

アンケート調査，フィールド調査および土壌化学性分析

からみた愛媛県産ハダカムギの多収阻害要因

大森誉紀 辻田泉* 秋山勉 黒瀬咲弥

The high-yielding inhibition factors of naked barley in Ehime prefecture revealed from questionnaire survey, field survey or chemical analysis of soil

OOMORI Takanori, TSUJITA Izumi, AKIYAMA Tsutomu and KUROSE Sakuya

要 旨

営農，圃場の立地，土壌環境等に係る多収阻害要因を明らかにするため県内でハダカムギを生産する13経営体を対象にアンケート調査，フィールド調査および土壌の化学性分析を実施した。栽培面積の増加は必ずしも多収阻害要因にはなっておらず，規模拡大を行っても農業用機械の高性能化，高速化によって適期作業を可能にし，基本的農作業を丹念に実施することで近年の多雨等による収量低下の傾向を回避していると考えられた。また，2016年産～2018年産の3年間で毎年異なる計54圃場でフィールド調査および土壌化学性分析を行い，成熟期の地下水位50cm未満，作土内水位が成熟期で10cm以内，有効土層深が27cm以内，土壌pHが5.4以下，降雨後2日以内の土壌水分が65%以上または25%以下，交換性カリが13mg/100g以下が，圃場立地や土壌環境に係る多収阻害要因とその指標として抽出できた。

キーワード：多収阻害要因，ハダカムギ，営農，圃場立地，土壌環境

1. 緒言

筆者らは前稿で，アメダスデータによる近年の平均気温や降水量と作物統計による県内産ハダカムギの収量との関係を重回帰分析したところ，東予では11月の播種時の湿害と4月の登熟期の湿害回避作業が重要な増収技術の一つであることと，中予でも4月の登熟期の湿害対策が必要とともに，5月の成熟期の過乾燥対策が必要なことを明らかにした(大森・辻田，2018)。これらは気象面から見た愛媛県産ハダカムギの多収阻害要因と言える。一方で，営農，圃場の立地，土壌環境等にも多収を阻害する要因が存在すると思われる。そこで，これらを明らかにするため県内ハダカムギ生産者を対象にアンケート調査，フィールド調査および土壌の化学性分析を実施したので，その結果を報告する。

なお，本調査は農林水産省委託プロジェクト「麦類の多収阻害要因の解明と対策(2015年～2019年度)」で実施した。

2. 材料および方法

1) アンケート調査

2016年産ハダカムギ生産者のうち，東予および中予地域を代表する13経営体について，表1に示した項目でアンケート調査を実施した。調査時期は2016年9月～2017年3月で，調査方法は訪問面接調査とした。

調査結果は，設問ごとに集計し栽培面積と単収の相関分析を行うとともに，栽培面積と近年の栽培面積の増減，近年の収量の変化と栽培面積の増減，近年の収量の変化やトラクタ平均出力と適期作業の実施状況，苦土石灰散布量と近年の収量の変化，ならびに経営タイプ毎の近年の栽培面積の増減や施肥体系の種類と平均収量についてクロス集計を行った。

2) フィールド調査および土壌化学性分析

調査圃場は，1経営体につき例年高収圃場と例年低収圃場のペア圃場とし，2016年産～2018年産の3年間で毎年異なる計54圃場を調査した。内訳は，2016年度が東予地域で16圃場，中予地

*現 愛媛県中予地方局産業振興課

域で 8 圃場であり、同様に 2017 年度が 10 圃場と 8 圃場、2018 年度が 6 圃場と 6 圃場とした。

調査項目は、土壌の種類、坪刈収量、調査圃場の地下水位、作土内水位、土壌の含水率、貫入土壌硬度計の振り切れ深、有効土層深、土壌 pH および交換性カリ含有率とした。土壌の種類は、日本土壌インベントリー（国立研究開発法人農業・食品産業研究機構，2019）の旧農耕地土壌図を用いて緯度経度検索により確認した。地下水位は穴径 7cm のハンドオーガーで深さ 50cm の穴を掘り調査時に地面からの水位を観測した。湧水がない時は一律 50cm とした。作土内水位は移植ゴテで鋤床層の上面まで穴を掘り調査時に畝上からの水位を観測した。滞水がない時は一律作土深を当てた。なお、観測穴に直接降雨が入らないよう、地下水位観測穴および作土内水位観測穴ともに塩ビ管キャップで穴をふさいだ。土壌の含水率は TDR 土壌水分計（藤原製作所 TDR-341F，センサー長は 20cm）を用いセンサーを鉛直方向に畝に刺し 5 反復の平均とした。振り切れ深はデジタル貫入式土壌硬度計（大起理化学工業株式会社 DIK-5532）で約 3MPa 以上に達した深さとし、3MPa に達しなかった時は一律 50cm とした。有効土層深は検土杖を用いて測定した。土壌 pH は pH 計を用い生土法（愛媛県農林水産部普及指導課，1994）で、交換性カリは原子吸光法（愛媛県農林水産部普及指導課，1994）で測定した。

