

# 茨城県内のカラスムギ (*Avena fatua* L.) における種子休眠性の集団間差異

茨城県農業総合センター農業研究所  
大橋 俊子

カラスムギ (*Avena fatua* L.) は世界各地の麦作で問題となる一年生冬雑草である (Beckie *et al.* 2012)。近年、関東東海地域の固定転換圃を中心としてカラスムギによる雑草害が顕在化・常態化しており (浅井・與語 2005)、茨城県においても県西地域を中心に県内広域でカラスムギの発生が認められている。県西地域は麦類の作付けが盛んであり、その多くが畑圃場である。県西地域以外でも、カラスムギの発生が目立っている圃場は畑圃場が多く、水田の場合では畑作物固定で長年作付けしている圃場である。カラスムギは常時湛水条件 20 日間で 99% 以上死滅することが報告されている (木田・浅井 2006) が、湛水管理ができない畑圃場においては効果の高い防除手段がなく、蔓延を招いている。海外では、カラスムギは麦作の強害草として麦類の大幅な減収等の被害をもたらしており (Holm *et al.* 1991; Beckie *et al.* 2012)、茨城県においても、麦類の減収や、甚発生圃場では収穫放棄も見られ、対策が求められている。

カラスムギに有効な除草剤として、海外では土壌処理剤に加え、茎葉処理剤も普及している。一方、日本ではカラスムギに有効な茎葉処理剤の登録がなく、土壌処理剤においても、効果が確認されているのはトリフルラリンやクロロプロファミのみである (浅井・與語 2010a)。また、近年登録された土壌処理剤のフルフェナセットも効果があるとされている。これらの土壌処理剤の効果を十分に活かすためには、

土質や碎土率、土壌水分等の環境要因の他、雑草の出芽動態等、雑草側の生理・生態的要因も考慮する必要がある。

カラスムギは冬型一年生の生活史を持つため、秋期に発芽し、越冬後、5～6 月に出穂・開花して麦の収穫時に種子を結実させるが、カラスムギの出芽率には種内変異が存在することが示されている (Imam and Allard 1965)。一般に、休眠の深い種子は発芽可能な条件の範囲が狭いことから (Vleeshouwers *et al.*, 1995)、カラスムギについても休眠が浅い集団では高温でも発芽可能となる個体が多く、休眠が深い集団では、より低温にならないと発芽可能とならない個体が多いと考えられる。国内においても、カラスムギの出芽時期には明瞭な集団間差異が存在することが明らかになっている (浅井 2020) もの、茨城県については県南 2 集団および県西 2 集団の計 4 集団のみについての結果であり、まだ知見が少ない状況である。

本稿では、調査対象範囲を茨城県内全域に広げ、発芽試験により種子休眠

性を評価するとともに、圃場試験によりカラスムギの出芽動態を調査し、種子休眠性の集団間差異を評価した結果を報告する。

## 1. 発芽試験による種子休眠性の評価

試験を行うに当たって、麦類の主産地である県西地域を中心に県内 10 地域からカラスムギ成熟種子を採集した (表-1)。各地域 1 圃場から集団採集した種子を 1 集団とみなし、種子休眠性の集団間差異を評価した。採集の際は、2 名で圃場内のカラスムギ発生部分を万遍なく歩いて立毛状態のカラスムギの穂を揺さぶり、または穂を手で軽く叩いて脱粒した種子を成熟種子として、各圃場から 1 万粒程度採集した。

後熟に伴う発芽率の変化により各集団の種子休眠性を評価するため、採種直後から 6 か月後まで発芽試験を 6 回実施した。発芽試験は、採集 1～3 日後、採集 1 か月後、採集 2 か月後、

表-1 カラスムギ種子の採集場所と採集日

地域	市町	栽培麦種類	種子採集日
県北	常陸太田市	六条大麦	2019/5/31
県央	水戸市	小麦	2019/6/6
県南	つくばみらい市	小麦	2019/5/28
県西	筑西市A(旧協和町)	小麦	2019/6/3
	筑西市B(旧明野町)	六条大麦	2019/5/24
	筑西市C(旧下館市)	二条大麦	2019/5/24
	桜川市A(旧大和村)	小麦	2019/5/27
	桜川市B(旧岩瀬町)	小麦	2019/5/27
	下妻市	小麦	2019/6/3
	八千代町	小麦	2019/5/30

