

令和 5 年 10 月 26 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06001

研究課題名(和文)ハダカムギの硝子質粒発生に関する生理的機作の解明と晩播での高収高品質管理の提案

研究課題名(英文) Analysis of physiological reaction related to glassiness grain and the suggestion of high-quality and high-yielding management of hullless barley

研究代表者

荒木 卓哉 (Araki, Takuya)

愛媛大学・農学研究科・教授

研究者番号：10363326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：茎数が多い標播区では、T3以降に出現するの茎の乾物割合が31%と大きくなった。茎数が少ない晩播11g区ではMSおよび初期に発生するT1およびT2の割合が70%を占め、他処理区より大きくなった。個体あたりの穂数は、有意な差が認められたが、収量への影響はみられなかった。1原麦の硝子率は分けつ間において違いが認められ、高位節分けつになるほど高くなった。また、分けつ間の開花日はマンネンボン慣行区において最大で12日の違いがあり、高位節になるほど遅くなった。タンパク質の蓄積程度とそれに起因する空隙量の違いにより粉状質胚乳と硝子質胚乳の2つが形成されることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、硝子質粒発生のメカニズムについて登熟期の子実乾燥に伴い含水率が低下した時に雨による吸水が硝子質程度を低くしていることを初めて明らかにした。硝子質粒発生に関するこれまでの研究では、子実タンパク質の蓄積が要因であると報告されていたが、子実乾燥後の吸水が硝子率とより密接な関係があることを見出したことは学術的意義が大きい。また、この結果に基づいて、登熟期以降の天候に応じた子実への吸水を促す栽培技術へと展開できることならびに遅まき栽培における高収量栽培技術への基本的知見を得られたことは社会的意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：In standard sowing, having many tillers, the ratio of dry weight of tillers after appearance of primary tillers developing from the third leaf axil to all the tillers amounted to 31%. In late sowing with 11g m⁻², having not so much tillers, the ratio of dry weight of main stem and primary tillers developing from the first and second leaves axil occupied 70%. Late sowing significantly restricted number of panicles per plant compared to standard sowing, but has no effect on grain yield. Grain glassiness rate per grain differed among tillers, and the later appearance of tillers, the higher the value showed. The anthesis term of all the tillers of a plant showed for twelve days in Mannenboshi. The timing of anthesis in a plant was late at later appearance tillers. The formation of glassiness grain of hullless baley is related to the accumulation of protein in endosperm cells and the ratio of intercellular volume to total volume of grain.

研究分野：作物学

キーワード：ハダカムギ 硝子率 晩播 播種量 収量 分けつ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ハダカムギはオオムギの一種であり、申請者が所属している愛媛県では作付面積が35年連続日本一の重要品目である。穀皮は外れやすいため、加工適性に優れている。代表的な加工品は味噌であり、瀬戸内および北部九州地域の麦味噌文化を育てている。ほかに焼酎、パンなどに加工されているが、不溶性食物繊維であるβ-グルカンを多く含んでいることから、生活習慣病予防が期待できるため、健康食品や病院食をはじめ用途が拡大している。

ハダカムギの品質評価項目の一つに硝子率がある。硝子率は、目視または画像解析により、子実を粉状質粒、半硝子質粒および硝子質粒の3つに分類することで、調査したそれぞれの粒数に0、0.5および1と重み付けをして、評価したものである。硝子質が高いと加工工程である搗精時間が長くなり、コストが増える。また、硝子率は粉状質、半硝子質および硝子質の3種類の総合結果であることから、これらの混在程度が不均一な搗精を招いている原因となっている。さらに、硝子質が高いと、加工品がくすんだ色となり、外観へ影響を及ぼす。

これらのことから、硝子質粒程度が均一かつ低硝子率のハダカムギが求められている。硝子質粒発生に関するこれまでの研究では、原麦の窒素含有率およびタンパク質含量、施肥、特に追肥量や時期、刈り取り時期、子実比重等との関係が指摘されてきた。特に原麦タンパク質含量との関係は多くの報告がなされている。しかし、多くの報告では硝子率に対する原麦タンパク質の説明率(R²)は20~40%程度であることから、主要因とは言い難い。また、これまでの報告において、硝子質粒に関する調査は成熟期の子実収量および品質評価試料を対象になされてきた。すなわち、一部の抜き取り評価である。これに対して、研究代表者は、子実1粒を対象として、子実着生位置ごとの子実成長および硝子質程度の発生について調査を行い、着生位置により子実重および硝子率が異なることを明らかにしてきた。