測定時期は、地下水位は成熟期、作土内水位は茎立～出穂期及び出穂～成熟期、土壌含水率は茎立～出穂期で、いずれも降雨の 1～2 日後とした。振り切れ深と有効土層深は播種～茎立期で、土壌 pH と交換性カリは収穫直後とした。

各調査項目は、地域ごとに高収圃場と低収圃場を比較し *t* 検定を行った。また、収量 450kg/10a を達成する各項目の基準値を、収量とその他の調査項目との関係から作成した。

3. 結果および考察

1) アンケート調査

調査対象は、経営タイプでは、個人経営が 69%，集落営農組織が 31% で、栽培面積では最小 1.3ha，最大 40.0ha，平均 11.0ha であった。近年の麦栽培面積の増減では、増えたが 15%，変わらないが 69%，減ったが 15% で、近年の収量の

増減では、変わらないが 15%，悪くなったが 69%，大変悪くなったが 15% であった（表 2）。

表 1 アンケート調査項目

設問 1	経営タイプ
設問 2	栽培面積
設問 3	近年の麦栽培面積の増減
設問 4	当年産（2016 年）の収量*
設問 5	近年の収量の変化
設問 6-1	近年の農作業（丹念さ）の変化
設問 6-2	手をかけなくなった作業**
設問 6-3	手をかけなくなった作業の理由**
設問 7-1	近年の適期作業の実施状況の変化
設問 7-2	適期に実施できなくなった作業**
設問 7-3	適期作業ができなくなった理由**
設問 8-1	保有トラクタの種類
設問 8-2	保有トラクタの出力
設問 8-3	前作跡地の耕起方法
設問 9-1	播種方法
設問 9-2	当年産の播種量
設問 10	当年産の施肥体系
設問 11	当年産の石灰散布量
設問 12	当年産の堆肥施用量
設問 13	当年産における土入れ作業の有無
設問 14	当年産における麦踏み作業の有無
設問 15	近年の雑草による収量への影響
設問 16	自由意見

*は坪刈収量，**は複数回答

表 2 調査対象の概要

項目	経営タイプ			計
	個人	集落営農		
対象数 (戸)	東予	5	4	9(69)
	中予	4	0	4(31)
	計	9(69)	4(31)	13(100)
栽培面積 (ha)	平均	6.9	20.3	11.0
	最大	25.0	40.0	40.0
	最小	1.3	4.7	1.3
近年の栽培 面積の増減	増加	5	1	6(46)
	不変	4	2	6(46)
	減少	0	1	1(8)
近年の収量 の増減	増加	2	0	2(15)
	不変	5	4	9(69)
	減少	2	0	2(15)

()内は割合(%), ただしラウンドの関係で合計が 100 にならないことがある。

農作業の変化では、手をかけなくなったが 69%で最も多く、その作業は麦踏みと土入れが 46%と高く、理由は面積拡大と天候不順が 15%で、次いで人手不足と他作物導入であった。適期作業の実施状況では、実施できなくなったが 77%で最も高く、その作業は播種が 38%、排水対策と雑草対策が 23%と高く、理由は天候不順が 69%、面積拡大が 23%であった。近年の収量の変化では、悪くなったおよび大変悪くなったを合わせると 84%と高かった。トラクタは全てホイール型であり、最小 30ps、最大 58ps、平均 40ps であった。耕起方法は 85%がロータリ耕であったが、チゼル耕も 8%あった。播種方法ではドリル播種が 69%と最も高いが、正転耕または逆転耕による畝立同時播種が 30%あった。10a あたり播種量は最小

9 kg、最大 17kg で、平均 11.9 kg であり、東予地域平均で 13.2 kg、中予地域平均で 9.0 kg であった。施肥体系では、化成肥料による基肥追肥体系が 46%、緩効性肥料による基肥全量施肥体系が 54%であった。苦土石灰散布量 (10a あたり) は平均 118 kg で、施用農家割合は 100%であった。堆肥散布では、鶏糞を施用する経営体が 8%あった。2016 年産の中間管理作業については、土入れ実施率は 54%、麦踏み実施率は 62%であった。雑草発生によって減収したとする割合は 38%あった。自由意見では、播種期の雨対策が必要なこと、収量を高めるため排水の良い圃場で栽培すること、並びに堆肥施用による土づくりが必要とのものであった (表 3)。

