

# 埼玉県内におけるダイズ低収要因の解析と実現性のある対策の提案

丹野和幸

(埼玉県農業技術研究センター玉井試験場)

**要旨**：2016 年～2021 年の収量データの解析によると、埼玉県内で栽培されたダイズ品種「里のほほえみ」の経済的収量は主に生物学的収量によって決定され、収穫指数の影響は極めて小さかった。そのため、現状のダイズ栽培の評価は収量構成要素への分解よりも全重計測や成長解析によって実施されるべきであると考えられた。埼玉県におけるダイズの生物学的収量の低迷は、群落の葉面積指数が不十分となっていることに起因すると考えられ、対策として播種期の早期化もしくは晩播における密植栽培の実施が有効であると考えられた。しかし、早播を導入できる面積は米麦との作業競合によって限定的であり、晩播密植栽培では供給可能な種子量が不足するという問題が考えられた。そのため、早播疎植栽培で余らせた種子量を晩播密植栽培に充てるという栽培体系が現実的であると考えられた。

**キーワード**：採算、栽植密度、生物学的収量、早播、ダイズ、播種期、晩播、密植。

ダイズの多収に関する研究は数多く実施されてきており、それらの研究では良好な栽培試験結果を示している(農林水産省 2005)。しかし、研究上での取り組みが様々な実施されてきたにもかかわらず、近年の埼玉県のダイズ単収は 100 kg/10a 前後を推移しており、現地でダイズ単収はほとんど向上していないか、むしろ低下傾向にある(農林水産省 2021)。

ダイズの収量を制限しうる要因としては、病虫害(植竹・酒井 2019)や土壌環境(小田原ら 2012)など様々な要因が報告されており、それらの改善によって増収が可能である。実際、埼玉県内での栽培試験においても 400 kg/10a 以上の多収が記録されている(植竹・酒井 2019)。しかし、実際の栽培現場において何が単収の制限要因となっているかは不明である。

そこで本研究では、埼玉県内の過去 6 年間にわたる「里のほほえみ」(2021 年で埼玉県ダイズ 657 ha 中 442.5 ha の作付けがある中核品種)の試験場内および現地生産圃場の収量データを解析し、実際に埼玉県内で収量を制限している要因が何であるかについて作物学および経営的な観点の両面から考察し、実現性のある解決策について検討した。

## 材料と方法

### 1. 栽培試験データの収集

2016 年～2021 年の間に埼玉県農業技術研究センターが調査した試験場内および県内生産者の現地圃場での「里のほほえみ」の経済的収量(精子実重)、生物学的収量(地上部風乾重)、播種時期のデータを収集した。栽培地は熊谷市(42 点)、加須市(12 点)、鳩山町(6 点)、深谷市(17 点)である。土壌分類から見ると、灰色低地土(48 点)、未熟低地土(6 点)、褐色低地土(6 点)、グライ黒ボク土(17 点)であった。調査時期はいずれも成熟期で、地上部を地際か

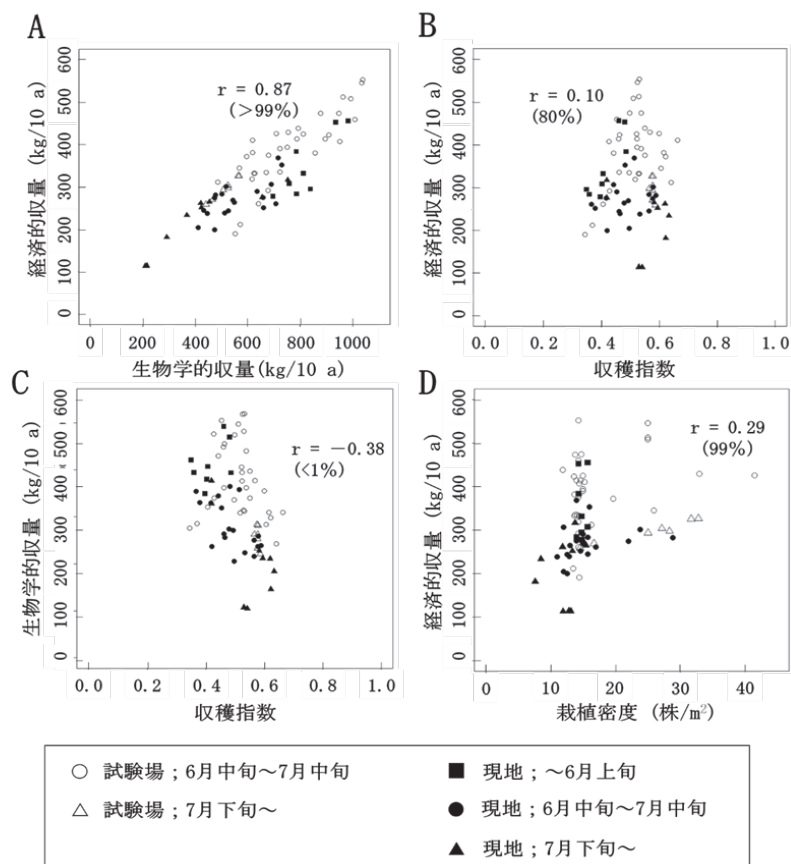
ら一定の面積を刈り取る坪刈り調査を実施した。坪刈り面積は 3～7 m<sup>2</sup> 程度である。つまり、データの各点は坪刈り 1 か所分のデータを表している。坪刈り後、網室で風乾し、地上部風乾重を計測後脱粒し、精子実重を計測した。品質については、精子実を農林水産省の検査規格(農林水産省「豆類の被害粒等の限界基準解説書」)に従って分類した。