2. 研究の目的

出穂、開花以降の子実の子実1粒を対象とした肥大成長、デンプン蓄積およびタンパク質蓄積の動態を生理学および形態学的手法により明らかにすることが、硝子質粒発生の機作を解明に繋がると思った。また、研究代表者は、出穂期以降の積算降水量が多いほど、硝子率は低くなることを明らかにしていることから、多く報告されている子実の蓄積量や栽培技術の硝子率への影響について気象要因を追加して総体的に解析し、硝子率の抑制栽培技術を構築することを目的として研究を実施した。

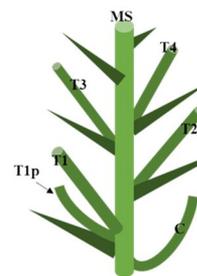
3. 研究の方法

(1) 晩播による分けつ構成および乾物生産が終了に及ぼす影響

ハダカムギ品種「ハルヒメボシ」を用いた。2020年から2022年までの3作期にわたり実施した。播種は標準播種(標播)として11月中旬に、晩期播種(晩播)として12月中旬に行い、愛媛大学農学部内圃場および東方町圃場で栽培した。播種量は標播で8 g/m²(標播区)、晩播で8 g/m²(晩播8 g区)および11 g/m²(晩播11 g区)とした。窒素施肥条件として4条件を設けた。すなわち、基肥：中間追肥：穂肥：実肥(g/m²)が4：6：3：0の慣行区、2：8：3：0の中間追肥重点区(中間区)、2：6：6：0の穂肥重点区(穂肥区)および2：6：3：2の実肥施用区(実肥区)を設け、各処理3反復ずつとした。標播は慣行区のみ設けた。分けつ調査は、展開直後から出現がみられなくなるまでの期間に連続している0.7 mを対象として行った。その際、分けつは節位および次位ごとに区別した(第1表、第1図)。出穂期および成熟期にサンプリングを行った。出穂期のサンプルは個体ごとに節位別に分けつの生存および枯死を調査し、分けつの出現率(%)を各分けつの出現数/個体数×100、生存率(%)を生存茎数/各分けつの出現数×100として算出した。成熟期のサンプルは80で48時間乾燥後、地上部乾物重を測定した。収量調査用サンプルは1 mを対象として各区画から3か所採取した。気象データは、圃場に設置した気象観測装置WeatherLink(DAVIS社)および気象庁AMeDAS(松山)より取得した。本実験では施肥体系による処理間差はみられなかったため、播種量および播種時期間で比較した。

第1表. 茎の表記

節位	表記
主茎	MS
第1節1次	T1
第2節1次	T2
第3節1次	T3
第4節1次	T4
鞘葉	C
T1プロフィール節	T1p



第1図. 茎の構成

(2) 硝子質粒発生の実態と発生要因

ハダカムギ品種「ハルヒメボシ」と「マンネンボシ」を用いた。11月18日に愛媛大学農学部内圃場に播種量8 g/m²で播種した。窒素施肥量は愛媛県の施肥基準に則った基肥：中間追肥：中間追肥：穂肥=4：3：3：3 g/m²とした慣行区、開花期に3 g/m²を追肥した実肥区を設け、各

処理区3反復ずつとした。出穂期は3月19日~3月26日、成熟期は5月16日~5月23日であった。分けつの調査は、展開直後より出現が見られなくなるまで、生育が揃い連続している0.5mを対象として行った。その際、分けつは節位および次位ごとに区別した。また、開花日を分けつごとに調査し、穂内で最初の開花が認められた日を開花日とした。成熟期にサンプリングを行い、すべての穂について主列および側列を含め子実着生位置ごとに硝子率を判定した。さらに、成熟期前後9日間について3日間隔で穂を採取し、硝子率を判定した。硝子率判定には、硝子率判定器(RN-840,ケツト)を使用した。また、穂の子実着生位置を上中下に3分割し、それぞれについて開花後5日ごとの子実含水率を調査した。さらに、マンネンボシにおいて成熟期の子実サンプルから硝子質粒を選抜し、吸水による粉状質化について検討した。

