

愛知県におけるダイズ「フクユタカ」の多収阻害要因とその指標化

森崎耕平¹⁾・平岩 確¹⁾・武井真理²⁾・久野智香子³⁾・伊藤幸司¹⁾

摘要: 愛知県における2015年から2017年のダイズの子実重が250kg/10a未満となる多収阻害要因は、高い土壌水分、少ない莢数、高い倒伏程度、低い大粒比率、高い苦土/加里であった。多収阻害要因として指標化した中で、「倒伏程度3.5以上」、「1m²あたりの莢数700未満」、「耕盤直上の作土の体積含水率が0.4m³/m³以上または地下水位-25cm以上の時間が750時間以上」の有効性が2018年と2019年に確認された。洪積地域の排水性良好なほ場では、「全炭素含量1.5%、全窒素含量0.13%以上」によって大粒比率の向上が可能であった。多収を得るためには、排水対策技術により良好な排水性を確保した上で、倒伏軽減技術や土壌化学性や土壌物理性の改善技術を組み合わせる必要があると考えられた。

キーワード: 大豆、収量、倒伏、大粒比率、土壌水分

Investigation and Quantification of Low-yield Factors in the Soybean Cultivar 'Fukuyutaka' in Aichi Prefecture

MORISAKI Kohei, HIRAIWA Kaku, TAKEI Mari, KUNO Chikako and ITO Kouji

Abstract: High soil moisture, a high lodging index, a low ratio of large seeds, and a high MgO/K₂O resulted in a soybean yield of less than 250 kg in Aichi Prefecture in 2015-2017. In 2018 and 2019, low yield was associated with 'lodging index 3.5 or higher,' 'pod number less than 700 per square,' and 'time of high soil moisture (volumetric water content more than 0.4 m³/m³ or groundwater level more than -25 cm) more than 750 hours.' In a low-moisture field with sticky yellow diluvial soil in the Nishi-Mikawa region, a TC of more than 1.5% and a TN of 0.13% produced a significant proportion of large seeds. To achieve high soybean yields, it is important to maintain low soil moisture initially, keep a low lodging index, and optimize soil chemistry and physical properties.

Key Words: Soybean, Low-yield, Lodging, Soil moisture, Soil chemistry

本研究は「農林水産省委託プロジェクト研究多収阻害要因の診断法及び対策技術の開発」により実施した。

¹⁾作物研究部 ²⁾環境基盤研究部(現農業経営課) ³⁾環境基盤研究部(現作物研究部)

(2024.9.4受理)

緒言

国産ダイズはその品質の高さから需要が多く、その安定生産が求められているが、北海道を除く日本のダイズは転作田での作付けが大半で、収量は不安定となっており、東海地域では近年、収量が減少傾向となっている¹⁾。愛知県の令和2年産におけるダイズの作付面積は4370 haで全国9位となっているが、単収は130 kg/10aと全国平均の161 kg/10aを下回っている¹⁾。ダイズの需要は今後増加するとされており¹⁾、ダイズ収量向上は全国的に喫緊の課題となっている。愛知県は農研機構や他道県の公設試と2015年から2019年まで農林水産省委託プロジェクトに参画し、プロジェクトの収量目標に達しない部分刈り収量250 kg/10a未満を低収として、生育量や土壌化学性、土壌物理性、土壌水分を詳細に調査し、ダイズの多収阻害要因の指標化を試みた²⁾。ダイズの多収阻害要因は湿害、干ばつ、雑草害、病虫害、倒伏など複雑に起因していることが多く、その指標化は容易ではない。例えば同じ低収ほ場でも、病虫害や雑草害による低収と湿害による低収を同じ低収として、ほ場間で土壌化学性などを比較しても正確に多収阻害要因を解析できない。そこで、ほ場観察や農家への栽培管理の聞き取りで主な多収阻害要因を調査し、通常の栽培と比較して特殊な栽培管理や栽培条件のほ場を可能な限り除くことで、より直接的にダイズの多収を阻害している要因について解析した。

材料及び方法

1 調査ほ場の設置

表1に示したとおり、洪積地域として安城市、沖積地域として西尾市を選定し、2015年から2017年まで、1農家2～5ほ場の調査ほ場を設置し、委託プロジェクトの収量目標に基づき、部分刈りの子実重250 kg/10a未満を低収ほ場、それ以上を高収ほ場とした。播種日、播種量、条間、病虫害防除などの管理は農家慣行とした。低収ほ場ではほ場の調査や観察の結果から可能な限り低収要因を決定した。また、開花期の入水、摘心、狭畦栽培といった特徴的な管理についても農家から聞き取りで調査した。

2 播種日、生育、収量調査

2015年から2017年の調査項目は表1のとおりである。播種日は農家からの聞き取りにより調査した。ダイズの生育調査は成熟期に調査地点(1条×2 m)から任意に選んだ10株の主茎長、分枝数、莢数、株数、倒伏程度を調査し、その平均値を算出し、分枝数、莢数、株数は1 m²あたりの数値に換算した。倒伏程度は0:倒伏無し～5:完全倒伏を0.5きざみで11段階で評価した。収量調査は、2条×2 m(面積2.1～3.0 m²)を部分刈りし、5.5 mmのふるい上の子実の子実水分、百粒重、子実重を調査し、百粒重と子実重を水分15%の重量に換算した。大粒比率は7.9 mmふるい上の子実重(大粒)と5.5 mmふるい上の子実重の比から算出した。

3 土壌化学性の調査

2015年から2017年の調査項目は表2のとおりである。播種約20日後に各ほ場から土壌を採取し、土壌酸度(以下、pH)、電気伝導度(以下、EC)、全炭素含量(以下、TC)、全窒素含量(以下、TN)、全炭素含量と全窒素含量の比(以下、C/N)、陽イオン交換容量(以下、CEC)、交換性石灰(以下、CaO)、交換性苦土(以下、MgO)、交換性加里(以下、K₂O)、MgOとK₂Oの比(以下、苦土/加里)、CaOとMgOの比(石灰/苦土)、可給態リン酸(以下、P₂O₅)、可給態窒素を測定した。pHとECはH₂Oの土液比1:2.5(w/v)でガラス電極法により測定し、CaO、MgO、K₂OおよびCECはセミマイクロSchollenberger法により抽出後、CaO、MgO、K₂Oは原子吸光度計で測定し、CECはアンモニア態窒素をホルモール法により測定した³⁾。可給態窒素は風乾土壌10 gを120 mL容ガラス瓶に量り取り、蒸留水3 mLを添加しアルミホイルで覆いをした後、定温器内で4週間、静置培養した。培養後、ガラス瓶に10%塩化カリウム溶液50 mLを加え30分水平振とう後ろ過した。ろ液は連続流れ分析装置(AA2型、ビーエルテック株式会社、大阪)を用いて、アンモニア態窒素をインドフェノール青吸光度法、硝酸態窒素を銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光度法で測定した。TCおよびTNは炭素窒素分析装置(スミグラフNC22-F、株式会社住化分析センター、大阪)を用い乾式燃焼法で、P₂O₅はトルオーグ法で測定した。

4 土壌物理性の調査

2015年から2017年の調査項目は表3のとおりである。播種約20日後に各ほ場から土壌を採取し、仮比重、作土深、pF1.5に換算した保水性と気相率を調査した。仮比重は、100 cm³採土円筒を用いて、作土層の土壌を採取し、乾燥後重量を測定し、単位容積当たりの乾土重量により算出した。

