけ	17.8±0.4 c	2.6±0.8	1.4~3.4	-	93.1±3.3 a	10.9±0.5 ab	10	0.9±0.2 a
	黒マ+べた	19.2±0.1 b	4.0±1.2	2.4~5.4	-	100.0±0.0 a	9.0±0.3 cd	9	0.5±0.1 a
	緑マ+べた	19.3±0.2 b	4.2±1.3	2.4~5.7	-	100.0±0.0 a	8.4±0.0 cd	9	0.4±0.1 a
	透マ+べた	21.2±0.4 d	6.0±1.7	3.3~8.0	-	100.0±0.0 a	7.7±0.5 d	8	0.6±0.1 a
	無被覆	17.1±0.3 a	-	-	-	98.9±1.2 a	10.3±0.1 a	10	0.5±0.0 ab
	黒マルチ	17.0±0.1 a	-0.1±0.4	-0.6~0.7	-	98.6±1.4 a	9.0±0.1 b	10	0.7±0.0 a
2008年 4月24日播種 碎土率：35%	透明マルチ	21.9±0.4 b	4.8±1.4	1.9~6.5	-	96.8±0.1 a	7.6±0.0 c	8	0.5±0.0 ab
	べたがけ	19.4±0.2 c	2.3±0.5	1.2~3.0	-	97.8±2.3 a	8.6±0.1 b	9	0.4±0.0 b
	黒マ+べた	19.9±0.2 c	2.9±0.7	1.3~3.8	-	98.6±1.4 a	8.0±0.1 bc	9	0.5±0.1 ab
	透マ+べた	23.7±0.2 d	6.6±1.4	3.3~8.6	-	97.0±3.0 a	7.3±0.3 c	7	0.5±0.0 ab

\*応答特性値は, 各区2畝について畝毎に出芽率時系列データをRichards関数で近似して算出し, 2畝の平均値±標準誤差を示した. 応答特性値, 平均地温, 無被覆との地温差, および出芽所要日数の「推定」についての説明は表3と同じ. ただし, 地温測定点数は2007年は7~8点, 2008年は8~12点. 平均地温および応答特性値について, 同一播種日で, 同じアルファベットを含まない処理区間には有意差がある(5%水準, Tukey法による).

†「黒マ+べた」は「黒マルチ+べたがけ」, 「緑マ+べた」は「緑マルチ+べたがけ」, 「透マ+べた」は「透明マルチ+べたがけ」

呂, 1993)ので本稿では詳しくは示さないが, 各種被覆資材の地温効果と日射量との関係などは, それらの知見と同様の傾向が見られた。

地温効果のさらに細かい変動をみるために, 10分間平均地温の日変化の例を図2~図3に示した。透明マルチ区やべたがけ区の地温は, 晴天日の昼間には著しく高くなった。2008年の4月末から5月はじめにかけては, 平年を大きく上回る高い気温となったため, 透明マルチ区の地温は最高で40°C前後に達した(図3)。それに対して, 2005年および2006年の, 黒マルチ区でみられた地温効果は, 昼夜間差が小さかった。穴あきマルチを用いた2007年および2008年の黒マルチ区と緑マルチ区では, 昼夜を通じて地温効果は小さく, 2008年の黒マルチ区では日の出以降の地温上昇が, 無被覆区よりも抑制される傾向がみられた。

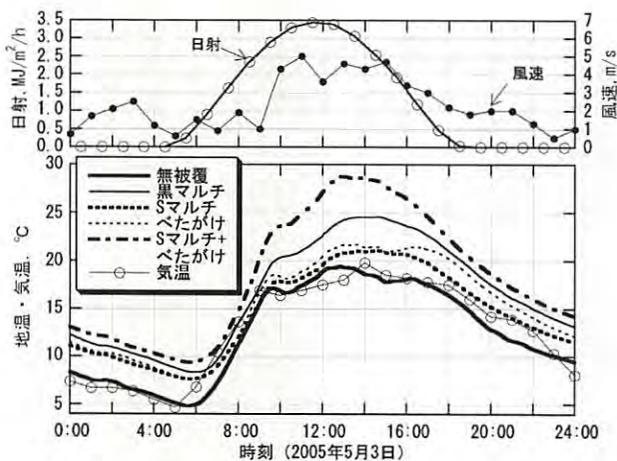


図2 各区の地温の日変化の例(2005年5月3日)