4. 研究成果

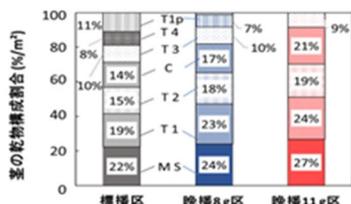
(1) 晩播による分けつ構成および乾物生産が終了に及ぼす影響

出穂期において個体数は処理間で有意差が認められ、晩播11g区が最も多く、標播が最も少なかった(第1表)。個体あたりの茎数および地上部乾物重は標播区が有意に多く、次いで晩播8g区、晩播11g区の順となった。茎の出現率および生存率は、いずれの処理区においても出現の早い茎で高く、遅い茎で低い傾向がみられたが、個体の構成は異なった。標播区において、各分けつの出現率は高いが、T3以降の出現分けつは生存率が低いため個体あたりの穂数は4本程度となり、個体の有効茎歩合は57%となった。晩播区ではCおよびT3以降の出現がみられなかったため、個体あたりの茎数は3本程度になった。T2の出現率および生存率は晩播8g区と晩播11g区で差が認められ、T2の出現率が高く生存率が低い晩播11g区は、晩播8g区より少ない2本程度となった。成熟期における乾物分配は個体あたりの茎数による影響がみられた(第2図)。茎数が多い標播区では、T3以降に出現するの茎の乾物割合が31%と大きくなった。茎数が少ない晩播11g区ではMSおよび初期に発生するT1およびT2の割合が70%を占め、他処理区より大きくなった。個体あたりの穂数は、有意な差が認められたが(第3表)、収量への影響はみられなかった(第3図)。いずれの処理区においてもMS~T2が全体の90%以上を占め、茎の乾物分配の違いによる影響はみられなかった。また、収量には各処理で有意差が認められず、面積当たりの穂数は晩播11g区が最も多く、晩播8g区が最も少なかった(第4表)。1穂粒数は標播が最も多く、晩播より10粒程度多かった。以上のことから、本実験では個体あたりの茎数および穂数に関わらず、収量への寄与はMS~T2が大きく、個体あたりの茎数が多い場合ではT3、T4およびT1pといった生存率の低い分けつが、MS、T1およびT2の穂への乾物分配に影響を及ぼしている可能性が示唆された。また、標播では1穂粒数が多く、個体あたりの茎数、穂数および地上部乾物重は有意に大きい。出芽期および初期生育の気温が低かった(第5表)ため、個体数が少なかった。晩播11g区では、個体数が多いことに伴い単位面積当たりの穂数は多かったが、個体あたりの地上部重および茎数が少なかった。各処理区において、それぞれの要因が重なることにより収量差が生じなかったことが示唆された。

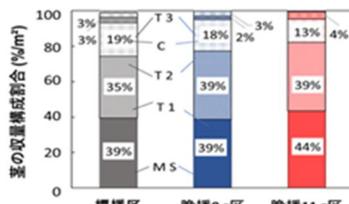
第2表. 出穂期の各処理区における群落および個体の構成。

処理区	個体数 (m ²)	葉数 (±/個体)	地上部 乾物重 (g/個体)	出現率(%)							生存率(%)							穂数 (±/個体)
				MS	T1	T2	C	T3	T4	T1p	MS	T1	T2	C	T3	T4	T1p	
標播区	128 c	7.9 a	4.7 a	100	95	94	47	83	77	79	100	97	87	47	13	3	10	4
晩播8g区	156 b	3.7 b	3.3 b	100	69	65	20	34	4	17	99	98	77	12	18	3	6	3.3
晩播11g区	171 a	3.4 c	2.9 c	100	89	75	23	28	1	12	100	97	49	20	3	0	2	2.5

異なる英小文字は処理間に5%水準で有意差があることを示す。



第2図. 各茎における乾物構成割合。



第3図. 各茎における収量構成割合。

第3表. 成熟期の個体あたりの茎数および穂数。

	標播区	晩播8g区	晩播11g区
茎数 (本/個体)	6.3 a	3.6 b	3.1 c
穂数 (本/個体)	4.0 a	3.3 b	2.5 c

異なる英小文字は処理間に5%水準で有意差があることを示す。

第4表. 播種時期における生育ステージごとの積算気温比較。

播種時期	年次	中間追肥時	穂肥時	収穫時
標播	平年値	745	921	2296
	本試験	509	673	2009
晩播	平年値	543	666	1887
	本試験	539	696	1862