5 土壌水分の調査

2015年から2017年の調査項目は表3のとおりである。播種約20日後に土壌水分センサー(10HS、METER社、アメリカ)を耕盤直上の作土(深さ約20 cm)に埋設して体積含水率を測定し、データロガー(Em5b、METER社、アメリカ)を用い、測定値を1時間に1回記録した。設置日からダイズ成熟期までの期間に体積含水率が0.35 m³/m³または0.4 m³/m³以上になった時間を合計した。

また、同日に地下水位を測定するために、30～50 cmの縦穴を掘り、60 cm程度に切断して側面に穴を10か所程度開けた塩ビ管を設置し、その底に水位計(S&DL mini 5m、応用地質株式会社、東京)を設置し、塩ビ管の上部から雨水が入らないように蓋をした。気圧計(S&DL mini Barometer、応用地質株式会社、東京)を調査ほ場付近に設置し、地下水位は「水位計測定値-気圧計測定値-設置深」により算出した。水位計および気圧計の測定値は1時間に1回内蔵のメモリに記録した。設置日からダイズ成熟期までの期間に地下水位が地表面より25 cm(以下、地下水位-25cm)、20 cm(以下、地下水位-20cm)、15 cm(以下、地下水位-15cm)、10 cm(以下、地下水位-10cm)以上となった時間をそれぞれ合計した。

表1 試験ほ場の概要と播種日・生育・収量調査結果

試験ほ場概要						播種日・生育・収量									
地域	年次	試験場所	収量高低	推定される低収要因	管理	播種日	主茎長	分枝数	莢数	株数	倒伏程度	大粒比率	百粒重	子実重	
							cm	本/m ²	莢/m ²	株/m ²	%	%	g/百粒	kg/10a	
洪積	2015	和泉1	高		入水	6/24	72	73	950	14	1.8	45	28.7	326	
		和泉2	高		入水	6/24	86	54	843	16	2.3	40	29.0	324	
		高棚1	高			6/22	74	59	913	14	1.3	54	29.1	288	
		高棚2	高			6/17	68	71	913	14	1.8	69	33.6	326	
		高棚3	高			6/29	67	52	694	10	0.5	71	33.1	299	
		高棚4	高			6/30	56	55	799	13	1.0	68	32.4	341	
	2016	高棚5	高			6/30	60	51	714	15	0.5	43	29.2	288	
		高棚1	低	倒伏		6/14	89	48	775	8	3.5	39	26.0	244	
		高棚2	低	倒伏		6/15	79	50	745	10	3.3	33	34.1	194	
		高棚3	高			7/6	65	37	589	7	2.0	61	32.3	344	
		高棚4	低	出芽不良(湿害)		7/6	50	25	436	4	3.0	49	29.2	214	
		桜井1	高			6/20	64	38	834	10	3.0	58	33.4	297	
		桜井2	高			6/20	70	35	710	13	2.0	70	31.4	373	
		赤松1	高			7/4	67	46	706	7	1.8	68	31.4	398	
		赤松2	高		入水	7/8	57	74	537	6	2.8	57	34.1	278	
		2017	高棚1	低		入水	6/17	80	89	900	13	2.8	48	29.8	237
	高棚2		低	倒伏	入水	6/23	79	61	841	9	3.8	37	28.0	193	
	高棚3		低	倒伏	入水	7/9	72	40	665	12	4.3	49	32.2	222	
	高棚4		低	湿害		6/24	82	61	779	9	3.5	42	29.8	200	
	桜井1		低	干ばつ(開花後)		6/16	74	79	717	14	0.5	39	30.5	162	
	桜井2		低	湿害		6/16	80	63	673	15	1.3	51	33.3	217	
	藤井1		高			6/19	84	50	736	12	2.8	36	29.9	258	
	藤井2		低	湿害		6/19	60	35	509	7	2.5	31	31.3	209	
	沖積	2015	室1	低	倒伏		7/20	75	28	518	12	4.0	70	34.1	248
室2			低	湿害	狭畦	7/27	51	28	414	12	1.3	70	35.4	227	
一色1			高		狭畦	7/26	68	45	804	23	4.3	69	35.2	314	
一色2			低	湿害	狭畦	7/26	66	23	439	16	3.3	63	35.0	217	
奥田1			高		狭畦	7/22	60	33	456	13	2.5	66	34.7	270	
奥田2			低	湿害	狭畦	7/29	43	34	410	10	0.8	59	36.6	223	
2016		寺津1	高		狭畦	7/23	63	64	691	16	3.5	58	31.2	261	
		寺津2	高		狭畦	7/22	50	47	436	11	3.0	64	34.9	253	
		吉田1	高		狭畦	7/15	56	50	687	11	2.3	57	32.6	330	
		吉田2	低		狭畦	7/15	62	61	610	11	3.3	51	32.0	235	
		貝吹1	高			7/11	78	65	865	13	2.8	51	31.7	320	
		貝吹2	高			7/7	75	40	727	8	3.0	56	32.1	285	
		2017	米津1	低	倒伏、雑草	摘心	6/12	75	38	475	6	4.8	36	29.9	157
			米津2	低	倒伏、出芽不良(湿害)		6/12	64	28	702	6	4.3	31	31.3	215
吉田1	低			狭畦	7/16	74	46	731	10	2.3	37	30.4	243		
吉田2	低		湿害、塩害	狭畦	7/14	72	50	702	11	3.0	34	31.8	176		
一色1	低		倒伏	狭畦	7/14	72	55	655	12	4.5	34	25.2	217		
一色2	低		湿害、塩害	狭畦	7/22	56	63	682	10	3.0	31	27.3	200		

注) 網掛けは、相関係数の調査から除外したデータを示す。

2018年の安城ほ場では明渠水位と体積含水率の関係も合わせて調査するため、中明渠の底(深さ23 cm)に水位計、耕盤直上の作土(設置深20 cm)に土壌水分センサーを設置した。2019年の岡崎市では地下水位と明渠水位の関係を調査するため、塩ビ管底(深さ30 cm)と明渠底(深さ29 cm)に水位計を設置した。

6 相関係数の調査

2015年から2017年の調査結果と子実重、莢数、倒伏程度、大粒比率との相関係数の解析にはExcel 2019(Microsoft社)を用いた。

子実重および莢数と、播種日、生育、収量調査結果との相関の解析には全調査データを用いた。

倒伏は莢数減少や登熟不良による百粒重低下のほか⁴⁾、植物体の下敷きになった莢が腐敗するなど、着莢や登熟に大きく影響する。倒伏程度が概ね3.5以上で低収であったほ場は倒伏の影響があったと推定した(表1)。また、開花後の

干ばつは落花、落莢により稔実莢数が減少するとされ、粒肥大始めの干ばつは百粒重の減少など登熟に影響する^{5,6)}。2017年の桜井1ほ場は9月5日から9月12日までの莢伸長期前半の土壌の体積含水率の平均値が0.198と極めて低く(桜井2は0.279)、低収となっていた。同時期に葉の巻き上がりが観察され、他に低収となる要因がなかったため粒肥大始めに干ばつに遭遇していたと推定した(表1)。そのため、子実重および莢数と土壌化学性、土壌物理性、土壌水分の調査結果との相関の解析では、それらの要因以外が登熟や莢付きに影響したほ場(倒伏、開花後の干ばつ)を除いて解析した。また、大粒比率は、通常の登熟や通常の莢付きとは異なると推定されたほ場(倒伏、開花後の干ばつ)を除いて解析した。