### 2. 成長解析

2021 年に、埼玉県農業技術研究センター玉井試験場内圃場(北緯 36.169°, 東経 139.352°, 標高 35 m, 灰色低地土宝田統・埴壤土)においてダイズ「里のほほえみ」の栽培と成長解析を実施した。基肥は 10a 当たり N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 3 kg:10 kg:10 kg で全層施用し、チアメトキサム・フルジオキソニル・メタラキシル M 水和剤で消毒した種子を条間 30 cm で播種し、トリフルラリン粒剤を施用した。出芽後に間引いて株間 10 cm(密植)および 25 cm(疎植)の区を設けた。播種は 6 月 24 日、7 月 20 日、8 月 5 日の 3 回実施し、1 試験区の面積は 10 m × 9 条の 27 m<sup>2</sup> とした。在圃期間中の病虫害防除は適宜実施した。播種後 20 日頃(天候により圃場に入れない日があったため、6 月播種は 19 日後、7 月播種は 24 日後、8 月播種は 20 日後となっている)、開花期、開花後 32 日に擬似反復として各区の 3 地点から 4 株ずつ抜き取りを実施し、葉、茎および葉柄、莢、主根に分け、葉面積を測定したのち 80 °C で 48 時間通風乾燥し、乾物重を測定した。なお、側根と根粒は正確なサンプリングが困難なため、すべて除去した。なお、日長は国立天文台のさいたま市の値を、気温は熊谷地方気象台の値を用いた。

### 3. 経営試算

ダイズの播種量増加に伴う費用と、増収に伴う売上および費用の変動について試算した。種苗費は県内の種苗価格



第1図 埼玉県内の「里のはほえみ」の生物学的収量、収穫指数および経済的収量の関係（2016年～2021年）。  
 (A) 生物学的収量と経済的収量の関係。(B) 収穫指数と経済的収量の関係。(C) 収穫指数と生物学的収量の関係。(D) 栽植密度と経済的収量の関係。  
 $r$  はピアソンの積率相関係数を、括弧内は相関係数が0を上回る確率を示す。図下部に播種時期および調査場所の記号との対応を示した。

を、交付金は2020～2022年度適用の経営所得安定対策を参考にした。埼玉県内の作付状況等および、その他の費用や売上等は埼玉県農林部生産振興課および大里農林振興センターから聞き取りによって情報収集した。種子更新率は、埼玉県米麦改良協会から聞き取り調査した。具体的には、埼玉県米麦改良協会から県内生産者に配布された種子量を10aあたり播種量6kgと仮定して更新面積を算出し、これを当年の埼玉県のダイズ作付面積で割った数値を用いた。

#### 4. 統計解析

RとStanを用いてベイズ統計の枠組みで実施し、それぞれの区のデータは平均値と分散が異なる正規分布（相関係数の解析は2変量正規分布）から生成されると仮定し、事後分布から相関係数や、2群の平均値の差が0を上回る確率を算出した。パラメータの事前分布については無情報事前分布を用いた。ベイズ統計学による仮説検定は、伝統的統計学のp値と異なり、対立仮説の成立確率を直接推定できるため、解釈が容易になるというメリットがある（松浦2016）。また、p値のようにサンプルサイズに比例して小さくなることはないため（島田・井関2019）、実験計画

段階でサンプルサイズを厳密に制御する必要がなく、過去のデータを収集して解析する研究との親和性が高いと考えられる。

## 結 果

### 1. 埼玉県内ダイズの生物学的収量および収穫指数と単収との相関

ダイズ単収低迷の原因を調査するため、埼玉県内における「里のはほえみ」の2016年～2021年の栽培データを収集し、生物学的収量、収穫指数（経済的収量/生物学的収量）と経済的収量の相関を調査した。その結果、ダイズ単収を意味する経済的収量は、生物学的収量との相関係数が0.87と極めて高いのに対し、収穫指数との相関は0.10と低くなっていた（第1図A, B）。生物学的収量と収穫指数との間には、-0.38という弱い負の相関がみられた（第1図C）。なお、栽植密度と経済的収量には弱い正の相関がみられたが、本研究での栽植密度はほとんどの調査区において地域慣行の15株/m<sup>2</sup>前後に集中しておりばらつきが少なかった（第1図D）。生物学的収量や経済的収量は晩播になるに従い減少する傾向がみられ（第1図A）、生物学的収量は、

第1表 ダイズの品質区分割合と収量との相関係数.