表3 アンケート単純集計結果

項目	単純集計***
農作業の変化	手をかけるようになった (15%)、変わらない (15%)、手をかけなくなった (69%)
手をかけない作業*	麦踏み (46%)、土入れ (46%)、排水対策 (31%)、雑草対策 (31%)、播種 (23%)、土づくり (23%)
理由*	面積拡大 (15%)、天候不順 (15%)、人手不足 (8%)、他作物導入 (8%)
作業時期の変化	適期に実施できるようになった (8%)、変わらない (15%)、適期に実施できなくなった (77%)
実施できない作業*	播種 (38%)、排水対策 (23%)、雑草対策 (23%)、土入れ (15%)、麦踏み (8%)
理由*	天候不順 (69%)、面積拡大 (23%)、人手不足 (8%)
収量の変化	良くなった (0%)、変わらない (15%)、悪くなった (69%)、大変悪くなった (15%)
トラクタの種類	ホイール型 (100%)、クローラ型 (0%)
出力	平均40ps、最少30ps、最大58ps 【30ps級 (46%)、40ps級 (15%)、50ps級 (38%)】
耕起方法	ロータリ耕 (85%)、チゼル耕 (8%)、不耕起 (8%)
播種方法	ドリル (69%)、畝立同時・正転耕 (15%)、畝立同時・逆転耕 (15%)
播種量** (10aあたり)	平均11.9kg、最少9kg、最大17kg 【東予平均 (13.2kg)、中予平均 (9.0kg)】
肥料の種類**	化成基肥追肥体系 (46%)、緩効性基肥全量体系 (54%)
石灰散布** (10aあたり)	平均118kg、最少80kg、最大160kg 【施用農家割合 (100%)】
堆肥散布**	鶏糞 (8%)
土入れ**	した (54%)、していない (46%) 【実施農家割合 (東予67%、中予25%)】
麦踏み**	した (62%)、していない (38%) 【実施農家割合 (東予78%、中予25%)】
雑草の影響**	減収した (38%)、影響なし (62%)
自由意見	1回の降水量が増えたので対策が必要、播種期の雨対策 (2件) 排水の良いほ場 土づくりに堆肥施用を

*は複数回答

**は本年作 (2015年播き) の状況

***はラウンドの関係で合計が100にならないことがある。

以上のことから、近年は、多雨によって適期作業ができなくなったり、規模拡大によって農作業が丹念にできなくなったことで、収量は低下傾向にあることが推察された。

次に相関分析とクロス集計結果を図1～図9に示した。

栽培面積と単収の相関分析では、個人と集落営農集団で一定の傾向は見られなかったが、平均栽培面積を超える大規模経営体では面積が大きいと10a当たり収量は低い傾向があった(図1)。

経営タイプ別の近年の面積の変化と収量との関係では、栽培面積が増えた集落営農集団は10a当たり収量が低い、個人では栽培面積が増えた経営体で10a当たり収量は高かった(図2)。すなわち営農集団では規模拡大は多収阻害要因であったが、個人では多収阻害要因ではなかった。また、近年の収量は大きく減少またはやや減少と回答した経営体が多かったものの、一部の経営体では収量は変わらないと回答しており、その経営体は全て近年の栽培面積は増加していた(図3)。このことから、栽培面積の増加は必ずしも多収阻害要因にはならないことを示している。

近年の収量が大きく減少したと回答した経営体の全てで農作業に手をかけなくなったとの回答であったが、近年の収量は変わらないと回答した経営体では農作業に手をかけるようになった、またはこれらは従前どおりで変わらないとの回答であった(図4)。また、近年の収量は大きく減少したと回答した経営体では、苦土石灰散布量が少なく(図5)、雑草の影響の有無による収量差や全量基肥施肥体系と基肥追肥施肥体系との収量差が大きかった(図6, 7)。このことから、規模拡大では作業の省力化が必要であるものの、土壌改良、除草、施肥等の基本的農作業については丹念に実施することで近年の多雨等による収量低下の傾向を回避していると考えられた。

適期作業との関係については、近年の収量が大きく減少したと回答した経営体の全てで適期作業ができなくなったとの回答であり、近年の収量は変わらないと回答した経営体では適期作業ができるようになった、またはこれらは従前どおりで変わらないとの回答であった(図8)。また、トラクタの平均出力は、適期作業ができる区分では、適期作業ができない区分より高かった(図9)。

これらのことから、県内ハダカムギ生産農家は、規模拡大を行っても農業用機械の高性能化、高速化によって適期作業を可能にし、基本的農作業を丹念に実施することで近年の多雨等による収量低下の傾向を回避していると考えられた。