倒伏程度は主茎長の伸びすぎが主な原因であるため、主茎長について相関を調査した。主茎長は自然な状態での管理でなかったほ場(入水、摘心、出芽不良)を除いた。

7 指標の有効性の検証試験

表7に示したとおり、洪積地域では2018年と2019年に安城

表 2 試験ほ場の土壌化学性調査結果

試験ほ場概要			土壌化学性														
地域	年次	試験場所	収量 高低	pH	EC	TC	TN	C/N	CEC	交換性塩基			苦土 /加里	石灰 /苦土	可給態 P ₂ O ₅	可給態 窒素	
										CaO	MgO	K ₂ O					
				mS /cm	%	%	Me /100g	Mg /100g	Mg /100g	Mg /100g							
洪積	2015	和泉 1	高	6.2	0.06	1.3	0.10	12.9	10.7	141	13	12	1.1	10.8	18	38	
		和泉 2	高	6.2	0.06	1.3	0.10	13.2	10.2	116	11	17	0.6	10.8	18	33	
		高棚 1	高	5.6	0.08	1.5	0.13	12.2	11.8	112	20	22	0.9	5.7	13	58	
		高棚 2	高	5.0	0.10	2.0	0.15	12.8	12.0	91	7	7	1.0	12.2	12	55	
		高棚 3	高	4.6	0.11	1.8	0.15	12.6	13.4	52	3	11	0.2	19.7	8	42	
	2016	高棚 4	高	5.2	0.06	1.4	0.11	12.5	11.5	94	8	10	0.8	12.0	14	34	
		高棚 5	高	5.3	0.05	1.4	0.11	12.4	9.4	74	7	14	0.5	10.8	15	40	
		高棚 1	低	5.0	0.08	1.5	0.13	11.5	10.5	75	11	32	0.3	6.8	14	58	
		高棚 2	低	5.8	0.08	1.5	0.14	11.0	10.6	106	10	33	0.3	10.9	11	71	
		高棚 3	高	5.9	0.08	1.6	0.12	13.3	8.7	121	7	13	0.5	18.3	12	55	
		高棚 4	低	5.7	0.07	1.4	0.12	11.7	8.7	98	7	17	0.4	14.0	11	60	
		桜井 1	高	6.3	0.08	1.4	0.13	11.3	9.6	140	14	22	0.7	9.9	23	65	
		桜井 2	高	5.9	0.09	1.6	0.14	11.1	10.4	157	10	17	0.6	16.4	24	72	
		赤松 1	高	6.2	0.08	1.7	0.16	11.2	10.2	119	11	34	0.3	11.0	21	84	
		赤松 2	高	6.4	0.09	1.4	0.12	11.7	10.5	171	15	25	0.6	11.2	29	56	
		2017	高棚 1	低	5.9	0.07	1.5	0.14	10.8	13.5	96	19	21	0.9	5.1	18	43
			高棚 2	低	5.8	0.05	1.3	0.12	11.2	11.3	107	11	28	0.4	9.8	9	49
			高棚 3	低	5.9	0.14	1.5	0.14	11.0	12.8	163	27	15	1.7	6.1	15	57
	高棚 4		低	6.0	0.13	1.3	0.13	10.7	12.1	290	85	28	3.0	3.4	16	58	
	桜井 1		低	6.4	0.07	1.5	0.15	10.4	13.7	176	28	26	1.1	6.3	31	56	
	桜井 2		低	6.2	0.15	1.9	0.18	11.0	18.1	212	35	35	1.0	6.0	28	69	
	藤井 1		高	6.1	0.09	1.3	0.12	10.8	12.7	85	22	27	0.8	3.9	19	53	
	沖積	2015	室 1	低	6.1	0.06	1.9	0.14	12.8	15.5	210	18	8	2.4	11.4	18	52
			室 2	低	6.4	0.07	1.5	0.12	12.7	11.3	167	12	8	1.5	14.4	23	46
一色 1			高	6.1	0.04	2.0	0.17	11.7	12.3	187	14	10	1.4	12.9	38	66	
一色 2			低	6.6	0.07	2.3	0.19	12.0	12.6	208	18	11	1.7	11.9	37	75	
奥田 1			高	6.1	0.05	1.4	0.11	12.7	9.4	121	10	7	1.5	11.5	22	62	
2016		奥田 2	低	6.8	0.07	1.8	0.15	12.2	13.3	224	21	10	2.1	10.8	37	58	
		寺津 1	高	6.4	0.10	1.4	0.11	12.8	9.1	152	15	12	1.2	10.4	24	64	
		寺津 2	高	6.1	0.09	2.3	0.19	11.8	10.6	161	12	13	0.9	13.3	23	77	
		吉田 1	高	6.6	0.08	1.5	0.13	11.6	11.6	201	25	15	1.7	8.1	11	52	
		吉田 2	低	6.8	0.13	1.4	0.12	11.6	11.7	230	31	19	1.7	7.4	16	60	
		貝吹 1	高	6.7	0.16	1.9	0.16	12.1	13.2	258	19	32	0.6	13.4	48	79	
		貝吹 2	高	6.7	0.19	1.7	0.14	12.4	10.9	235	15	21	0.7	15.4	29	85	
		2017	米津 1	低	6.3	0.18	1.5	0.15	10.0	16.2	292	23	21	1.1	13.0	78	61
			米津 2	低	6.1	0.17	1.7	0.14	12.0	13.0	144	21	15	1.4	7.0	15	77
			吉田 1	低	6.3	0.18	1.5	0.15	10.4	21.8	139	22	14	1.5	6.3	12	63
			吉田 2	低	6.6	0.48	2.4	0.23	10.8	24.9	300	99	26	3.8	3.0	20	79
			一色 1	低	6.0	0.12	0.9	0.09	10.5	11.4	100	21	16	1.3	4.7	8	56
			一色 2	低	6.2	0.29	1.4	0.13	10.8	11.4	160	28	18	1.5	5.8	37	61

市と刈谷市、沖積地域では2018年に弥富市、2019年に岡崎市で試験ほ場を設置した。2019年の刈谷市は大粒比率の指標となったTCとTNに差をつけるため有機物施用履歴が異なる近接6ほ場を設置した。調査項目は、子実重と低収の指標となった倒伏程度、1 mあたりの莢数、大粒比率、苦土/加里、石灰/苦土、体積含水率が0.4 m³/m³以上となった時間、地下水位が-25 cm以上となった時間、大粒比率低下の指標となった石灰/苦土、C/N、TC(洪積地域のみ)、TN(洪積地域のみ)を調査した。調査方法は2015年から2017年の調査と同様とした。条間、播種量等は農家慣行とした。

結果及び考察

1 播種日、生育、収量調査結果との相関と指標の作成

結果を表 4 に示した。子実重は莢数と大粒比率で正の相関が認められた。濱田ら(2001)は、西三河洪積地域の多収ほ場の特徴として莢数が多く、大粒比率が高いと報告しており⁷⁾、本試験の結果とも一致すると考えられた。一方で倒伏程

度とは負の相関が認められた。図 1 左に示したとおり、倒伏程度が 2.0 付近で最大となっていたため、2 次曲線による近似式を作成したところ、倒伏程度が 3.5 以上となった場合に子実重が 250 kg/10a 未満となる可能性が高いと考えられた。この結果は久野ら(2021)の結果と一致する⁸⁾。同様に莢数が 700 莢/m² 未満、大粒比率は 50%未満となった場合に子実重が 250 kg/10a 未満となる可能性が高いと考えられた(図 1 中、右)。これらの結果から、低収になるリスクが高い指標として、「①倒伏程度 3.5 以上」、「②莢数 700 莢/m² 未満」、「③大粒比率 50%未満」を作成した。