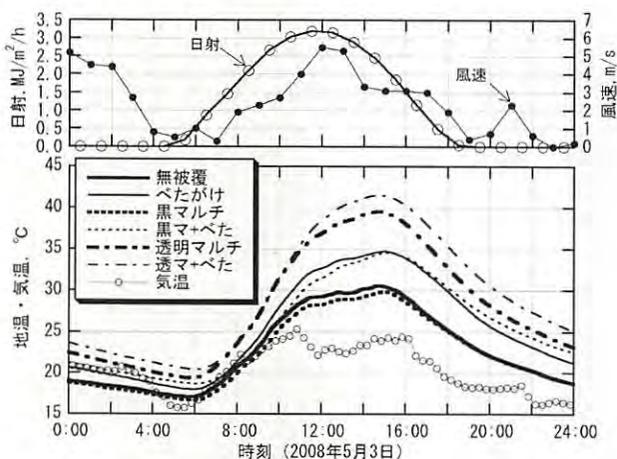


図3 各区の地温の日変化の例(2008年5月3日)

表3および表4から, 同じ試験区でも, 作期によって地温効果の差異の傾向が若干異なることが窺われる。その原因は, 日射などの気象条件の差異による地温効果の差異に加え, 土壌水分(鈴木・棚田, 1988), 被覆資材と畝との密着度(瀬尾ら, 2001)などの種々の要因により畝表層での熱収支の状況が異なるためと推察される。碎土率も, 通気性, 土壌水分, ポリマルチと畝との密着度などの要因に影響を及ぼすため, 結果的に地温効果に影響を及ぼすと考えられる。

## 2. 畝被覆の土壌水分への影響

各処理区における, 土壌表層の体積含水率の推移を図4および図5に示した。各被覆資材下の体積含水率の経時変化について, 以下のような一貫した傾向がみられた。

(1)無被覆で土壌が乾燥していくような場合(降水量が蒸発量より著しく少ないような条件)には, ポリマルチ被覆下の表層土壌の体積含水率の低下速度は小さくなった。べたがけ下土壌の体積含水率の推移は, 無被覆土壌のそれに近かった(図4-a)。

(2)体積含水率が比較的小さい状況下で強い降雨のあった後など, 無被覆では体積含水率が急激に増加するような場合でも, ポリマルチ被覆下土壌の体積含水率の変化は小さかった。

ポリマルチ被覆下の土壌水分は, 無被覆やべたがけ下に比べて, 明らかに変化が小さく安定しているといえる。そのため, 過乾燥・過湿による発芽障害や水の鉛直方向の移動による養分の溶脱を軽減できる可能性が推察される。

なお, 無被覆の場合, 平畝では畝立てをした畝(畝高さ約20cm)と比較すると, 体積含水率の低下が緩慢で, 降雨後の体積含水率の上昇は急である。この測定データからも, 重粘土畑では, 畝立てにより湿害の危険性が低下することが推察される。

## 3. 出芽率の時系列データ

各処理区における出芽率の推移の例を, 図6に示した。図中の曲線は, Richards関数で近似したものである。Richards関数により, おおむね精度よく近似することができており, 出芽率, 出芽の速さ, 出芽のばらつきなどが処理区によって大きく異なることが直感的に理解できる。