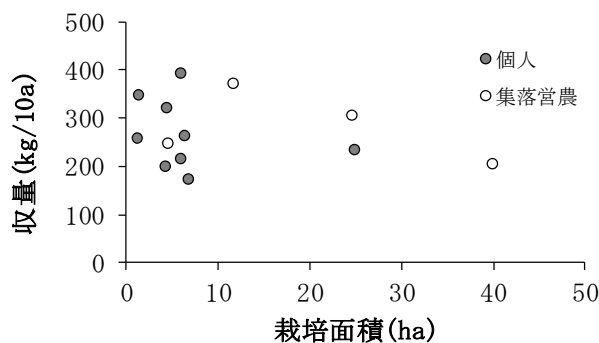


図1 栽培面積と収量

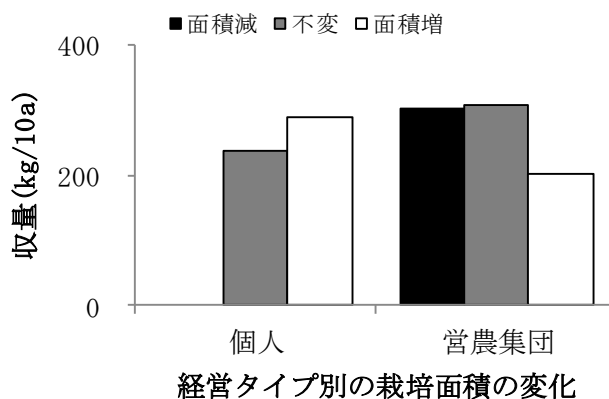


図2 経営タイプ別の近年の栽培面積の変化と収量との関係

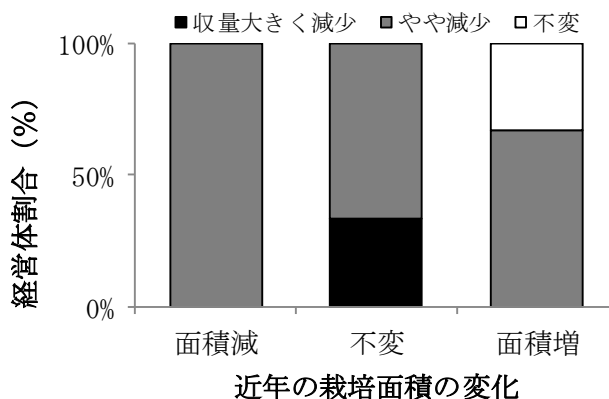


図3 近年の栽培面積の変化別に見た収量の収量変化区分の農家割合

2) フィールド調査および土壌化学性分析

調査地点の代表的な土壌タイプは、東予 (n=32) では中粗粒灰色低地土 (n=11) または中粗粒強グライ土 (n=9) で、中予 (n=23) では礫質灰色低地土 (n=13) であった。収量はそれぞれ、257, 456, 338kg/10a で、グライ土の収量は灰色

低地土より高いことから、湿田は必ずしも多収阻害要因とはならないことが示された (表4)。

調査圃場の収量、地下水位、作土内水位、土壌の含水率、貫入土壌硬度計の振り切れ深、有効土層深、土壌 pH および交換性カリ含有率について集計結果を表5に、各調査項目と収量との関係を図10~図17に示した。