莢数は主茎長、分枝数、株数と正の相関、播種日と負の相関が認められた(表 4)。百粒重とは負の相関が認められたが、大粒比率との相関は認められなかった(表 4)。播種適期の範囲で播種時期を早めて主茎長、分枝数などの生育量を大きくすることが莢数の確保のために重要と考えられた。

主茎長は播種日と負の相関が認められ、播種が早いほど主茎長が長くなった。主茎長と倒伏程度との相関が認められなかったが(表 4)、安城市と西尾市の狭畦栽培に分けて主茎長と倒伏程度の相関を解析したところ、安城市、西尾市の狭

表3 試験ほ場の土壌物理性および土壌水分の調査結果

試験ほ場				土壌物理性				土壌水分							
地域	年次	試験場所	収量高低	仮比重	作土深	保水性		体積含水率		地下水位					
						pF1.5	pF1.5	0.35 m ³ /m ³ 以上	0.4 m ³ /m ³ 以上	-25cm以上	-20cm以上	-15cm以上	-10cm以上	-5cm以上	
				g/cm ³	cm	%	%	時間	時間	時間	時間	時間	時間	時間	
洪積	2015	和泉1	高	1.4	17.3	30.8	17.9	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし
		和泉2	高	1.3	14.7	28.5	24.0								
		高棚1	高	1.3	18.0	40.8	18.9								
		高棚2	高	1.0	15.7	42.9	18.7								
		高棚3	高	1.0	14.7	42.9	18.6								
		高棚4	高	1.3	15.0	36.2	23.2								
	高棚5	高	1.2	14.0	27.5	29.1									
	2016	高棚1	低	1.1	17.7	32.8	25.1	52	8	11	1	0	0	0	
		高棚2	低	1.1	17.7	34.8	24.7	212	72	165	119	68	22	5	
		高棚3	高	1.4	13.3	38.8	6.4	706	422	624	456	289	138	47	
		高棚4	低	1.3	9.7	39.7	9.8	1179	670	939	551	148	29	6	
		桜井1	高	1.4	13.0	39.1	9.2	782	306	396	289	160	39	1	
		桜井2	高	1.3	15.0	42.5	5.4	945	350	276	197	98	20	1	
		赤松1	高	1.3	18.7	40.3	5.2	301	178	128	108	89	51	5	
		赤松2	高	1.4	17.0	40.0	4.9	1447	505	481	394	268	131	23	
	2017	高棚1	低	1.0	22.2	29.5	34.4	143	85	296	253	213	142	40	
		高棚2	低	1.1	22.0	29.5	29.7	329	259	377	315	271	224	66	
		高棚3	低	1.2	26.5	42.3	14.9	2471	1724	1434	1328	1127	986	36	
		高棚4	低	1.3	23.7	41.9	9.0	—	—	836	683	440	218	0	
		桜井1	低	1.2	21.7	32.7	24.7	606	493	420	394	371	288	20	
		桜井2	低	1.1	23.7	37.4	18.2	1738	1159	971	874	785	620	47	
藤井1		高	1.0	22.8	33.9	26.0	540	487	536	492	465	402	160		
藤井2		低	1.3	21.0	43.7	8.2	1684	820	1128	974	815	558	149		
沖積	2015	室1	低	1.0	14.7	44.7	10.4	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし	調査なし	
		室2	低	1.2	14.3	40.9	12.1								
		一色1	高	1.0	15.3	45.5	16.3								
		一色2	低	1.0	13.0	47.2	13.7								
		奥田1	高	1.3	12.3	36.5	11.4								
		奥田2	低	1.2	11.7	40.1	15.6								
	2016	寺津1	高	1.1	12.3	37.7	18.2	733	290	97	40	8	0	0	
		寺津2	高	1.1	14.0	39.2	17.7	1851	1238	932	683	373	203	60	
		吉田1	高	1.2	11.3	44.4	9.9	1063	460	280	265	251	135	22	
		吉田2	低	1.1	13.0	38.8	19.0	420	283	144	67	20	8	4	
		貝吹1	高	1.0	27.0	36.8	24.0	236	149	282	229	167	70	15	
		貝吹2	高	1.1	19.7	41.8	15.5	842	226	764	629	451	330	234	
	2017	米津1	低	1.1	21.3	42.0	16.3	697	497	380	289	220	133	3	
		米津2	低	1.0	19.2	47.4	16.9	2684	2684	1770	1579	1412	1228	14	
		吉田1	低	1.0	15.5	49.8	10.7	657	444	545	501	431	342	130	
吉田2		低	0.9	10.7	49.4	18.7	1241	906	1190	1126	1072	1033	33		
一色1		低	1.0	30.8	47.7	12.1	—	—	—	—	—	—	—		
一色2	低	1.1	19.0	49.6	10.0	—	—	—	—	—	—	—			

注) —は計測機器の故障で調査データがないことを示す。

表4 子実重、莢数、主茎長、大粒比率と播種日・生育・収量調査項目との相関係数

相関の対象 (データ数 n)	播種日・生育・収量								
	播種日	主茎長	分枝数	莢数	株数	倒伏程度	大粒比率	百粒重	子実重
子実重 (n=41)	0.035	-0.084	0.030	0.351	0.219	-0.358	0.606	0.141	1.000
莢数 (n=41)	-0.502	0.592	0.619	1.000	0.336	-0.089	-0.180	-0.425	0.351
主茎長 ¹⁾ (n=32)	-0.574	1.000	0.290	0.553	0.000	0.303	-0.372	-0.444	-0.117
大粒比率 ²⁾ (n=31)	0.310	-0.420	-0.194	-0.172	0.173	-0.187	1.000	0.635	0.481

- 1 入水・摘心・出芽不良の圃場を除く
- 2 倒伏・開花後の干ばつ圃場を除く
- 3 太字は1%または5%水準で有意であることを示す。網掛けは1%水準で有意であることを示す。

畦栽培ともに相関が認められ、安城市で主茎長 80 cm、西尾市の狭畦栽培で 65 cm を超えた場合に倒伏程度 3.5 以上となる可能性が高いと考えられた(図 2)。そのため、倒伏程度 3.5 以上となるリスクが高い指標として、「④洪積地域での主茎長 80 cm 以上、沖積地域の狭畦栽培での主茎長 65 cm 以上」を作成した。

2 土壌化学性との相関と指標の作成

子実重は EC、CEC、CaO、MgO で負の相関が認められた

が、MgO と同様で極端に高い数値のほ場で子実重が少なかったためと考えられた(表 5、図 3 左)。また子実重は苦土/加里と負の相関、石灰/苦土と正の相関が認められた。苦土/加里が 1.8 以上、石灰/苦土が 6.9 以下の場合に子実重が 250 kg/10a 未満となる可能性が高いと考えられた(図 3 中、右)。そのため、低収になるリスクが高い指標として、「⑤苦土/加里 1.8 以上」、「⑥石灰/苦土 6.9 以下」を作成した。