		品質区分								
		整粒	未熟粒	しわ粒	裂皮粒	吸害粒	食害粒	紫斑粒	褐斑粒	その他
平均粒比 (%)	試験場	73.8**	1.8	3.8**	7.4	4.5	2.3**	0.1	2.2**	4.0*
	現地	63.6	15.2**	2.0	7.4	7.4**	0.6	0.7**	1.0	2.3
相関係数	経済的収量	0.05	-0.24**	0.23**	0.22**	-0.07*	-0.12*	0.01	-0.24**	0.17**
	生物学的収量	-0.17**	-0.08*	0.20**	0.34**	0.17**	0.09*	0.00	-0.35**	0.09*
	収穫指数	0.41**	-0.18**	-0.01	-0.29**	-0.54**	-0.45**	0.00	0.27**	0.11*

\*; 平均粒比では平均値がもう一方の区を, 相関係数では絶対値が0を上回る確率が70%以上, \*\*; 同90%以上.

第2表 晩播ダイズの発育相推移 (2021年).

播種日	出芽期	開花期	成熟期	出芽～開花			開花～成熟		
				日数	平均気温 (℃)	平均日長 (時間)	日数	平均気温 (℃)	平均日長 (時間)
6月24日	6月29日	8月4日	10月28日	36	26.4	14.3	85	22.5	12.4
7月20日	7月27日	8月25日	11月10日	29	27.0	13.7	77	20.2	11.8
8月5日	8月13日	9月14日	11月25日	32	25.3	13.0	72	17.3	11.2

第3表 ダイズ播種後20日頃～開花期の成長解析.

播種日	栽植密度	CGR (g/m <sup>2</sup> /d)	LAI	NAR (g/m <sup>2</sup> /d)
6月24日	密植	14.1*	1.5*	9.4
	疎植	7.4	0.8	9.3
7月20日	密植	10.8*	1.6**	6.8
	疎植	6.3	0.8	7.9*
8月5日	密植	6.7*	1.1**	6.1
	疎植	4.0	0.6	6.7*

\*: 平均値が同播種日のもう一方の区を上回る確率が70%以上,

\*\* : 同90%以上.

第4表 ダイズ開花期～開花32日後の成長解析.

播種日	栽植密度	CGR (g/m <sup>2</sup> /d)	LAI	NAR (g/m <sup>2</sup> /d)
6月24日	密植	10.8	4.6*	2.3
	疎植	11.2	3.1	3.6
7月20日	密植	13.1*	3.6**	3.6
	疎植	6.6	1.8	3.7
8月5日	密植	15.6*	3.1**	5.0
	疎植	10.4	1.8	5.8*

\*: 平均値が同播種日のもう一方の区を上回る確率が70%以上,

\*\* : 同90%以上.

～6月上旬播種では平均825 kg/10 a, 6月中旬～7月中旬播種では平均688 kg/10 a, 7月下旬～の播種では平均447 kg/10 aとなった. また, 生物学的収量の最大値/最小値は5.0程度であるのに対し, 収穫指数の最大値/最小値は1.9程度であった. なお, 10 a当たりの施肥量はいずれの試験区も地域慣行のN:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 3 kg:10 kg:10 kgであり, 追肥を実施した圃場はなかった. また, 調査圃場はすべて灌水を実施しない天水栽培で, 排水に関してはいずれも明渠は施工されていたが畦立てを実施した圃場はなく, その他の排水対策の実施は不明であるが, 達観では降雨後数日にわたって湛水するような顕著な排水不良圃場は認められなかった.

また, 品質区分の調査結果を試験場・現地別にまとめるとともに, 経済的収量生物学的収量, 収穫指数と各品質区分の粒比の相関係数を算出した. その結果, 整粒比は試験場のほうが高い傾向にあった. しかし, 各品質区分と経済的収量や生物学的収量との間の相関係数はいずれの区分においても絶対値が0.4未満と小さかった (第1表). なお, 生物学的収量が600 kg/10 aを超えた辺りから, 現地の収穫指数

が試験場よりも低くなる傾向がみられた (第1図C). 現地では試験場と比較して未熟粒や吸害粒が多く, 吸害粒や食害粒比は収穫指数との間に負の相関が認められた (第1表).

## 2. 晩播ダイズの成長解析

晩播ダイズの生物学的収量の低下要因を調査するため, 2021年に, 6月24日, 7月20日, 8月5日播種のダイズについてそれぞれ密植区と疎植区を設け, 成長解析を実施した. 出芽から開花までの日数や開花から成熟までの日数は, 7, 8月播種では慣行の6月播種よりも短くなっていた (第2表). 播種後20日頃から開花期まではいずれの播種期でも密植区で葉面積指数 (LAI) が高いことによって個体群成長速度 (CGR) が高くなっていた (第3表). 開花期から開花後32日においては, 6月播種では, ばらつきが大きいものの密植区の純同化率 (NAR) が低下することによって LAI の差が補償され CGR は疎植区とほとんど変わらなくなっていた (第4表). ところが, 7月と8月播種においては密植区の NAR 低下率が比較的小さく, 密植区で LAI が高いことによって CGR が高くなっていた (第4表).