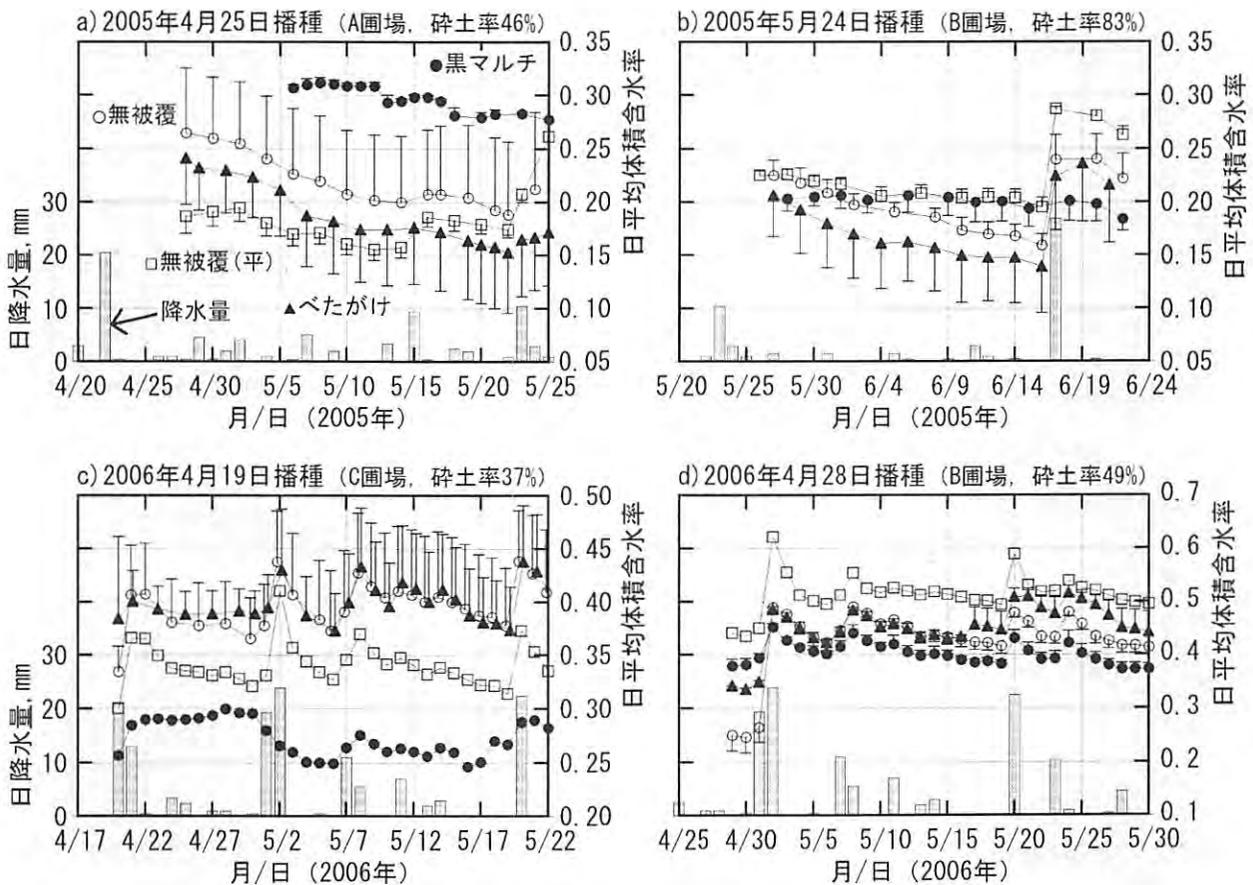


図4 播種後の畝内土壌水分の推移(2005年および2006年の試験)

土壌水分は表層10cmの平均的な体積含水率。c)の無被覆(平)と黒マルチ、およびd)の無被覆(平)は1点のみの測定、それ以外の測定値は2点の平均値で、エラーバーの長さは標準誤差を示すが、見やすさを考慮してデータ点の上または下いずれか一方のみにつけている。また、複数の区のデータ点が重なる場合、見やすさを考慮して、トレンドの把握に支障のない範囲でデータを非表示にしたり、数時間分の幅をずらして表示するなどしている。凡例は全て共通。日降水量の軸スケールは左右の図で共通。耕うんは、全て、播種の前日に実施。マルチ展転、べたがけ敷設は播種日(播種後)に実施。べたがけ除去日(月/日)は、a)が5/27、b)が6/21、c)が5/9、d)が5/16。砕土率は、耕うん時の畝表層10cmの値で、採取土壌の2cmふるい通過率(重量%)。

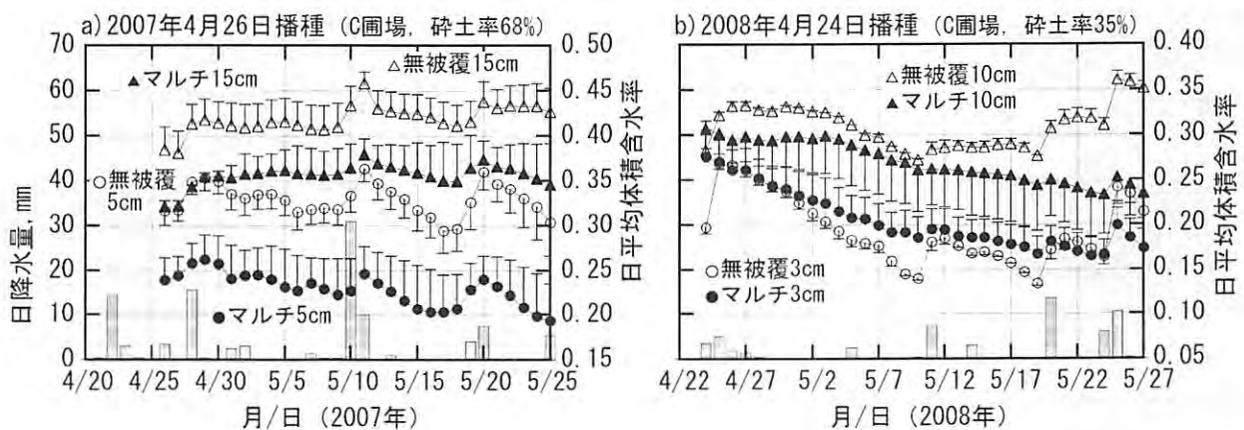


図5 播種後の畝内土壌水分の推移(2007年および2008年の試験)