莢数と相関が認められた調査項目はなかった(表 5)。主茎長は C/N と負の相関、K₂O と正の相関が認められた

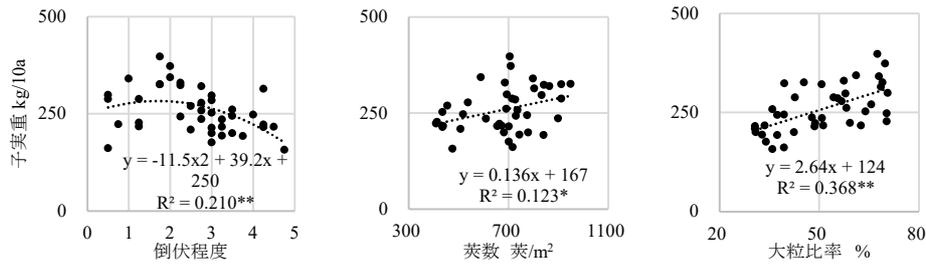


図 1 倒伏程度(左)、莢数(中)、大粒比率(右)と子実重の関係

(表 5、図 4)。主茎長の下限值は不明なため、指標は作成しなかった。

大粒比率は EC、CEC、MgO、K₂O と負の相関、C/N、石灰/苦土と正の相関が認められた(表 5)。しかし、EC、CEC は MgO と同様に極端に高い数値のほ場で大粒比率が低く、その影響と考えられた(図 5 左)。EC は特に塩害を観察した 2017 年の西尾市の吉田 2 と一色 2 で高くなっていた(表 2)。図 5 右のように K₂O と大粒比率の近似式からは K₂O が 30 mg/100g 以上となった場合に大粒比率が 50%未滿となるが、調査結果でそれを満たしたほ場はなかったため、K₂O は指標化しなかった。C/N、石灰/苦土については、C/N が 11.0 以下、石灰/苦土が 8.0 以下の場合に大粒比率が 50%未滿となる可能性が高いと考えられた(図 6)。そのため、大粒比率が 50%未滿となる指標として、「⑦C/N 11.0 以下」、「⑧石灰/苦土 8.0 以下」を作成した。また、安城市と西尾市に分けて大粒比率との相関を解析したところ、安城市では TC および TN

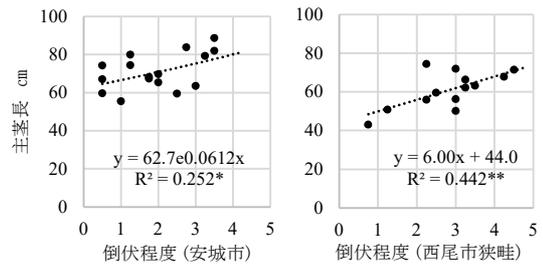


図 2 安城市(左)と西尾市の狭畦栽培(右)における主茎長と倒伏程度の関係

と大粒比率に正の相関が認められ、TC が 1.5%、TN が 0.13%未滿の場合に大粒比率が 50%未滿となる可能性が高いと考えられた(図 7)。そのため、洪積地域の大粒比率が 50%未滿となる指標として、「⑨TC 1.5%未滿」、「⑩TN 0.13%未滿」を作成した。

表 5 子実重、莢数、主茎長、大粒比率と土壌化学性調査項目との相関係数

相関の対象 (データ数 n)	土壌化学性												
	pH	EC	T-C	T-N	C/N	CEC	交換性塩基			苦土 /加里	石灰 /苦土	可給態 P ₂ O ₅	可給態窒素
							CaO	MgO	K ₂ O				
子実重 ¹⁾ (n=32)	-0.293	-0.439	-0.118	-0.242	0.415	-0.442	-0.383	-0.565	-0.071	-0.621	0.537	-0.200	-0.083
莢数 ¹⁾ (n=32)	-0.278	0.069	-0.167	-0.134	-0.032	0.097	-0.129	0.062	0.265	-0.157	-0.210	-0.196	-0.202
主茎長 ²⁾ (n=31)	-0.191	0.144	-0.045	0.079	-0.375	0.248	0.015	0.238	0.662	-0.116	-0.299	-0.167	0.242
大粒比率 ¹⁾ (n=32)	-0.265	-0.448	0.316	0.134	0.441	-0.381	-0.172	-0.504	-0.397	-0.342	0.718	-0.070	0.117

相関の対象 (データ数 n)	土壌物理性			
	仮比重	作土深	保水性 pF1.5	気相率 pF1.5
子実重 ¹⁾ (n=32)	0.337	-0.021	-0.280	-0.070
莢数 ¹⁾ (n=32)	-0.102	0.416	-0.258	0.429
主茎長 ²⁾ (n=31)	-0.309	0.536	-0.122	0.261
大粒比率 ¹⁾ (n=32)	0.124	-0.318	0.058	-0.197

- 1 倒伏、開花後の干ばつ圃場を除く
- 2 入水・摘心・出芽不良の圃場を除く
- 3 太字は 1%または 5%水準で有意であることを示す。網掛けは 1%水準で有意であることを示す。