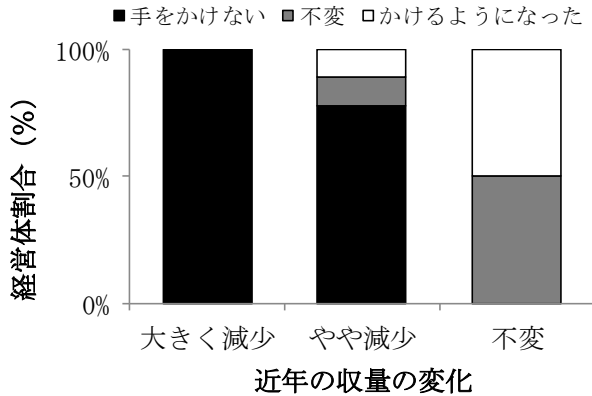


図4 近年の収量の変化別みた農作業の丹念さ区分の農家割合

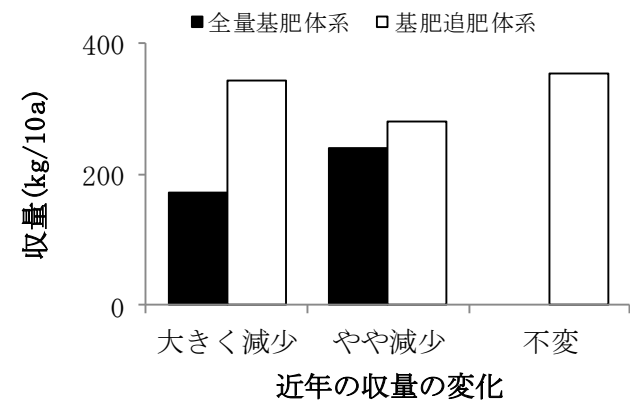


図7 経営タイプ別の近年の栽培面積の変化と収量との関係

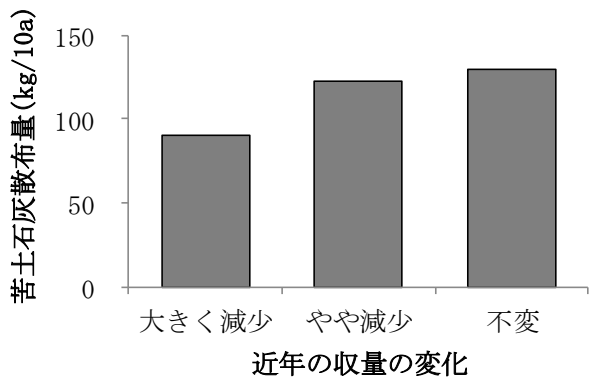


図5 近年の収量の変化別みた苦土石灰散布量の平均

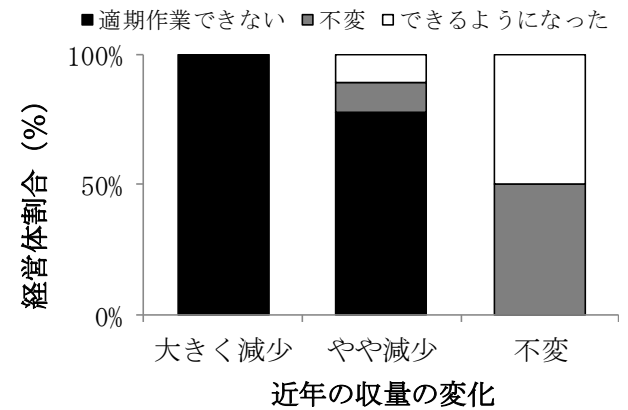


図8 近年の収量の変化別みた適期作業の可否区分の農家割合

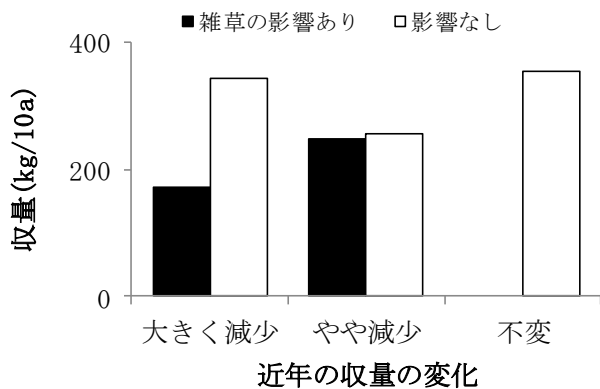


図6 経営タイプ別の近年の栽培面積の変化と収量との関係

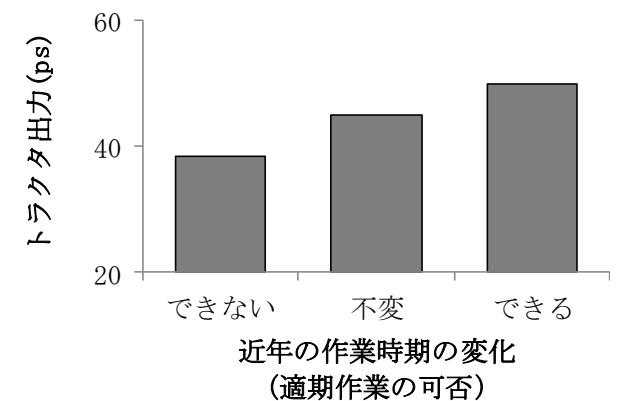


図9 近年の適期作業の可否別みたトラクタ出力の平均

収量は，東予では高収圃場で 467 kg/10a，低収圃場で 395kg/10a で，中予ではそれぞれ 448 kg/10a，262kg/10a で，中予でのみ 5%水準で有意な差があった．同様に，出穂～成熟期の作土内水位は，東予では高収圃場で 12cm，低収圃場で 10cm，中予ではそれぞれ 13cm，11cm で，有効土層深も東予で 48cm，49cm，中予で 44cm，32cm であり，いずれの項目も中予でのみ 5%水準で有意な差があった．その他の項目では，地域ごとの高収圃場と低収圃場に有意な差はなかった．このことから，中予では作土内の滞水による湿害や有効土層が浅く根張りが不十分なことが低収に関わっていることが推察された．一方，東予では高収圃場と低収圃場の収量差が小さく多収阻害要因の抽出はできなかった（表 5）．

収量と茎立～出穂期の降雨 1 日後の土壌含水率との関係では，含水率が 40 から 50%で最大で，それ以上でも以下でも低下した．目標収量を達成するには含水率は 25%～65%であることが必要であった（図 11）．

収量と降雨 1 日後の作土内水位との関係は，茎立～出穂期，出穂～成熟期とも水位が高いほど，その深さでの最高収量は低下し，目標収量を達成する水位は茎立～出穂期では 7cm 以上（図 12），出穂～成熟期では 10cm 以上であった（図 13）．

収量と貫入式土壌硬度計の振り切れ深または有効土層深との関係では，いずれもその深度が浅いほど，その深さでの最高収量は低下し，目標収量を達成する深度は振り切れ深では 25cm 以上（図 14），有効土層深では 27cm 以上（図 15）と，ほぼ同等であった．