体積含水率測定値は2点の平均値で、エラーバーの長さは標準誤差を示すが、見やすさを考慮してデータ点の上または下いずれか一方のみにつけている。日降水量(棒グラフ)の軸スケールは左右の図で共通。耕うん(同時マルチ展転)実施日(月/日)は、a)が4/20、b)が4/17。圃場は、図3(c)のC圃場と同一圃場。砕土率の説明は図3と同じ。

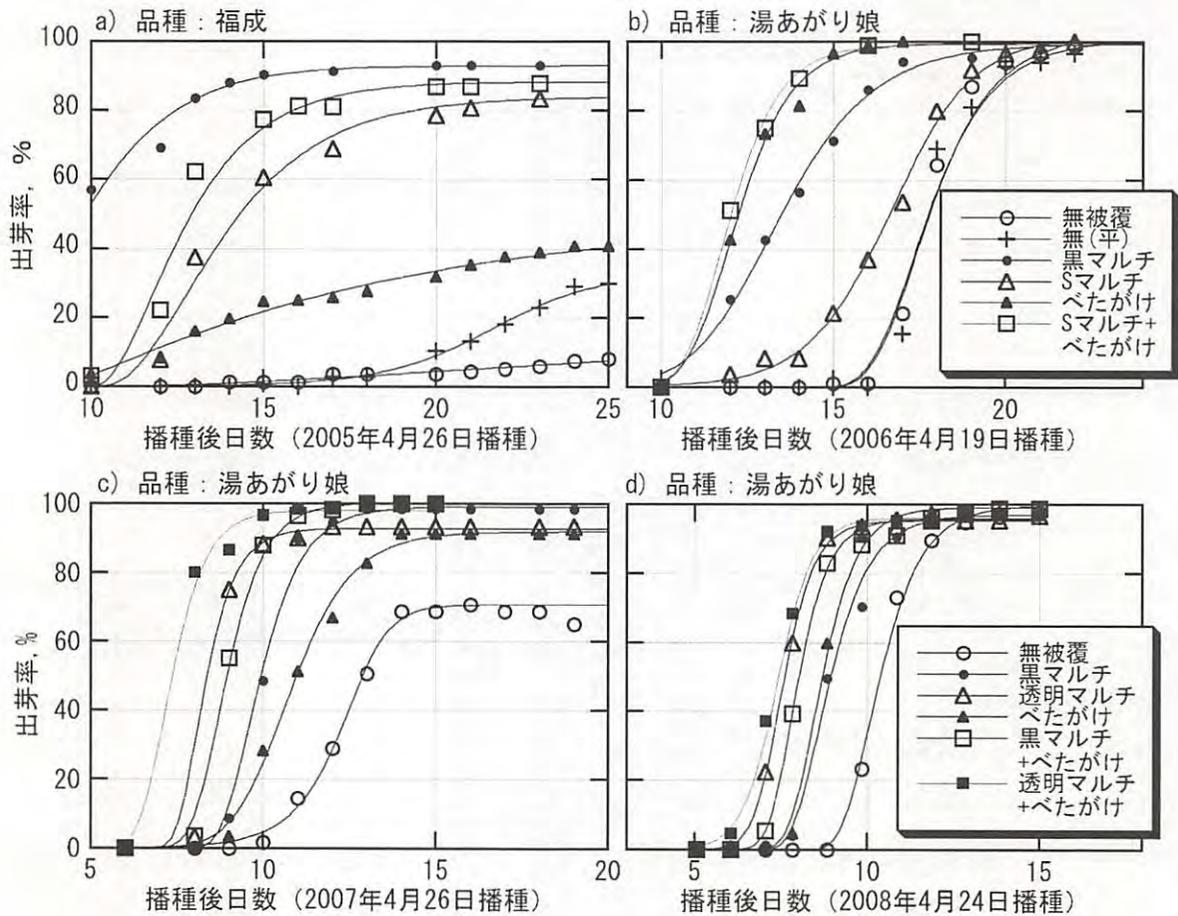


図6 各区の出芽率の推移の例

凡例は、aとbは共通、cとdは共通。「無(平)」は、「無被覆(平)」。「Sマルチ」は「スリットマルチ」を示す。出芽率は各区内の畝毎(2006年4月19日播種は各区6畝、その他の播種日では2畝)の出芽率を平均した値をプロットした。曲線はリチャーズ関数で近似したもの。

表3および表4には、Richards関数による近似式の係数から算出した応答特性値を示した。ただし、表に示した応答特性値は、各処理区内の畝毎(2畝/区または6畝/区)の出芽率時系列データをRichards関数で近似して得られた、畝毎の応答特性値を平均したものである。