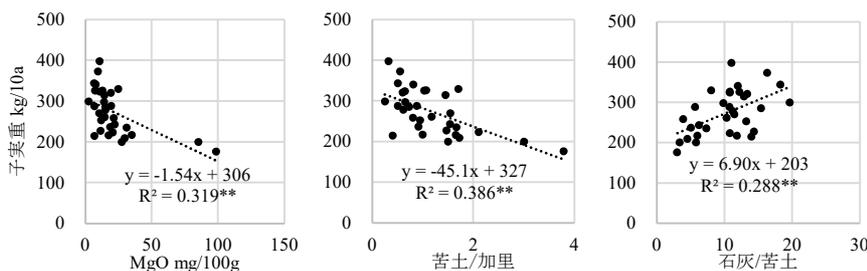


図 3 土壌化学性(左:MgO、中:苦土/加里、右:石灰/苦土)と子実重の関係

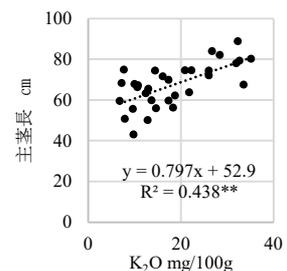


図 4 K₂O と主茎長の関係

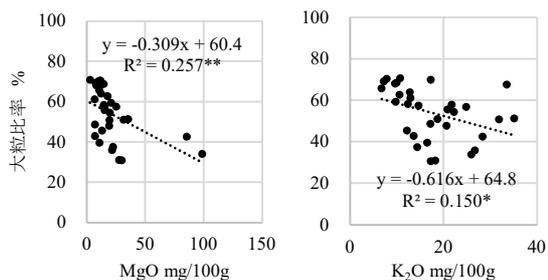


図5 土壌化学性(左:MgO、右:K₂O)と大粒比率の関係

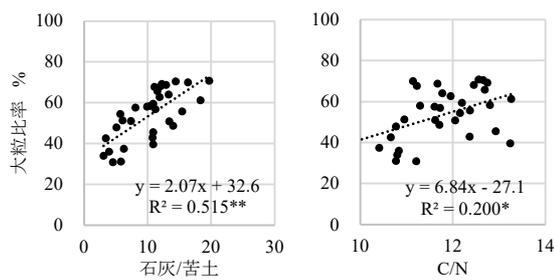


図6 土壌化学性(左:石灰/苦土、右:C/N)と大粒比率の関係

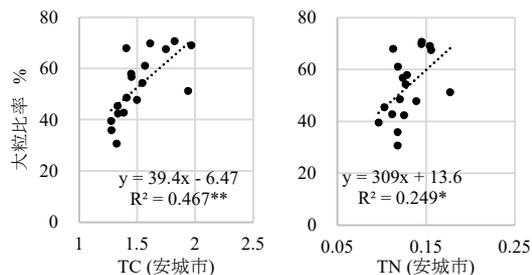


図7 安城市における土壌化学性(左:TC、右:TN)と大粒比率の関係

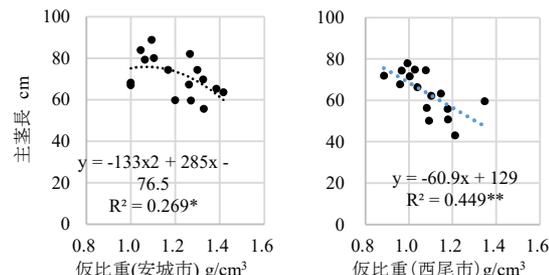


図8 仮比重(左:安城市、右:西尾市)と主茎長との関係

表6 子実重、莢数、主茎長、大粒比率と土壌水分の調査項目との相関係数

相関の対象 (データ数 n)	土壌水分						
	体積含水率		地下水位				
	0.35m ³ /m ³ 以上の時間	0.4m ³ /m ³ 以上の時間	-25cm 以上の時間	-20cm 以上の時間	-15cm 以上の時間	-10cm 以上の時間	-5cm 以上の時間
子実重 ^{*1} (n=19)	-0.401	-0.531	-0.645	-0.641	-0.583	-0.569	-0.174
莢数 ^{*1} (n=19)	-0.696	-0.622	-0.438	-0.302	-0.105	-0.033	-0.046
主茎長 ^{*2} (n=19)	-0.515	-0.362	-0.116	-0.047	0.041	0.107	0.050
大粒比率 ^{*1} (n=19)	-0.072	-0.224	-0.512	-0.585	-0.643	-0.644	-0.409

*1 倒伏、開花後の干ばつ圃場を除く

*2 入水・摘心・出芽不良の圃場を除く

*3 太字は1%または5%水準で有意であることを示す。網掛けは1%水準で有意であることを示す。

3 土壌物理性との相関

土壌物理性と子実重には相関が認められなかった。莢数は作土深、pF1.5気相率と正の相関が認められた(表5)。主茎長は作土深と相関が認められたほか、安城市と西尾市に分けて解析したところ、主茎長と仮比重について両地域で相関が認められた(図8)。大粒比率との相関は認められなかった。作土深や気相率、仮比重は子実重に直接的な影響は少ないが、莢数や主茎長といったダイズの生育量に寄与している可能性があると考えられた。

4 土壌水分との相関

子実重は体積含水率では0.4 m³/m³以上の時間、地下水位では-25 cm以上の時間と最も強い負の相関が認められた(表6、図9)。体積含水率0.4 m³/m³以上の時間、地下水位-25 cm以上の時間はほぼ1対1の関係にあった(図10)。体積含水率0.4 m³/m³以上の時間、地下水位-25 cm以上の時間が約750時間以上となった場合に子実重250 kg/10a未満となる可能性が高いと考えられた(図9)。測定開始日(播種後約20日)から成熟期までの測定時間は2700時間程度であったため、750時間は測定時間の約30%に相当した。新良ら(2022)の結果においても体積含水率と収量には負の相関が認められており、本試験の結果も同様であった²⁾。そのため、低収にな

る指標として「⑩体積含水率0.4 m³/m³以上の時間または地下水位-25 cm以上の時間が750時間以上」を作成した。

莢数は体積含水率0.35または0.4 m³/m³以上の時間、地下水位-25 cm以上の時間と負の相関が認められた(表6)。主茎長は体積含水率0.35 m³/m³以上の時間と負の相関が認められた。大粒比率と地下水位-25 cm、-20 cm、-15 cm、-10 cm以上の時間と負の相関が認められた(表6)。低収となる指標に用いた体積含水率0.4 m³/m³以上の時間は莢数の減少に、地下水位-25 cm以上の時間は莢数の減少と大粒比率の低下によって子実重に影響を及ぼすと考えられた。

2018年の安城ほ場(表7)における体積含水率と明渠水位の測定結果を図11に示した。体積含水率0.23~0.42 m³/m³の範囲では、体積含水率に変化がみられたが明渠水位は一定であった。一方で体積含水率が0.42~0.45 m³/m³の範囲では明渠水位に変化がみられた。同ほ場での降雨があった8月15日の16時頃から1時間おきの降水量と明渠水位の推移を図12に示した。明渠水位は、降雨開始4時間後から上昇し、降雨のピークを過ぎた降雨開始12時間後から低下し始めた。降雨開始14時間後以降は降水量が0 mmとなり、明渠水位はその後低下を続けた。同ほ場での明渠水位と体積含水率の推移を図13に示した。降雨開始5時間後に明渠水位が-20 cmより高くなったのと同時に体積含水率が上昇し始