第5表 ダイズ播種量の増加に伴う収益性の試算.

播種量 1 kg 増加に伴って変動する費用 (/10 a)	円
種子 * (1 kg 当たり; 埼玉県産里のほほえみ)	710
種子消毒剤 (種子 1 kg 当たり; チウラム水和剤)	105
計 (A)	815
増収 1 kg に伴って変動する売上・費用 (/10 a)	円
販売価格 (1 kg 当たり; 3 等)	176.7
数量払い交付金 ** (1 kg 当たり; 2020~2022 年度適用)	165.5
調製施設利用料 (1 kg 当たり)	-20
紙袋代 (1 kg 当たり)	-2.9
検査手数料 (1 kg 当たり)	-0.7
計 (B)	318.6
A ÷ B (単収 121 kg/10 a 以上)	2.6
A ÷ B (単収 121 kg/10 a 未満)	5.3

\* ; 2018 年産種子の更新率は 44.2 %

\*\* ; 単収 121 kg/10 a 未満での増収の場合計上されない

### 3. 播種量増加に伴う経営試算

埼玉県内の生産者および関係機関からの聞き取り調査をもとに、播種量の増加に伴う費用の増加と、増収に伴う売上および関連する費用の増加を計上することで、密植栽培の採算性について試算した。その結果、播種量を 1 kg/10 a 増やすのに必要な費用は 815 円であるのに対し、増収 1 kg/10 a によって 320 円程度収入が向上し、播種量増加 1 kg/10 a 当たり 2.6 kg/10 a 増収すれば採算が取れることが明らかとなった (第 5 表)。なお、ダイズの経営所得安定対策の数量払い交付金 (9930 円/60 kg) の増加は、単収が 121 kg/10 a 未満の範囲での増収の場合は面積払い交付金 (20000 円/10 a) と相殺されるため計上されないことに注意する必要がある。そのため、121 kg/10 a 未満の範囲では、採算をとるのに播種量 1 kg/10 a の増加当たり 5.3 kg/10 a の増収が必要である。なお、埼玉県の 2018 年産「里のほほえみ」の種子更新率は 44.2 % であった (第 5 表)。

## 考 察

### 1. ダイズ単収と生物学的収量

現行の栽培条件においては、ダイズの経済的収量は生物学的収量によってほぼ決定されており (第 1 図)、埼玉県内のダイズ単収の低迷は生物学的収量の低迷であると換言できる。ダイズ栽培法の評価については、一般に各収量構成要素の比較が用いられることが多い。収量構成要素による解析は、各要素間のトレードオフを調整し、主に収穫指数の向上を目的に解析していると言える (楠谷 2010)。しかし、本研究の結果によると、埼玉県内のダイズの経済的収量は主に生物学的収量によって変動しており、ダイズの生物学的収量の最大値と最小値では 5 倍程度の開きがあるのに対し、収穫指数では 2 倍以下の開きしかなく、収穫指数のばらつきが経済的収量に及ぼす影響が生物学的収量と比

較して小さくなっていた (第 1 図 A, B)。そのため、現状では生物学的収量の改善のほうが高い増収効果があると考えられ、栽培法の評価は、収穫指数を中心に見る収量構成要素への分解より、生物学的収量の解析を中心とした成長解析や全重による評価のほうが適切であると考えられた。今後、栽培体系の改善等により、生産者間のダイズ生物学的収量のばらつきが減少すれば、収穫指数の改善による収量改善効果が相対的に大きくなるため、収量構成要素による評価の有用性が増してくると思われた。

病害虫防除の差が経済的収量に及ぼす影響が大きい場合、虫害や病害粒比は生物学的収量や経済的収量と負の相関を示すと考えられる。しかし、各品質区分の割合すべてにおいて生物学的収量や経済的収量との相関は小さかった (第 1 表)。なお、子実以外を加害する病害虫の発生は把握できていないが、子実被害が多い圃場は防除が不足しており茎葉への被害も多いと仮定すると、生物学的収量と各品質区分の間に負の相関が示されると想定されるが、両者の相関は低いことから、茎葉を加害する病害虫の影響は小さいと推察された (第 1 表)。つまり、本研究の調査範囲では病害虫防除が生物学的収量や経済的収量に及ぼす影響は小さいと考えられた。また、調査圃場間での施肥設計と灌水管理に差はなく、排水対策にも顕著な違いは見られなかった。栽植密度に関しては、ほとんどが慣行の 15 株/m<sup>2</sup> 前後であるにもかかわらず大きな収量差が生じていた (第 1 図 D)。以上より、本研究における生物学的収量や経済的収量の変動は播種期による影響が大きいと考えられた。

### 2. ダイズの播種期と乾物生産

生物学的収量の低下は晩播栽培で顕著であり、乾物生産の低迷要因として晩播による影響が大きいと考えられた (第 1 図 A)。生物学的収量は CGR と生育日数の積であるため、第 2 表に見られるような晩播による総生育日数の短縮は生物学的収量の低下要因となる。同一播種日でのダイズの生育日数は品種により異なるが (大庭 1985)、品種転換は収量性以外にも様々な要因によって決定され、手間も大きいので容易ではない。様々なダイズ品種において日長と積算気温のみから総生育日数が精度高く予想可能である (中野ら 2015) ことから、品種が同じである限り晩播栽培において総生育日数を延長することは困難であると考えられた。