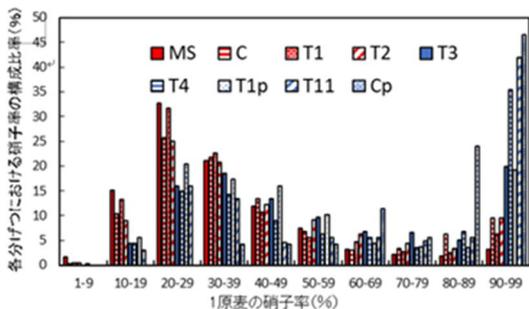
第5表. 収量および収量構成要素。

処理区	穂数 (±/m ²)	1穂粒数 (粒/穂)	全粒数 (×100/m ²)	千粒重 (g)	収量 (kg/10a)	収穫指数
標播区	505 ab	44 a	220 a	35.8 a	749 a	0.41 a
晩播8g区	507 b	36 b	186 b	35.7 a	642 a	0.39 a
晩播11g区	551 a	35 c	187 b	35.8 a	652 a	0.38 a

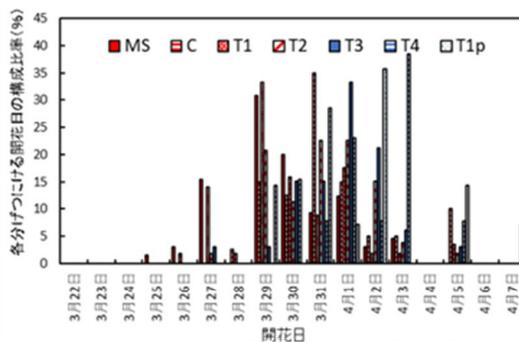
異なる英小文字は処理間に5%水準で有意差があることを示す。

(2) 硝子質粒発生の実態と発生要因

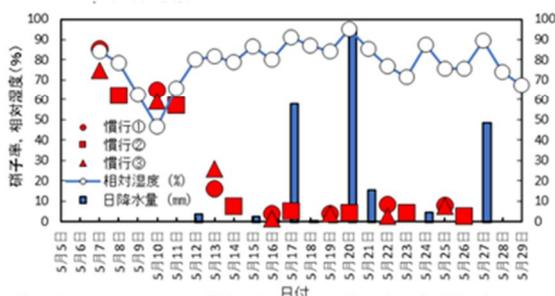
1 原麦の硝子率は分けつ間において違いが認められ、高位節分けつになるほど高くなった(第4図)。また、分けつ間の開花日はマンネンボシ慣行区において最大で12日の違いがあり、高位節になるほど遅くなった(第5図)。硝子率は成熟期6日前から3日前にかけて急激に低下した。この硝子率が低下した時期において相対湿度の低下と4mmの降雨が認められた(第6図)。奥村ら(2015)は、収穫後の乾燥したオオムギを吸水させることで硝子率が低下したと報告している。本研究における成熟期直前の硝子率の低下は奥村らと同様に乾燥後の吸水により硝子質粒が粉状質化したためであると推察された。また、子実含水率は開花後徐々に低下した(第4図)。奥村ら(2015)は、吸水前の子実含有率が13%では硝子率が低下したが、22%では硝子率が低下しなかったと報告しており、分けつ間においては開花の早晩により成熟期3日前の子実含水率が異なり、分けつ間で吸水による粉状質化に差異があったと考えられた。以上のことから、圃場内における硝子率の変異は、成熟期直前の子実含水率に違いがある分けつ間において、吸水による粉状化に差異があったことで生じたと考えられた。硝子質粒の粉状質化がカギであると考えられたため、マンネンボシの慣行区と実肥区で、吸水率と吸水後の1原麦の硝子率との関係を検討した。その結果、両処理区とも吸水率の増加に伴い1原麦の硝子率は低下した。しかし、低下の幅は処理区で異なり、実肥区において硝子率は70%と高止まりとなった(第5図)。以上のことより、硝子質粒の粉状質化には子実水分と子実タンパク質の2つが影響していることが示唆された。デンプン粒の占有比率は73~75%であり、粉状質胚乳と硝子質胚乳の間に大きな差は認められなかった(第6表)。粉状質胚乳において、タンパク質の占有比率は12~16%で、空隙率は10%であったのに対し、硝子質胚乳においては、タンパク質の占有比率が21~24%と粉状質胚乳より大きく、空隙率は1~3%と粉状質胚乳よりも小さかった。これらのことから、タンパク質の蓄積程度とそれに起因する空隙量の違いにより粉状質胚乳と硝子質胚乳の2つが形成されることが明らかとなった。