4. 地温と出芽所要日数の関係

「出芽日」を出芽個体群の代表的な出芽日とするなら、出芽率時系列データをRichards関数で近似した際の応答特性値 $Me$ (中央値)は出芽までの所要日数と考えることができる。2006年~2008年の試験で用いた品種「湯あがり娘」について、2006年に行った温室での試験の結果を加えて、播種翌日から出芽日までの平均地温と $Me$ との関係をプロットすると図7aのようになった。なお、平均地温は以下のように計算した。すなわち、 $Me$ の小数点以下を四捨五入したも

のを出芽所要日数として出芽日を決め、播種翌日から出芽日までの日平均地温を平均した。 $Me$ は、平均地温に対して、図7a中の曲線で示されるような双曲線の関係となる。この図から、地温が低くなると出芽までの所要日数が急激に増大することがわかる。したがって、低温期には、被覆資材により地温を若干でも高められれば、出芽促進に効果的である。用いた資材の中で、透明ポリマルチは特に地温効果が高く、出芽促進効果は大きい。生育期間中の雑草対策に課題があるが、低温期の透明ポリマルチの利用は、出芽を早め、収穫時期の早期化にも有効と考えられる。

また、 $Me$ の逆数は、平均DVRであり、上記の平均地温との関係をプロットすると図7bのようになる。 $DVR_{sg}$ と平均地温とは直線関係にあると考えられた。したがって、図7bの直線回帰式から、播種から出芽に要する有効積算温度( $AET_{sg}$ )および基準温

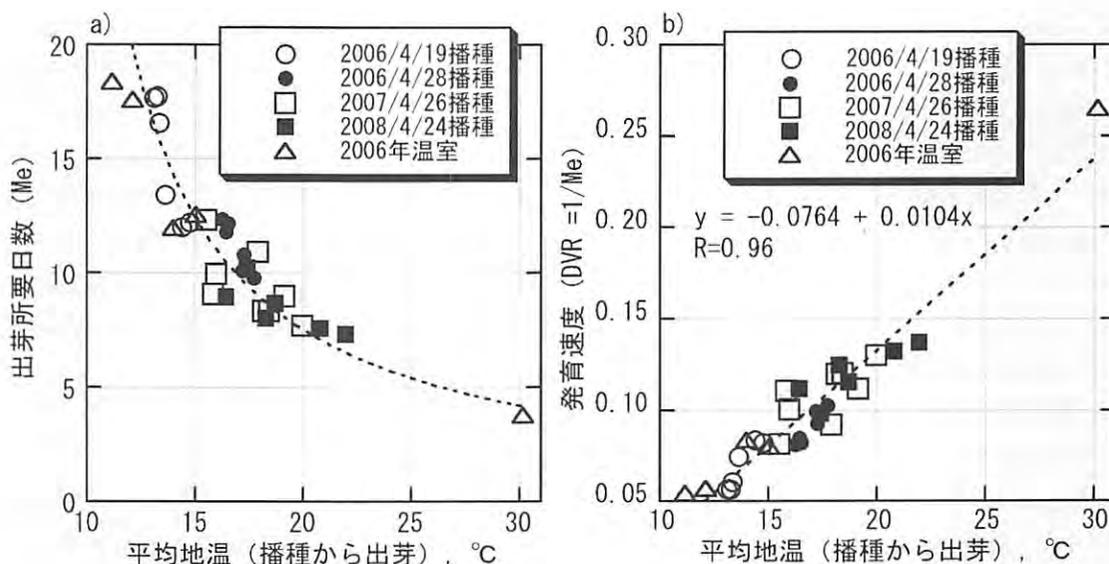


図7 播種から出芽までの平均地温と出芽所要日数 (a)および発育速度(DVR) (b)との関係(品種：湯あがり娘)

度、 $(T_b)$ が、式4および式5を用いて以下のように求められる。

$$AET_{sg} = 1/0.0104 \approx 96.2$$

$$T_b = -(-0.0764/0.0104) \approx 7.3$$

この $AET_{sg}$ と $T_b$ の値を用いて、エダマメの出芽所要日数を推定することができる。表3および表4に示した「推定」の出芽所要日数は、播種翌日からの各区の日平均地温から、式2により計算した有効積算地温が、初めて $96.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 以上になる日を推定出芽日とした場合の播種から出芽に要する日数である。なお、2005年の試験で用いた品種は「福成」であるので、表3では「推定」の出芽所要日数は括弧つきで示してある。

### 5. 出芽の遅れ、ばらつき、および出芽率の低下

前項でも述べたが、表3および表4に示した、各処理区の予測と実測の出芽所要日数はおおむねよく一致しており、有効積算温度法を用いて各処理区の実際の出芽日をよく説明できると考えられる。しかし、何らかの出芽阻害要因があると、実際の出芽は地温からの推定よりも遅れるものと考えられる。