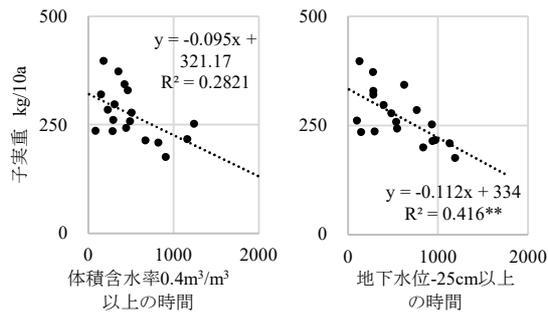


図 9 土壌水分(左: 体積含水率 0.4 m³/m³ 以上の時間、右: 地下水位-25 cm 以上の時間)と子実重の関係

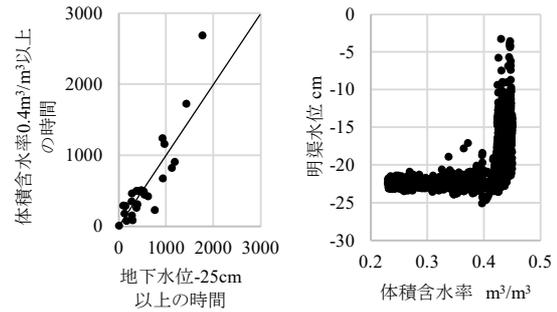


図 10 地下水位-25 cm 以上の時間と体積含水率 0.4 m³/m³ 以上の時間の関係
 図 11 体積含水率と明渠水位の関係

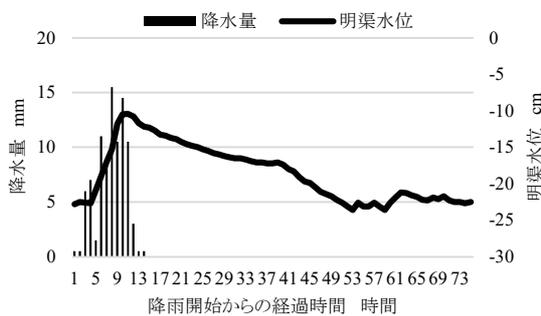


図 12 8 月 15 日の降雨開始からの経過時間と降水量および明渠水位

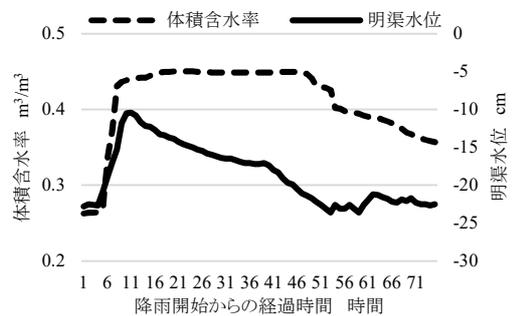


図 13 8 月 15 日の降雨開始からの経過時間と体積含水率と明渠水位の推移

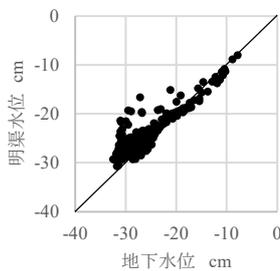


図 14 地下水位と明渠水位の関係

め、降雨開始7時間後には体積含水率が0.43 m³/m³程度の飽和状態となった。その後、降雨開始から45時間後に明渠水位が-20 cmより低くなって間もなく体積含水率が低下し始め、体積含水率が0.4 m³/m³以下となったのは降雨開始から55時間後であった。これらのことから、明渠水位の上昇・低下に伴って体積含水率が上昇・低下する関係性が明らかとなった。図11で示した体積含水率0.23~0.42 m³/m³の範囲は、明渠水位の上昇前の測定結果と、明渠水位が一旦上昇した後に水がなくなる程度まで低下した後、上昇していた体積含水率が徐々に低下する期間の測定結果と考えられた。また、体積含水率0.42~0.45 m³/m³の範囲は、明渠水位が上昇し、耕盤直上の高さを超え、体積含水率が飽和状態となっている期間の測定結果と考えられた。そのため、体積含水率を低く保つためには、耕盤直上の高さ以上に明渠水位が達する時間を可能な限り短くすることが重要で、耕盤より深い明渠の施工や明渠から排水路への素早い排水が必要であると考えられた。

2019年の岡崎1ほ場では、地下水位と明渠水位はほぼ同じ値となっていた(図14)。そのため、明渠から速やかに排水することで地下水位を下げる事が可能と考えられた。

5 指標の有効性の検証

表 7 に結果を示した。各ほ場の子実重と作成した指標①~⑩について調査した。低収の指標である①~⑥、⑩について、子実重 250 kg/10a 未満の低収 5 ほ場のうち、5 ほ場で該当したのは「⑩体積含水率 0.4 m³/m³ 以上の時間または地下水位-25 cm 以上の時間が 750 時間以上」の指標であり、子実重との相関も認められた。また、指標に該当しなかったほ場は全て多収であった。そのため、この指標は最も有効な指標であると考えられた。次に低収 5 ほ場のうち、4 ほ場で該当したのは「②1 m²あたりの莢数 700 未満」、3 ほ場で該当したのは「①倒伏程度 3.5 以上」であった。これらは多収ほ場では該当しておらず、また、莢数と倒伏程度は子実重との相関が認められた。そのため、低収となる危険性が高い指標として有効であると考えられた。一方で、「③大粒比率 50% 未満」については低収の 3 ほ場で該当したが、多収の 3 ほ場でも該当した。大粒比率は子実重と相関が認められたため、50% という指標値は有効ではなかったが、多収を得るためには大粒比率は高い方がよいと考えられた。「⑤苦土/加里 1.8 以上」については該当するほ場がなかったが、子実重や莢数との相関が認められた。1.8 という指標値は有効ではなかったが、多収を得るためには苦土/加里が低い方がよいと考えられた。一方で、「⑥石灰/苦土 6.8 以下」は低収の 5 ほ場で該当したが、多収の 4 ほ場でも該当した。石灰/苦土は値の範囲が狭かったため、子実重との相関が認められなかった可

表 7 指標の有効性の検証結果

試験年	地域	圃場名	播種日	子実重	低収の指標							
					生育			土壌化学性		土壌水分		
					指標①	指標②	指標③	指標⑤	指標⑥	指標⑩		
					倒伏程度	莢数	大粒比率	苦土/加里	石灰/苦土	体積含水率 0.4 m ³ /m ³ 以上の時間	地下水位 -25cm 以上の時間	
					3.5以上	700 莢/m ² 未満	50%未満	1.8以上	6.8以下	750時間以上	750時間以上	
2018	洪積	安城	6/28	177	2.3	631	24	1.5	3.8		893	
		刈谷	6/23	120	3.5	566	13	0.6	6.3		765	
	沖積	弥富 1	7/15	164	4.5	358	51	1.5	6.1	1039		
		弥富 2	7/15	165	4.5	444	50	1.7	6.7		845	
2019	洪積	安城	6/26	248	0.3	784	38	1	4.1	767		
		刈谷 1	6/18	304	0	720	47	0.6	5.6	146		
		刈谷 2	6/18	282	0	753	35	0.5	5.9	76		
		刈谷 3	6/18	276	0.3	780	40	0.5	7.7	208		
		刈谷 4	6/18	343	0	890	56	0.6	8.1	96		
		刈谷 5	6/18	333	0.5	779	59	0.5	6.9	21		
		刈谷 6	6/18	287	0	763	53	0.5	6.2	77		
	沖積	岡崎 1	7/9	321	0.3	800	58	0.6	5.9	56	68	
		岡崎 2	7/9	389	2.5	879	61	0.4	6.5		91	
		子実重との相関係数		1.000	-0.688	0.861	0.706	-0.702	0.333	-0.902	-0.930	
		莢数との相関係数		0.861	-0.823	1.000	0.315	-0.783	0.180	-0.750	-0.893	
		大粒比率との相関係数		0.706	-0.206	0.315	1.000	-0.185	0.430	-0.257	-0.743	
		大粒比率との相関係数(低収圃場除く)										

試験年	地域	圃場名	播種日	倒伏程度	大粒比率	大粒比率 50%未満の指標							
						生育		倒伏程度 3.5以上の指標		土壌化学性		土壌化学性(洪積)	
						指標④	指標⑤	指標⑦	指標⑧	指標⑨	指標⑩		
						主茎長(洪積)	主茎長(沖積狭畦)	CN	石灰/苦土	TC	TN		
						80cm以上	65cm以上	11以下	8以下	1.5%未満	0.13%未満		
2018	洪積	安城	6/28	2.3	24	63		11.4	3.8	1.6	0.13		
		刈谷	6/23	3.5	13	68		10.7	6.3	1.5	0.14		
	沖積	弥富 1	7/15	4.5	51		70	10.9	6.1				
		弥富 2	7/15	4.5	50		65	10.9	6.7				
2019	洪積	安城	6/26	0.3	38	40		10.1	4.1	1.5	0.15		
		刈谷 1	6/18	0	47	59		11.3	5.6	1.4	0.12		
		刈谷 2	6/18	0	35	66		11.6	5.9	1.3	0.11		
		刈谷 3	6/18	0.3	40	64		11.4	7.7	1.4	0.12		
		刈谷 4	6/18	0	56	75		11.5	8.1	1.6	0.13		
		刈谷 5	6/18	0.5	59	75		11.6	6.9	1.5	0.13		
		刈谷 6	6/18	0	53	72		10.7	6.2	1.5	0.14		
	沖積	岡崎 1	7/9	0.3	58	58		11.3	5.9				
		岡崎 2	7/9	2.5	61	60		11.3	6.5				
		子実重との相関係数		-0.688	0.706	0.248	-0.849						
		莢数との相関係数		-0.823	0.315	0.092	-0.930						
		大粒比率との相関係数		-0.206	1.000	0.304	-0.822	0.226	0.425	0.035	-0.101		
		大粒比率との相関係数(低収圃場除く)											
								-0.191	0.136	0.891	0.830		