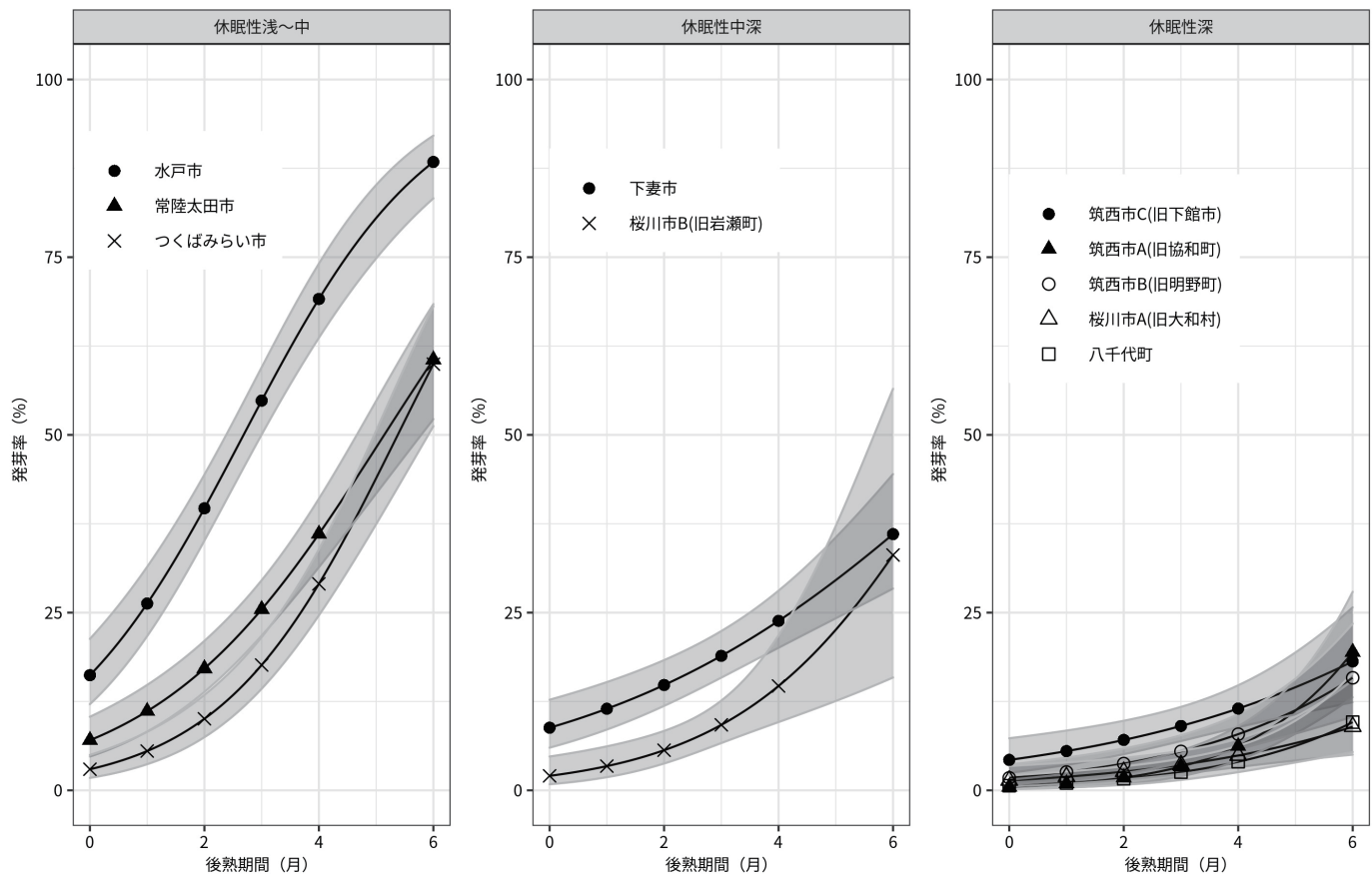


図-1 後熟に伴うカラスムギ種子の発芽率の変化

一般化線形モデルで推定した発芽率の最尤推定値（実線）と95%信頼区間（灰色）を集団ごとに示した。発芽率の集団間差異に基づき、「休眠が浅い集団（水戸市）および休眠が中程度の集団（常陸太田市、つくばみらい市）」（左図）、「休眠が中深程度の集団（下妻市、桜川市B）」（中図）、「休眠が深い集団（筑西市（A、B、C）、桜川市A、八千代町）」（右図）にわけて示した。発芽率の変化は採集直後から6か月後までの6回の発芽試験をもとに推定した。ただし、桜川市Bは供試種子不足により採集6か月後の試験から除外したため、採集4か月後までの5回の発芽試験をもとに推定した。図中の記号は以下のとおり。休眠性浅～中：●水戸市、▲常陸太田市、×つくばみらい市、休眠性中深：●下妻市、×桜川市B(旧岩瀬町)、休眠性深：●筑西市C(旧下館市)、▲筑西市A(旧協和町)、○筑西市B(旧明野町)、△桜川市A(旧大和村)、□八千代町

採集3か月後、採集4か月後、採集6か月後に行った。ただし、12月5日（採集6か月後）は、供試種子不足のため、桜川市Bを除く9集団についての発芽試験とした。採集したカラスムギ種子は、発芽試験に供試するまで20℃・全暗・乾燥条件の恒温器内で保管した。発芽条件は、10℃全暗条件および20℃全暗条件の2条件とした。発芽粒の判定は、根が1mm以上伸長し、芽も膨らんでいる（または伸長している）粒を発芽粒として、静置14日後の発芽粒数を計測し発芽率を算出した。試験は採集集団ごとに6反復とした。

置床温度10℃で行った発芽試験の