また、本研究でのダイズ晩播栽培において、密植区においても光飽和による NAR の低下がみられず、CGR が高くなった (第 3 表, 第 4 表)。つまり、晩播栽培では開花までの生育期間が短いため、慣行と比較して LAI が不十分なまま開花し、総生育日数の低下に加えて開花期以降の CGR が低くなることによっても乾物生産が低下すると考えられた。ブラジルのリオグランデ (南緯 32.03°, 西経 52.10°; ケッペンの気候区分では日本の大部分と同じ温暖湿潤気候 Cfa に属する) で実施された様々な早晩性を持つダイズ品

種の作期移動試験では、播種期と生育期間中の LAI 最大値の関係を報告している (Tagliapietra ら 2018)。その結果、中生、晩生品種の場合は 9 月 20 日から晩播になるにつれて生育期間中の LAI 最大値は単調減少し、早生品種では 11 月 10 日頃を最大値とする上に凸の二次関数で近似された。南半球の結果であるためこれを半年逆にして北半球の結果として考えると、供試した全ての早晩性の品種で 5 月 10 日より播種が遅れると LAI 最大値は減少したことになる。また、アメリカ各地での播種期別のダイズ栽培試験の収量データをまとめて解析した報告によれば、いずれの緯度帯において早晩性の異なる品種を用いた試験においても、播種日が 5 月下旬から 6 月上旬以降になるにつれて急激に相対収量が低下している (Egli and Cornelius 2009)。また、日本でも広島県における栽培試験で、ダイズ収量は LAI 最大値との相関が高く、収穫指数と類似した指標である粒茎比とは有意な相関が認められないという報告があり (島田ら 1990)、本研究の傾向と類似している (第 1 図 A, B)。以上より、ダイズ栽培では多くの場合、最適 LAI を下回ることによって減収していると考えられた。中世古 (1984) によれば、北海道での 5 月 18 日播種におけるダイズ「十勝長葉」の最適葉面積指数は、開花 2 週間～開花期で 2.2、開花期～開花 2 週後で 3.5、開花 2 週後～4 週後で 5.9、開花 4 週後～6 週後で 6.1 程度であると報告している。地域や品種、作期が異なるため単純な比較はできないが、本研究での LAI はこれを大幅に下回っており (第 3 表、第 4 表)、埼玉県内現地の栽植密度は本研究の設定よりも低いことがほとんどであるため、ダイズ晩播栽培では基本的に LAI が不足していると考えられた。

また、小林・國光 (2016) によると、日本のダイズ単収は逓減傾向にあるものの、全体の生産効率自体は緩やかに向上しており、近年の単収低迷は経営規模の拡大によって面積当たりの労働投入が減少したこと起因したとされている。埼玉県ではかつて 5 月中旬～6 月上旬頃に麦の畦間にダイズを播種する間作型が一般的であったが、作業体系の機械化に伴い麦あと栽培が主流となり (長谷川ら 1981)、現在では播種作業は 6 月下旬ころから始まることが多い。この時期のダイズの播種作業は水稻作との競合が大きく、長梅雨の年には播種期が大幅に遅れる場合もある (上野ら 2003)。これらを本研究の結果と合わせて考えると、作業の機械化に伴う作期や経営面積の変化により、多くの圃場でダイズの播種期が晩播化したため、LAI が不足し単収が低迷していると考えられた。

### 3. LAI 確保のための方策

ダイズ単収向上には、LAI を早期に十分に確保することが必要であると考えられた。葉面積は葉枚数と葉一枚当たりの面積の積で考えられるが、ここでは葉枚数増加によって LAI を確保する議論に絞る。日本においてはほとんどの場合、倒伏防止の観点から、有限伸育型品種が用いられて

いる (加藤 2020)。有限伸育型の生育を示す植物では、花成誘導後に主茎や分枝の頂芽も含めた全てのメリステムがフロリゲンに反応して生殖相に転換するため (Moraes ら 2019)、花成誘導以降は葉原基が新生しない。つまり、葉枚数は花成誘導までの期間の長さとおおよそ面積当たりの個体数によって決まることになる。

花成誘導までの期間については、ダイズは量的短日植物であるため、夏至以降の播種では開花までの期間は基本的に短縮する (大庭 1985)。また、出葉速度は温度に比例して早まり (星・滝澤 2008)、開花まで日数は日長と温度をもとにした発育予測モデルで高精度に予測できる (中野ら 2015)。つまり、これらは同一品種内であれば主に播種期によって変動すると考えられ、先述した早播の有効性とも一致する。一方、面積あたり個体数については、播種量や苗立率を向上させることで増加する。実際、本研究においてもダイズの栽植密度の増加による LAI の増加がみられ、開花期～32 日後の CGR は 1.5～2 倍程度になっている (第 3 表、第 4 表)。つまり、ダイズの生物学的収量を高めるには、播種期を早めるか、晩播の場合は密植栽培が必要であると考えられた。