収量と収穫跡地の土壌 pH との関係では，pH が 5 以下では収量が大きく低下し，目標収量を達成する土壌 pH は地下水水位が 50cm より深い場合では pH4.8 以上，地下水水位が 50cm より浅い場合は pH5.4 以上が必要であった（図 16）．

表 4 東予および中予の土壌タイプ別平均収量と調査地点数

地域	土壌	黄色土		褐色低地土				灰色低地土		グライ土	
		細粒	礫質	細粒	中粗粒	礫質	下層黒ボク	中粗粒	礫質		
東予	収量 (kg/10a)		303	282	257	399		456	295		
	n 数	0	2	4	11	2	0	9	4		
中予	収量 (kg/10a)	256	277	512	357	338	410				
	n 数	2	1	3	2	12	2	0	0		

表 5 調査圃場の収量およびフィールド調査及び土壌化学性分析結果

地域 と圃場区分	項目	収量 (kg/10a)	地下 水位 ^z (cm)	土壌含 水率 ^y (%)	作土内 水位 ^y (cm)	作土内 水位 ^z (cm)	振り切 れ深 ^x (cm)	有効土 層深 (cm)	土壌 pH	交換性 カリ (mg/100g)
東予	高収	467	42	45	12	13	46	48	6.1	16
	低収	395	39	48	10	12	43	49	5.7	15
	t 検定	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
中予	高収	448	44	41	13	13	37	44	5.7	23
	低収	262	39	46	11	13	36	32	5.3	30
	t 検定	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.

n 数（有効土層深除く）は高収圃場，低収圃場とも，東予 16，中予 11．ただし有効土層深は各 7．

z は出穂～成熟期，y は茎立～出穂期で，いずれも降雨の 1～2 日後に測定．x はデジタル貫入式土壌硬度計（大起理化工業株式会社 DIK-5532）で約 3MPa 以上に達した深さ．