注) 網掛けは指標に該当したことを示す。太字は 1%または 5%水準で有意であることを示す。

空欄はデータがないことを示す。

能性があり、指標としての有効性は引き続き検討する必要がある。

倒伏程度の指標である「④洪積地域の主茎長 80 cm 以上、沖積地域の狭畦栽培の主茎長 65 cm 以上」について、洪積地域では該当するほ場がなかったが、主茎長 80 cm 以下で倒伏程度 3.5 以上となったのは 9 ほ場中 1 ほ場のみであった。沖積地域の狭畦栽培では主茎長が 65 cm 以上となったほ場では倒伏程度 3.5 以上であった。そのため、これらの指標は有効である可能性が高いと考えられた。

大粒比率の指標である⑦～⑩について検証した結果、「⑦C/N 11 以下」は、大粒比率 50%未満の 6 ほ場のうち 2 ほ場でしか該当せず、また大粒比率と C/N の相関も認められなかった。そのため、指標としては有効ではないと考えられた。「⑧石灰/苦土 8.0 以下」は大粒比率に関わらず殆どのほ場

で該当し、石灰/苦土も大粒比率との相関は認められなかったため、指標としては有効ではないと考えられた。洪積地域での指標「⑨TC 1.5%未満」、「⑩TN 0.13%未満」については大粒比率が低い 6 ほ場のうち低収の 3 ほ場で該当しなかった。しかし、低収ほ場を除くと大粒比率が低い 3 ほ場全てで該当し、大粒比率との相関も認められた。そのため、TC や TN については高収となる条件で、より高い大粒比率を目指すための指標として有効と考えられた。

6 まとめと多収阻害要因への対策技術

愛知県の 2015 年から 2019 年にかけてのダイズの子実重との関係性が認められた主な多収阻害要因は、「高い土壌水分」、「少ない莢数」、「高い倒伏程度」、「低い大粒比率」、「高い苦土/加里」であった。

土壌水分については、地下水位-25 cm 以上の時間が子実重、莢数、大粒比率と負の相関があり、収量に最も影響を及ぼす要因であった(表 6, 7)。収量向上には、地下水位-25 cm 以上となる時間を短くすることが重要で、少なくとも深さ 25 cm 以上の明渠を施工し、作土から明渠に、明渠から排水路に水を速やかに排水することが重要である。そのため、作土から明渠への排水を早くするために弾丸暗渠やカットドレーンの施工が、明渠から排水路に水を速やかに排水するために明渠を排水路に繋いだ上で、ゆるやかな傾斜をかけることが有効であると考えられる。また、畦立播種することで相対的に地下水位を下げることも有効である。

莢数については、主に生育量と土壌水分(表 4, 6)と関係しており、排水対策を徹底し、適期の範囲内で播種を早くして生育量を多くすることで莢数の確保が可能であると考えられた。

倒伏については、成熟期の主茎長が、洪積地域 80 cm 以上、沖積地域の狭畦栽培で 65 cm 以上となると低収となる倒伏程度 3.5 を超える危険性があり(図 1, 2)、そういった場合には開花 7 日前～開花期頃の摘心による倒伏軽減が有効である^{9,10}。しかし、開花期頃の主茎長によって摘心の要否を判断する判断基準がなく、今後、その基準を作成する必要がある。

大粒比率の向上には、排水性を良くすることが重要である(表 6)。大粒比率との相関が認められた石灰/苦土については収量性に影響のある要因とされており^{11,12}、今後確認が必要である。また洪積地域では良好な排水性を確保した上で、TC1.5%、TN0.13%以上とすることで大粒比率が向上すると考えられ、牛糞堆肥などの有機物の施用が有効⁵であると考えられる。

苦土/加里については、ダイズは養分の中で窒素に次いで加里の吸収が多いが、根からの吸収力は弱く、苦土が多い場合には拮抗作用によって欠乏しやすいとされている^{13,14}。鳥取県では加里施用についての生育・収量向上が報告されているが¹⁵、本県でも今後、苦土/加里について検討する必要がある。

その他にも土壌物理性では特に指標化はできなかったが、仮比重が大きいほど主茎長が伸びにくい結果が得られており(図 8)、有機物施用による仮比重の低下や、施肥による生育の改善も有効である。

以上のように本試験では多様な多収阻害要因について検討したが、多収阻害要因への対策技術でほぼ共通しているのは良好な排水性の確保である。そのため、多収阻害要因を解消し、多収を得るためにはほ場の良好な排水性が大前提である。良好な排水性を確保し、適期に播種や雑草防除、病虫害防除などの栽培管理を実施した上で、倒伏対策や土壌化学性や土壌物理性の改良などの技術を組み合わせることでダイズの収量の向上と安定化が可能と考えられる。

謝辞: 本研究での現地試験の実施にあたり、各農業改良普及課及び担当農家に多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

1. 東海の大豆をめぐる状況(令和4年1月13日). 農林水産省 東海農政局.
<https://www.maff.go.jp/tokai/seisan/shinko/daizu/genchi/attach/pdf/20220113-3.pdf>
2. 新良力也・前川富也・高橋智紀・中野恵子・関口哲生・原口暢朗. ダイズの多収を阻害する土壌の高い含水率と少ない可給態窒素量. 農業および園芸. 97(2), 111-120 (2022)
3. 土壌標準分析・測定法委員会. 土壌標準分析・測定法. 博友社. 東京. P150-160 (1986)
4. 斎藤邦行・西村公仁子・北原利修. ダイズの倒伏が子実収量に及ぼす影響－倒伏防止処理と人為的倒伏処理－. 日作紀81. 27-32 (2012)
5. 福井重郎・伊藤隆二. 生育の各期における土壌水分の不足が大豆の生育並びに収量に及ぼす影響について. 日作紀20. 45-48 (1951)
6. にいがた農業ナビ. 農業技術・経営情報. 大豆の干ばつ対策は土壌水分管理から. 新潟県
<https://www.pref.niigata.lg.jp/site/nogyo-navi/soy-water-manage.html>
7. 濱田千裕・谷俊男・吉田朋史・中嶋泰則・城田雅樹・釋一郎. 愛知県西三河地域のダイズ栽培の実態調査による低収要因の解明. 愛知農総試研報33, 87-92 (2001)
8. 久野智香子・浅野智也・小田紫帆里・森崎耕平・武井真理・瀧 勝俊・大竹敏也. 2年3作輪作体系のダイズ作を対象とした地力改善指標の確立. 愛知農総試研報53, 17-24 (2021)
9. 浅野智也・平岩確・遠山孝通・森崎耕平・伊藤真・黒野綾子・山下有希・伊藤晃. 難裂莢性大豆「フクユタカA1号」の摘心処理効果及び処理適期の解明. 愛知県農総試研報 51, 95-98 (2019)
10. 愛知県農業総合試験場. 省力摘心処理によるダイズの生育・収量改善. 農業の新技术, No.106 (2014)
11. Takamoto A., Takahashi T. and Nira R. Soil chemical properties affecting soybean yield on a nationwide scale in Japan. Soil Sci. Plant Nutr., 66, 900-905 (2020)
12. 高橋智紀・持田秀之・榎原充隆・森本晶・小林浩幸・相場聡. 寒冷地における生産現場でのダイズ低収要因の解析. 東北農業研究センター研究報告116, 89-118 (2014)
13. 作物の栄養生理と養分吸収(農林水産省)
https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/gum12.pdf
14. 星川清親. 新編食用作物. 養賢堂. 440-444 (1980)
15. 土壌中の交換性加里飽和度が低い水田転換畑大豆栽培における加里肥料の施用効果(鳥取県)
<https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1069072/54sn04.pdf>