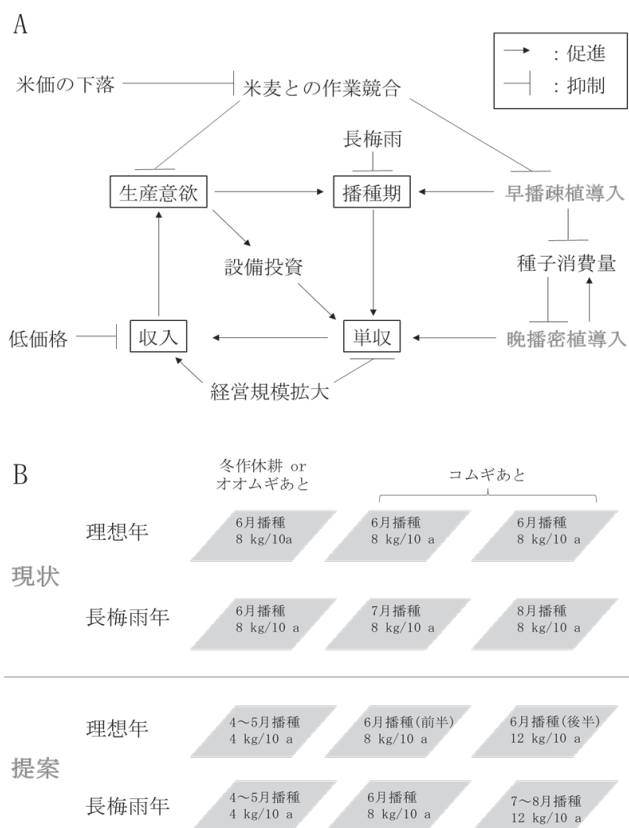
### 4. 技術普及における課題

ここまで、ダイズ単収の向上には早播ないしは晩播密植栽培の導入が有効であることを示した。次は、これらの導入が経営上可能なのかについて考える。まず、早播については、近年の米価下落傾向 (榎木 2021) からダイズ経営の重要性は水稻と比較して相対的に高まっているため、冬季休耕圃場であれば水稻作より優先して作業をするという選択が考えられる。また、麦あと圃場であっても、埼玉県内の麦類 5990 ha のうち 970 ha は 5 月中旬頃に収穫されるオオムギであることから (農林水産省 2021)、こうした圃場では早播が可能であると考えられた。ただし、6 月中旬頃に収穫されるコムギ作付け圃場 (埼玉県内で 5020 ha) での早播は困難であると考えられるため、早播の導入が可能な圃場は一部にとどまると考えられた。

晩播における密植栽培では、播種量 1 kg の増加当たり、おおよそ 3 kg/10a 以上の増収があれば採算がとれる (第 5 表)。持田 (2016) の報告では、7 月 18 日播種の「リュウホウ」で、収量は疎植区 25.6 株/m<sup>2</sup> の場合 235 kg/10 a、密植区 51.3 株/m<sup>2</sup> の場合 327 kg/10 a と 90 kg/10 a 程度の増収効果が確認されている。種子百粒重を 40 g、出芽率を 80% としたとき、当該研究での疎植はおおよそ播種量 12.8 kg/10 a 相当であり、密植は 25.6 kg/10 a 相当であるため、播種量の増加は 12.8 kg/10 a であり、33 kg/10 a (交付金を加味しない場合では 68 kg/10 a) 程度の増収で採算が取れる。そのため、晩播時の密植栽培は有望な対策の一つであると考えられた。

一方で、先述の通り埼玉県の 2018 年産「里のほほえみ」の種子更新率は 44.2% にとどまっており、採種農家の減





第2図 埼玉県内のダイズ栽培の課題と提案。

(A) 埼玉県内ダイズの単収に影響を及ぼす要因。(B) 早播疎植栽培と晩播密植栽培を組み合わせた栽培体系の提案。保有する圃場を分割し、3時期に分散播種したときの各時期の面積当たり必要播種量を示す。

少等により種子供給が不足し自家採種の割合が多くなっている。ダイズ種子は時間経過に伴う発芽能の低下が著しく、特に常温保管では採種後2回目の夏を経験すると急激に発芽率が低下することが報告されている(内川ら2012)。先行研究は発芽率の調査であるため、出芽能や初期生育の低下はより短期間の保管で顕在化すると考えられる。一般的な生産農家は種子の貯蔵施設を保有していないため、保管期間の長い晩播ダイズにおいては特に自家採種種子ではなく購入種子の利用が推奨されるが、生産者は慣行栽培の播種量を想定して前もって種子を購入するため、播種期が遅れたからと言って播種量を増やすことは困難である。県全体で種子供給が不足しているため、あらかじめ多めに購入しておく選択も困難である。また、面積払い交付金や水田活用の直接支払交付金を考慮すると、播種を実施する圃場を絞って播種量を増やすという選択も考えにくい。これらの要因によって、晩播密植栽培の推進は限定的になっていると考えられた。