温度とともに、出芽に及ぼす決定的要因は水分条件である。ダイズは、主要作物の中では種子が大き

い方であり、発芽に必要な吸水量は大きい。高橋ら(2008)によると、播種床の土壤の水分ポテンシャルが $-0.01\text{MPa}$ (約 $pF_2$ )では、土塊の大きさ(圃場では碎土率が関係)に関わらず、1日以内にダイズの発芽に必要な吸水量が得られるという。一般に、本研究の試験地のような北陸の積雪地帯では、雪どけ後の平年の降水量や蒸発量を考慮すれば、4月下旬から5月中旬にかけて圃場が過度に乾燥するケースは少ないと考えられる(吉田ら, 1997)。したがって、その時期には、耕うん直後に播種すれば、種子の発芽に必要な初期吸水は確保されるものと推察される。しかし、4月下旬から5月上旬の晴天日には、日射が強く空気飽差も大きい条件となりやすく、耕うんにより通気性のよくなった表層土壌は急激に乾燥するケースも大いに考えられる。仮に、種子の初期吸水は十分であったとしても、低温期の場合には発芽後の生育が遅く、その間に耕うんした表層土壌の乾燥が進むと、出芽が阻害されるあるいは遅延するリスクが大きくなる可能性も考えられる。

2005年4月26日播種においては、出芽所要日数 $Me$ が地温から予測される出芽所要日数より無被覆区ではおよそ9日~11日、べたがけ区ではおよそ5日大きくなっており、さらにそれらの区では最終的な出芽率 $V_i$ が大きく低下している。2005年4月26日以降の降水量をみると、いずれも日降水量 $5\text{mm}$ 以下であるが、播種後の降水日数は、本研究の他の播種日

後の期間に比較して少ないわけではない。しかし、無被覆およびべたがけ区では表層10cmの体積含水率は降雨に対応して高まっていない。この原因は、耕うん後の表層の碎土率が46.2%と低かったために、粗大間隙により表層土壌の排水性がよく、短時間の降雨では土塊の水分含量が十分に高まらなかったためと推察される。一方、同じ播種日の黒マルチ区およびスリットマルチ区では、予測される出芽日からの遅れは、それぞれ0日および2日程度であった。最終的な出芽率 $V_i$ はそれぞれ93%および84%と良好であり、出芽のばらつきを表す $Q_u$ も小さい。黒マルチ区では播種後の表層土壌の体積含水率の低下が見られず(図4a)、出芽のための好適な水分条件が維持されたものと考えられる。

ただし、図4、図5に示した体積含水率は、播種位置付近の水分状況を示しているものではない。図4の体積含水率の値は、表層0-10cmの平均的な値であり、播種深度である表層3cm程度の深さの土壌水分はそれよりも低かったものと推察される。また、黒マルチ区の体積含水率は、ポリマルチ被覆下の値であるが、播種位置ではマルチフィルムに播種穴が空いているため、穴のあいていない場所に比べて、無降雨時には乾きやすく、逆に降雨時には雨水を受けて湿りやすい。特に、2007年および2008年の試験では穴あきマルチを用いたので、その傾向が顕著であると推察される。ポリマルチ被覆によって乾燥による出芽阻害リスクを回避する効果を定量的に明らかにするには、播種位置の土壌の水収支など、さらに検討が必要である。

なお、「湯あがり娘」と「福成」という品種の違いにより、出芽における温度反応に差異があることも推察されるが、2005年4月26日播種の試験において、地温が無被覆区と同程度のスリットマルチ区、および、べたがけ区と同程度の黒マルチ区では、 $M_e$ と推定出芽日がほぼ一致しており、同試験における無被覆区およびべたがけ区の出芽遅延は、品種の違いが原因である可能性は低い。

2007年の無被覆区においては、出芽所要日数は地温による予測とほぼ一致していたものの、最終的な出芽率が70%未満に低下していた。また、べたがけ区においては、最終的な出芽率は90%を超えたものの、 $M_e$ は地温からの推定出芽所要日数よりも若干大きくなっていた。これらの区では、タネバエ(の幼

虫)による食害が目視により確認されており、それが出芽率の低下あるいは出芽遅延の原因と推察された。ポリマルチ被覆をした区ではタネバエの被害が少なく、良好な出芽・苗立ちが得られており、ポリマルチ被覆がタネバエによる被害を抑制する効果をもつ可能性がある。その原因については、今のところ想像の域を出ないが、ポリマルチ被覆がタネバエの産卵・孵化を抑制する可能性、などが考えられる。

## 6. おわりに

これまでも、スリット入りマルチと貼付マルチ(いずれもポリエチレン製)を組み合わせて、出芽および出芽後の生育環境の温度を高めることにより、新潟県内における4月上中旬の直播でも安定的に栽培できることが示されている(羽田野, 2004)。しかし、その技術は資材費と労力の面で、水稲複合経営農家が取り組むには困難と考えられる。