t 検定の行の*は 5%水準で有意差あり．n.s.は有意差なし．

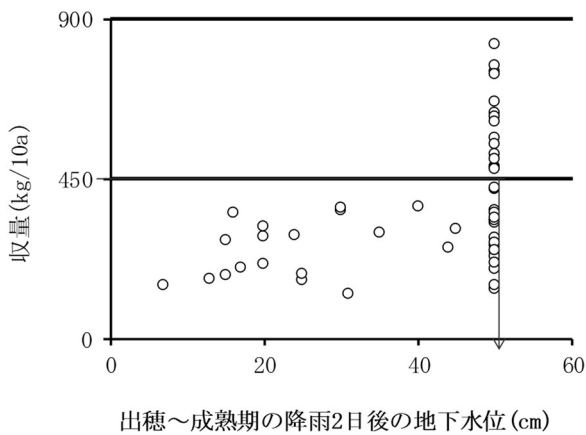


図10 収量と成熟期の降雨2日後の地下水位との関係

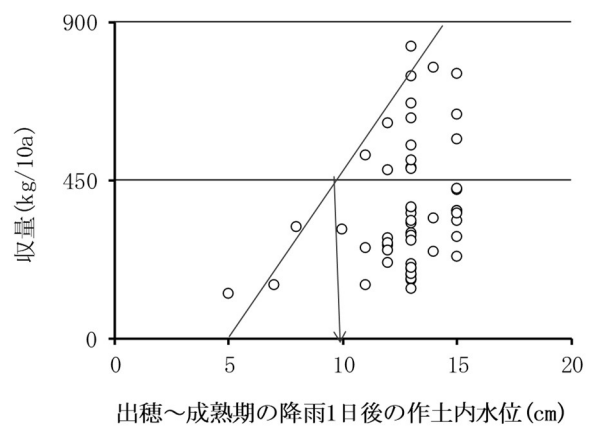


図13 収量と成熟期の降雨1日後の作土内水位との関係

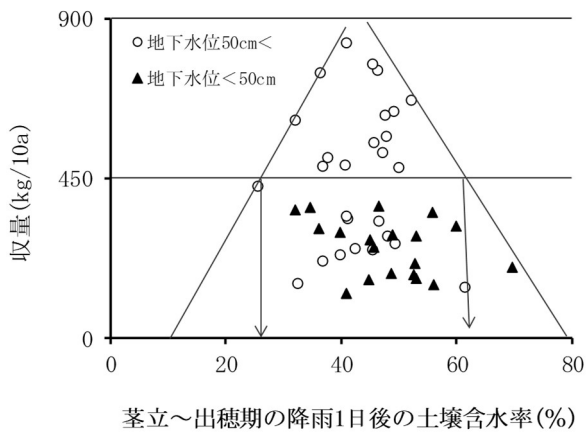


図11 収量と茎立～出穂期の降雨1日後の土壌含水率との関係

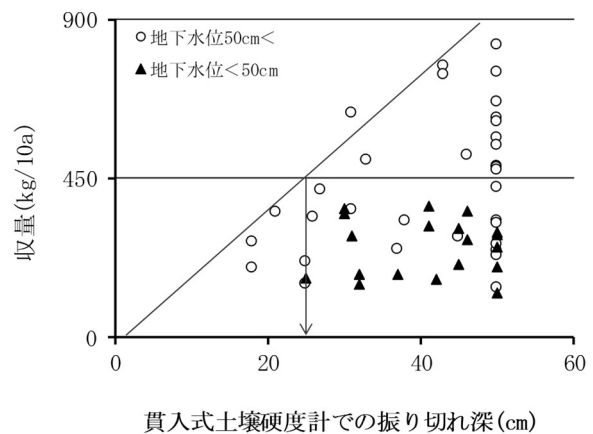


図14 収量と貫入式土壌硬度計の振り切れ深との関係

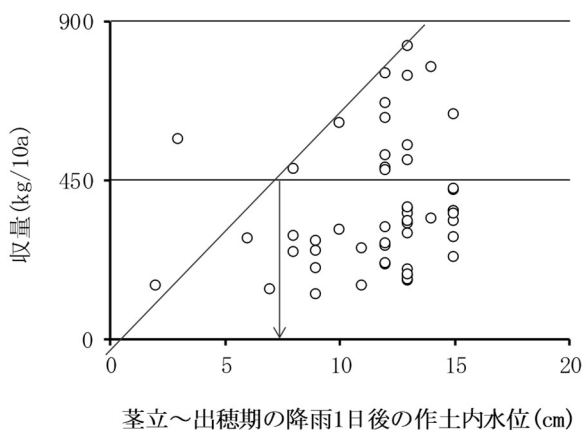


図12 収量と茎立～出穂期の降雨1日後の作土内水位との関係

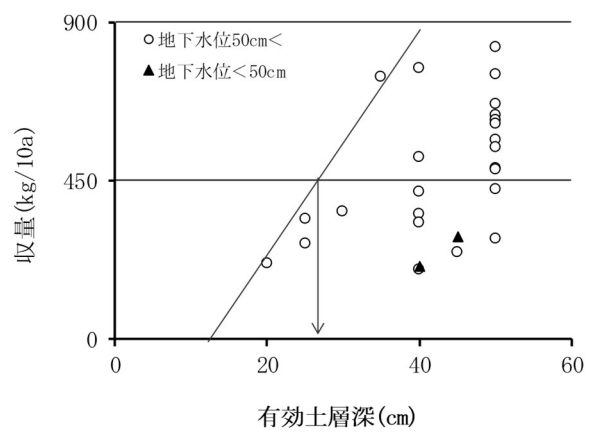


図15 収量と有効土層深との関係

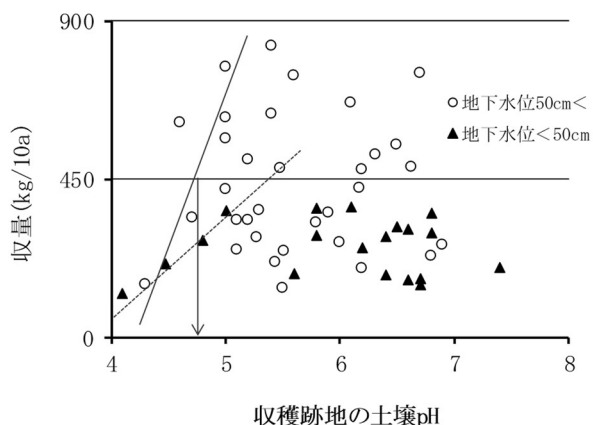


図 16 収量と収穫跡地の土壌 pH との関係

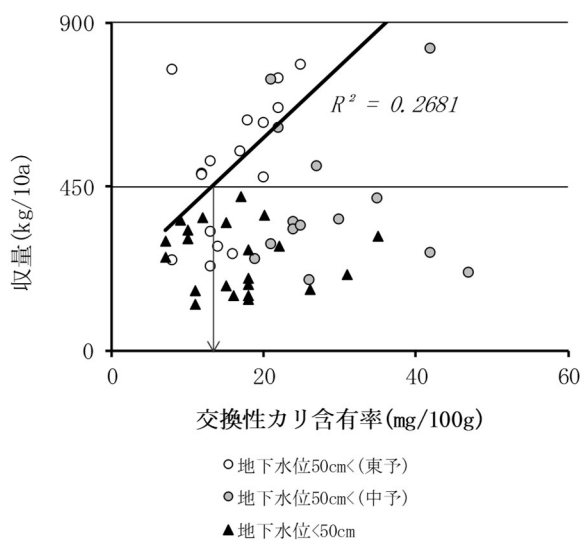


図 17 土壌の交換性カリ含有率との関係

土壌の交換性カリ含有率との関係では、中予や地下水位が 50cm より浅い圃場では一定の傾向は見られなかったが、東予では地下水位が 50cm より深い圃場では収量と土壌の交換性カリ含有量と正の相関があった ($R^2=0.268^{**}$) (図 17)。このことから、東予の圃場では、地下水位が深くハダカムギの生育が良好な場合は、土壌の交換性カリが多収阻害要因となっており、収量 450 kg/10a を超えるには交換性カリは 13mg/100g 以上が必要であった (図 17)。