## 5. 実現可能性のある対策の提案

ここまでの議論から、早播栽培では米麦作との競合、晩

播密植栽培では種子量の供給不足の問題があり、全面的にこれらの栽培法に移行することは困難であると考えられた。そこで、現実的な案として、早期疎播と晩播密植を組み合わせ、種子量一定の条件下でLAIを確保する方法を提案したい(第2図A)。つまり、ダイズ30haを経営しているとすれば、10haを早播疎植、10ha慣行とし、早播疎植で浮いた種子量を10haの晩播密植に充てて作業分散するという方法である(第2図B)。この方法であれば、購入種子量を増やさずにLAIを確保することが可能である。また、早播では貯蔵期間が短いため、自家採種種子を使用しても問題が起りにくいと考えられる。

ダイズの早播栽培の導入にあたってはいくつかの課題がある。例えば、生育日数が長くなることにより、過繁茂や徒長による倒伏のリスクが高まることが報告されている(大賀ら1987)。これに対し、生育途中の摘心処理によって成長点を切除すると、倒伏程度が軽減することが報告されている(箕田ら2015)。また、先述のように早播栽培では同一栽植密度条件下でのLAI最大値が大きくなる(Tagliapietraら2018)ため、慣行栽培と同一の播種量では最適LAIを超過して過繁茂となり、徒長していると考えられる。栽植密度の低下に伴い節間伸長が抑制され、草高やLAIが低下し過繁茂や徒長は抑制される(島田ら1990, Matsuoら2018)ため、早播の場合は疎植にすることでこれらの問題を軽減することができると考えられる。なお、早播には他にも裂皮粒が増加するという課題があり、「里のほほえみ」でもその傾向がみられている(中山ら2018)。裂皮粒の発生率は面積あたりの粒数や粒茎比と負の相関を示し(内川ら2006)、粒茎比は早播栽培や密植栽培で低下する傾向にあることが報告されている(島田ら1990)。そのため、裂皮粒はシンク/ソース比がソース過剰状態となった場合に発生しやすいと考えられており(内川ら2006)、本研究においても裂皮粒比は生物学的収量と正の相関、収穫指数と負の相関を示している(第1表)。つまり、裂皮粒の増加は過繁茂や徒長による倒伏と類似した機構で起こっていると考えられるため、同様の対策で低減できる可能性がある。第2図Bに示した作期ごとの播種量は仮定であるため、今後は各播種期における適正栽植密度やLAIの目標値を詳細に明らかにしていく必要があると考えられた。

本研究では、ダイズ単収の低迷要因と対策について議論し、現実的な対策を提案した。なお、本研究では影響が相対的に小さい収穫指数の改善についての議論は、単収改善に限って見た場合優先順位が低いと考えられるためここまで触れなかったが、生物学的収量が600 kg/10aを超えた辺りから、現地の収穫指数が試験場よりも低い傾向がみられ(第1図C)、特に吸害粒比は試験場より現地で多く、なおかつ収穫指数との間にやや大きい負の相関がみられている(第1表)。埼玉県のダイズ栽培ではカメムシ類の被害が特に顕著であり、防除頻度は品質面への影響がきわめて大きい、収量にも影響する場合がある(植竹・酒井2019)。そ

のため、本研究では試験場と現地栽培のカメムシ防除頻度の差が収穫指数に影響したと考えられた。播種時期によってダイズ病害虫の発生長は異なるため(村上ら 1981)、本研究で提案した対策に次いで、早播・晩播における病害虫防除法についても研究を進める必要があると考えられた。

**謝辞：**本論文の内容についてご意見・ご指摘いただいた埼玉県農業技術研究センター箕田豊尚氏に感謝申し上げます。調査や情報提供にご協力いただいた埼玉県農林部生産振興課、大里農林振興センター、東松山農林振興センター、加須農林振興センターに感謝申し上げます。