本研究の結果、黒色ポリマルチのみの被覆でも、上越地域の平野部での4月下旬播種では出芽苗立ちは十分に安定すると考えられた。本研究の試験では、黒色ポリマルチの地温効果が小さいこと、そのため低温期では地温があがらず出芽までに長い時間(例えば2週間程度)を要するものの、良好な出芽・苗立ちが確保できることが示された。また、同様に無被覆で出芽までに長時間を要しても出芽・苗立ちが確保できるケースも少なくなかった。これらのことから、水分条件さえ良好であれば出芽は確保されることが考えられ、ポリマルチ被覆は主として表層土壌の乾燥抑制により出芽を安定させるということが示唆される。ただし、無被覆区で出芽・苗立ちが良好な場合でも、ポリマルチ被覆をした方が無被覆区あるいはべたがけ区よりも増収しており(一部既報、片山ら, 2009a)、低温期のポリマルチ被覆の収量面での有利性を確認している。

不織布のべたがけは、地温効果は高いものの、土壌水分変化を抑制する効果は小さいと考えられた。べたがけは鳥害(播種から出芽直後までに多い)の防止の面では有効と想像されるが、機械化が難しい、ポリマルチと比べて資材費が高い、といったマイナス面もある。

ポリマルチ被覆を用いた直播により、例えば上越地域の平野部では、直播開始時期を従来の5月中下

旬から4月下旬まで早めることが可能となり、直播エダマメの出荷開始時期を早めることができる。ただし、早期直播では出芽後も低温で経過することから、最終的な収穫開始時期をどれだけ早めることができるかは別途検討する必要がある。あわせて、低温・長日条件での栽培に適した品種の選定も必要となる。これらの点については別報で報告したい。

耕うん・マルチ・播種同時作業機を利用したエダ

マメの早期直播栽培は、すでに生産現場での実証試験により、実用規模への適応性、早期出荷の面での有効性、収量増効果をj確認している(細川ら, 2009; 片山ら, 2009b)。現状では、重粘土転換畑で耕うん条件が悪い場合には適用が難しいなどの課題もあるが、これらの問題を克服すれば、今後さらに普及が期待される。

## IV 摘 要

本研究では、北陸地域の重粘土転換畑において、従来よりも直播エダマメの播種時期を前進化する方策として、ポリマルチ被覆・不織布べたがけの有効性を明らかにしようとした。2005年から2008年までの4年間、4月下旬播種を中心とした計6作期において、重粘土転換畑でポリマルチ被覆および不織布によるべたがけをしてエダマメを直播栽培する試験を行い、畝内の温度・水分環境、出芽状況を調査し、以下の結果を得た。

(1) 播種後10日間の平均的な地温効果(地温を上昇させる効果)は、被覆資材の種類により大きく異なり、透明ポリマルチ(穴あき)では4~5℃、不織布のべたがけでは2℃前後、黒色ポリマルチでは、穴の大きさや量など条件の違いにより0℃~2℃程度であった。

(2) ポリマルチ被覆の上に不織布のべたがけをした場合は、それぞれの資材の地温効果の相加的な効果があると考えられた。

(3) ポリマルチ被覆により、無被覆や不織布のべたがけと比較して畝内土壌水分の乾燥が抑制されることが示された。

(4) 各種ポリマルチ被覆と不織布のべたがけによる出芽促進は、有効積算地温と関連づけられた。品種、「湯あがり娘」について、出芽に要する有効積算地温は96.2℃・日(基準温度:7.3℃)であった。

(5) 本研究での6作期のうち、無被覆の区では2作期、不織布のべたがけをした区で1作期において、出芽率の低下や出芽遅延(地温から推定される出芽日からの遅れ)が見られたのに対して、ポリマルチ被覆では、全ての作期で良好な出芽・苗立ちがみられた。

以上の結果、重粘土転換畑においてもポリマルチ被覆が、畝内土壌の乾燥抑制などを通じて低温期の直播エダマメの出芽・苗立ちを安定化させると考えられた。

## V 引用文献

- 1 羽田野一栄(2004)収穫機(ハーベスタ)に対応した早生エダマメの直播栽培技術と草姿改善. エダマメ研究, 2(1), 52-53.
- 2 Hara, Y.(1999) Calculation of population parameters using Richard's function and application of indices of growth and seed vigor to rice plants. *Plant Prod. Sci.*, 2, 129-135.
- 3 原 嘉隆(2000)植物群の生育を表現する応答特性値と種子勢の指標としての利用. 農及園, 75, 1081-1090.
- 4 細川 寿(2004)重粘土転換畑における大豆の湿害回避技術. 平成15年度研究成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2003/kanto/kan03005.html>
- 4 細川 寿・足立 一日出・松崎 守夫・伊藤 公一(2005)碎土性を向上させる耕うん同時畝立て作業技術の開発. ファーミングシステム研究, 7, 46-53.
- 5 細川 寿・片山 勝之・細野 達夫・塩谷 幸治(2009)耕うん同時畝立て作業機による野菜の同時マルチとエダマメのマルチ直播技術. 平成20年度研究成果情報(共通基盤・作業技術), <http://>