第4図. マンネンボシ慣行区における各茎の硝子率の分布。MS: 主稈, C: 鞘葉分けつ, T1: 第1節1次分けつ, T2: 第2節1次分けつ, T3: 第3節1次分けつ, T4: 第4節1次分けつ, T1p: T1プロフィール節, T11: 第1節2次分けつ, Cp: 鞘葉分けつプロフィール節



第5図. マンネンボシ慣行区における各茎の開花日の分布。MS: 主稈, C: 鞘葉分けつ, T1: 第1節1次分けつ, T2: 第2節1次分けつ, T3: 第3節1次分けつ, T4: 第4節1次分けつ



第6図. ハルヒメボシ慣行区における硝子率と相対湿度および降水量との関係。慣行①、慣行②および慣行③は区画反復を示す。

第6表. 登熟後の原麦胚乳1細胞あたりのオルガネラおよび空隙の占有比率

品種	処理区	子実区分	胚乳位置	1細胞内占有比率(%)		
				デンプン粒	タンパク質	空隙
ハルヒメボシ	慣行区	粉状質粒	A	74.5	12.5	12.9
			B	73.2	14.6	12.3
	実肥区	粉状質粒	A	75.1	14.2	10.9
			B	74.5	15.9	9.7
マンネンボシ	慣行区	半硝子質粒	A	74.4	16.2	9.4
			B	72.6	24.2	3.2
	実肥区	半硝子質粒	A	74.7	15.3	10.0
			B	74.5	23.2	2.3
慣行区	硝子質粒	A	75.7	20.9	3.4	
		B	75.1	23.7	1.2	
実肥区	硝子質粒	A	74.2	23.3	2.5	
		B	74.5	24.4	1.1	

**は、同品種、処理区、子実区分において、胚乳位置間に1%水準で有意な差があることを示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Takuya Araki, Yasuhiro Kondo, Takato Yano, Ryo Kodani and Yukina Sakamoto
2. 発表標題 Contribution of several source portions to dry matter accumulation into panicles after heading of hulless barley sown at different terms
3. 学会等名 10th Asian Crop Science Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuto Hatakeyama, Kosuke Haraguchi, Nana Matsui and Takuya Araki
2. 発表標題 Morphological Characteristics of Mealy and Translucent Endosperm Cells of Hulless Barley (<i>Hordeum vulgare</i> var. <i>nudum</i>) During the Ripening Stage
3. 学会等名 10th Asian Crop Science Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原口晃輔, 松井菜奈, 畠山友翔, 荒木卓哉
2. 発表標題 分けつおよび子実着生位置におけるハダカムギ硝子率の変異
3. 学会等名 日本作物学会四国支部第58回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井菜奈, 原口晃輔, 畠山友翔, 荒木卓哉
2. 発表標題 異なる播種量および窒素施肥体系が遅まきしたハダカムギ品種ハルヒメボシの 分けつ構成および乾物生産におよぼす影響
3. 学会等名 日本作物学会四国支部第58回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原口晃輔, 松井菜奈, 畠山友翔, 荒木卓哉
2. 発表標題 遅まきしたハダカムギにおける開花日の違いが硝子率の変異に及ぼす影響
3. 学会等名 日本作物学会第253回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畠山友翔, 原口晃輔, 松井菜奈, 荒木卓哉
2. 発表標題 ハダカムギにおける追肥量と穂への水噴霧処理が硝子率の品種間差異に与える影響
3. 学会等名 日本作物学会第253回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本由希菜・小谷峻・畠山友翔・荒木卓哉
2. 発表標題 ハダカムギ品種ハルヒメボシの晩播に おける播種量および窒素分施肥体系の違いが収量および品質に及ぼす影響
3. 学会等名 日本作物学会四国支部第56回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小谷峻・坂本由希菜・畠山友翔・荒木卓哉
2. 発表標題 異なる播種量および窒素施肥体系で遅播きしたハダカムギ品種ハルヒメボシ の分けつ構成およびその乾物生産特性
3. 学会等名 日本作物学会四国支部第56回講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------