## 引用文献

- Egli, D. B. and Cornelius, P. L. 2009. A regional analysis of the response of soybean yield to planting date. *Agron. J.* 101: 330-335.
- 長谷川英世・渡辺耕造・金田悟・小川信太郎 1981. 麦あと(晩播)大豆の栽培法に関する研究. 埼玉県農業試験場研究報告 37: 1-14.
- 星信幸・滝澤浩幸 2008. 晩播狭畦栽培が大豆の生育及び収量に及ぼす影響. 日作東北支部報 51: 65-66.
- 加藤信 2020. ダイズの生産性向上のための伸育型制御に関する育種学的研究. *育種学研究* 22: 196-200.
- 小林創平・國光洋二 2016. 日本の大豆作生産性の変化とその特徴. *農業経済研究* 88: 173-177.
- 楠谷彰人 2010. 収量. 作物学用語辞典. 日本作物学会編. 農文協, 東京. 58-59.
- Matsuo, N., Yamada, T., Takada, Y., Fukami, K. and Hajika, M. 2018. Effect of plant density on growth and yield of new soybean genotypes grown under early planting condition in southwestern Japan. *Plant Prod. Sci.* 21: 16-25.
- 松浦健太郎 2016. Stan と R でベイズ統計モデリング. 共立出版, 7-17.
- 箕田豊尚・関口孝司・加藤徹 2015. 摘心がダイズ在来品種「行田在来」の収量および倒伏に及ぼす影響. 埼玉県農林総合研究センター研究報告 14: 39-43.
- 持田秀之 2016. 東北日本海側において播種期、栽植密度および1株本数がダイズの生育収量に与える影響. *東北農研報* 118: 69-77.
- Moraes, T. S., Dornelas, M. C. and Martinelli, A. P. 2019. FT/TF1: calibrating plant architecture. *Front. Plant Sci.* 10: 97.
- 村上正雄・藤田耕朗・石川元一 1981. ダイズ晩播栽培における病害虫の発生被害動向と防除法. 埼玉県農業試験場研究報告 37: 15-26.
- 中野聡史・熊谷悦史・島田信二・鮫島良次・大野宏之・本間香貴・白岩立彦 2015. ダイズ品種の發育モデルの作成と気温上昇が發育速度に及ぼす影響の広域推定. 日作紀 84: 408-417.
- 中世古公男 1984. 豆類の乾物生産特性に関する研究. 北海道大学農学部邦文紀要 14: 103-158.
- 中山則和・山本亮・細野達夫・大野智史 2018. ダイズ品種「里のほへみ」における裂皮粒の発生に及ぼす播種時期の影響. 日作紀 87: 183-191.
- 農林水産省 2005. 大豆の安定・多収を目指して 2. 我が国における大豆研究の取り組み. 農林水産研究開発レポート 13: 7-15.
- 農林水産省 2021. 令和 2 年産 作物統計. 84-90.
- 小田原孝治・福島裕助・荒木雅登・兼子明・荒巻幸一郎 2012. 筑後川流域の田畑輪換圃場における土壌肥沃度とダイズ子実収量性の実態. *土肥誌*. 83: 405-411.
- 大庭寅雄 1985. 農業技術体系 作物編 6 ダイズ 基礎編. 農文協, 東京. 85-91.
- 大賀康之・平野幸二・三善重信・森藤信治 1987. 早播大豆の品種・栽培法. 福岡県農業総合試験場研究報告 A-6: 47-52.
- 島田英昭・井関龍太 2019. 「統計的に有意」で満足していませんか? - 統計的帰無仮説検定の問題と対応 -. *知能と情報* 31: 82-90.
- 島田信二・広川文彦・宮川敏男 1990. 山陽地域の水田転換畑高収量ダイズに対する播種期および栽植密度の効果. 日作紀 59: 257-264.
- Tagliapietra, E. L., Streck, N. A., da Rocha, T. S. M., Richter, G. L., da Silva, M. R., Cera, J. C., Guedes, J. V. C. and Zanon, A. J. 2018. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. *Agron. J.* 110: 932-938.
- 榎木誠 2021. 農政展望(第 93 回) 米価低迷で危機に直面, 日本のコメ作り. *農業協同組合経営実務* 76: 82-85.
- 内川修・福島裕助・佐藤大和・田中浩平・松江勇次 2006. ダイズ「サチユタカ」における裂皮粒の発生と播種時期、栽植密度との関係. 日作紀 75: 23-27.
- 内川修・田中浩平・岩渕哲也・宮崎真行・平田朋也 2012. 大豆種子の貯蔵条件と発芽能力との関係. 福岡県農業総合試験場研究報告 31: 13-15.
- 上野敏昭・重松統・大岡直人 2003. 大豆不耕起狭畦無培土栽培の生育特性と雑草抑制効果. 埼玉県農林総合研究センター研究報告 3: 147-148.
- 植竹恒夫・酒井和彦 2019. ダイズ子実吸汁性カメムシ類の被害軽減に向けた IPM の実証. *埼玉農技研報* 18: 23-30.

## Analysis of Factors Causing Low Soybean Yield in Saitama Prefecture (Japan) and Proposal of Feasible Countermeasures

Kazuyuki TANNO (*Saitama Agr. Tec. Res. Cent. Tamai Branch, Kumagaya 360-0853, Japan*)

**Abstract:** According to the analysis of yield data from 2016 to 2021, the economic yield of soybean cultivar 'Satonohohoemi' grown in Saitama prefecture was mainly determined by biological yield, and the effect of harvest index was very small. Therefore, the evaluation of soybean cultivation should be conducted by total weight measurement and growth analysis, not by decomposition into yield components. It was considered that the low biological yield of soybean in Saitama was caused by the insufficient leaf area index of the soybean canopy. As a countermeasure, sowing earlier or dense planting in late sowing was considered to be effective. However, the area where early sowing can be introduced is limited due to work conflicts with rice and wheat, and the amount of seed supply is insufficient for late dense sowing. Therefore, it was considered that a cultivation system in which the amount of seed left over from early sparse sowing was used for late dense sowing would be more realistic.

**Key words:** Biological yield, Dense-planting, Early sowing, Late-sowing, Planting date, Planting density, Profitability, Soybean.