- www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2008/01narc/narc08-02.html.
- 6 片山勝之・細野達夫・細川寿(2009a)被覆資材と被覆尿素を併用した早期直播栽培がエダマメの生育, 収量に及ぼす影響. 北陸作物学会報, 44, 46-49.
  - 7 片山勝之・細野達夫・細川寿・塩谷幸治(2009b)マルチを利用した播種前進化による直播エダマメの作期拡大技術. 平成20年度研究成果情報(関東東海北陸農業・北陸・水田作畑作), [http://narc.naro.affrc.go.jp/chousei/shiryou/kankou/seika/kanto20/12/20\\_12\\_07.html](http://narc.naro.affrc.go.jp/chousei/shiryou/kankou/seika/kanto20/12/20_12_07.html).
  - 8 小寺孝治(2003)"マルチ・べたがけ資材と利用". 五訂 施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会, 東京, 75-84.
  - 9 新潟県経営普及課他(2003)"えだまめ". 野菜栽培のマニュアル. 新潟県農林水産部農産園芸課編, (社)新潟県農林公社, 352-368.
  - 10 鮫島良次(2000)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. 農研センター報, 32, 1-119.
  - 11 瀬尾理恵・鈴木晴雄・アッチャーナ デュアンパン・松井年行・藤目幸擴(2001)フィルムマルチと畦の凹凸が地温に及ぼす影響. 農業気象, 57, 135-144.
  - 12 鈴木晴雄・大島哲二・瀬尾理恵・ヨニィ クスマリョーノ(1996)マルチ栽培畑における地温の測定点数とマルチ効果. 香川大学農学部学術報告, 48, 47-58.
  - 13 鈴木晴雄・大呂肇(1993)ダイズのマルチ栽培における地温の水平分布とマルチ効果. 農業気象, 49, 27-34.
  - 14 鈴木晴雄・棚田英雄(1988)フィルムマルチ下地温の水平方向のバラツキとマルチ効果. 農業気象, 44, 119-126.
  - 15 高橋智紀・細川寿・松崎守夫(2008)重粘土転換畑における土壌鎮圧によるダイズ種子の吸水促進効果. 土肥誌, 79, 1-7.
  - 16 吉田修一郎・伊藤公一・足立一日出(1997)重粘土転換畑への冬期作物の導入による圃場の排水性の改善. 土壌の物理性, 76, 3-12.

# Effect of Mulching and Row Cover on Soil Temperature and the Emergence of Early Direct-Seeded Edamame (*Glycine max*) in an Upland Field Converted from Rice Paddy in the Hokuriku Region of Japan

Tatsuo Hosono \* , Katsuyuki Katayama \* and Hisashi Hosokawa \*

## Summary

We tested the effects of mulching and row cover on soil temperature, soil water content, and the emergence of early direct-seeded edamame (*Glycine max*) in a heavy clayey upland field converted from a rice paddy in the Hokuriku region of Japan. These effects were tested for 6 planting dates over a period of 4 years (2005-2008). Five of the 6 seeding dates were in late April. The mulching materials were polyethylene film with the colors black, green (transparent to some degree), and clear. A spunbonded fabric was used for the row cover. The plots included no-cover plots (control), mulched plots, row covered plots, and plots that received a combination of mulching and row cover. We measured soil temperature and soil volumetric water contents in the surface layers of the rows, and the seedling emergence date in each plot.

The results are summarized as follows :

- 1) The average temperature was increased by 4-5°C, 0-2°C, and about 2°C respectively, compared with the no-cover controls, when transparent film mulch, black film mulch, and row cover were used. The effect of green mulch was similar to that of black mulch. The increases in soil temperature with black film mulch seemed to vary with the area of the opening, which might affect the ventilation rate between the space beneath the mulch and the ambient air.
- 2) The combination of row cover with mulching had an additive effect on the temperature increase.
- 3) Mulching reduced the variation in soil volumetric water content compared with the no-cover control.
- 4) The length of the period from seeding to emergence depended on soil temperature. The growing degree days (effective accumulated soil temperature) to emergence were calculated to be 96.1°C · days with a base temperature of 7.3°C.
- 5) We observed high rates of early seedling emergence in all the mulched plots, while emergence was inhibited in the no-cover plots for some planting dates.

We conclude that mulching with polyethylene films can safely advance the seeding date of edamame in this region.