これらのことから、多収阻害要因とその指標として、成熟期の地下水位 50cm 未満、作土内水位が成熟期で 10cm 以内、有効土層深が 27cm 以内、土壌 pH が 5.4 以下、降雨後 2 日以内の土壌水分

が 65% 以上または 25% 以下、交換性カリが 13mg/100g 以下が抽出できた。

4. まとめ

アンケート調査からは、栽培面積が増えた集落営農集団は 10a 当たり収量が低いが、個人では栽培面積が増えた経営体で 10a 当たり収量は高く、栽培面積の増加は必ずしも多収阻害要因ではなかった。近年の収量が大きく減少したと回答した経営体の全てで農作業に手をかけなくなったと回答があり、苦土石灰散布量の低下、雑草抑制の不徹底、基肥全量施肥体系への依存等が推察でき、規模拡大しても収量が低下しない経営体では、基本的農作業については丹念に実施することで近年の多雨等による収量低下の傾向を回避していると考えられた。また、農業用機械の高性能化、高速化によって適期作業を可能にしていることも収量低下の回避に役立っていると考えられた。

土壌の種類と収量との関係では、グライ土の収量は灰色低地土より高く、湿田は必ずしも多収阻害要因とはならなかったが、目標収量 450kg/10a を達成するには出穂～成熟期の地下水位は 50cm より深いことが必要であった。茎立～出穂期の作土では、降雨 1 日後に作土内水位が 7cm より深く土壌含水率は 65% 以下であり、出穂～成熟期の作土内水位は 10cm より深いことが必要であった。このことから生育期間中は作土内に滞水しないよう畝間等の圃場内明きよ整備の重要性を示している。作付の規模拡大に適應するためには、播種と同時に作溝する畝立同時播種の導入が省力かつ作業の確実性に有効と考えられる。一方で、茎立～出穂期の土壌含水率は 25% 以上が必要なため、排水性が良好で寡雨によって過乾燥な圃場では麦踏等を行い毛管連絡切断を防ぐことが必要と考えられた。また、貫入硬度が 3MPa 以上の層の出現深や有効土層深はいずれも 25～27cm で同等であった。このことは、高価な貫入式硬度計が無くても検土杖や直径 7mm 程度のグラスファイバー等で圃場の診断が可能であると考えられた。

土壌の化学性では、多収阻害要因の指標値として、土壌 pH が 5.4 以下と交換性カリが 15～35mg/100g 以下が抽出できた。ハダカムギの好適

土壌 pH は 6.2～6.9 (愛媛県農林水産部普及指導課, 1995) であり, 県内の多くの灰色低地土やグライ土では苦土石灰を 100～150 kg/10a 施用後, 数週間で好適域に改善され, その後, 土壌 pH は再び低下すると思われる. 今回の pH の指標値は出穂～成熟期のものであったため, 改良目標値 (好適域) を下回ったと考えられる. なお, 地下水位が浅い等の不良環境下では収量を向上させるためには, より好適域に近い pH が必要である.

交換性カリについては, 東予の地下水位が低い圃場でのみ収量と相関があった. これら圃場では湿害に次いで交換性カリ含有率が多収阻害要因となっていることが推察される. カリの土壌診断基準は砂質土で 10～25mg/100g であり (愛媛県農林水産部普及指導課, 1995), 東予では中粗粒質土壌の割合が高いことから, 目標収量達成の基準値として, 交換性カリが 13mg/100g が抽出できたものと考えられた. 県施肥基準では 2017 年に中間追肥のカリを増施する施肥体系に改正したことから, 適正な施用が望まれる. なお, 中予

や地下水位が浅い圃場では交換性カリと収量とは一定の関係が見られなかったことから, 根域の拡大や, 土壌 pH, 土壌含水率の適正管理等, 先に改善すべき要因があることが推察された.

謝 辞

本調査を実施するにあたり, 東予地方局および中予地方局の担当普及指導員に, 農家や圃場の選定並びに調査補助で協力いただいた. ここに記して謝意を表す.

引用文献

- 愛媛県農林水産部普及指導課 (1994) : 土壌・植物体診断マニュアル 分析編.
愛媛県農林水産部普及指導課 (1995) : 土壌・植物体診断マニュアル 診断編.
国立研究開発法人農業・食品産業研究機構 (2019) : 日本土壌インベントリー, 旧農耕地土壌図, https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/old_figure.html