結果を図-1に示した。種子休眠性の集団間差異は、発芽率を応答変数、後熟期間・集団を説明変数とし、誤差構造に疑似二項分布、リンク関数にロジット変換を仮定した一般化線形モデルにあてはめ、後熟に伴う発芽率の変化を推定した。また、逸脱度分析により後熟期間や集団が発芽率に与える影響を検定した。逸脱度分析により検定した発芽試験の比較では、集団、後熟期間、集団×後熟期間の交互作用、いずれも有意差が認められた ( $p < 0.001$ )。供試した10集団は、発芽試験における発芽率の推移の違いにより、休眠性が「浅い」「中」「中深」「深い」の4グループに大別された。以

降、発芽試験により大別した種子休眠性にもとづき、後述する出芽動態や種子生存率との関係を述べる。休眠性が「浅い」集団と判定した水戸市集団では、採集直後から10%以上、採集2か月後には約40%、採集6か月後には90%近くと高い発芽率を示した。休眠性「中」と判定した常陸太田市およびつくばみらい市の2集団では、採集2か月後に10%以上が発芽した。採集4か月後には25%以上、採集6か月後には60%前後の発芽率を示した。休眠性「中深」と判定されたのは下妻市および桜川市Bの2集団であり、採集4か月後で25%以下、採集6か月後には30%以上の発芽率を示

表-2 水戸市における平均気温および降水量（2019年5月～2020年4月）

年月	平均気温			降水量の合計			
	当年値(°C)	平年値(°C)	平年比(%)	当年値(mm)	平年値(mm)		
2019年	5月	18.4	16.4	112	100.0	133.3	
	6月	20.7	19.7	105	146.0	143.2	
	7月	23.5	23.5	100	123.0	134.0	
	8月	27.3	25.2	108	86.5	131.8	
	9月	23.5	21.7	108	133.0	181.3	
	10月	18.3	16.0	114	370.5	167.5	
	11月	11.3	10.4	109	146.5	79.1	
	12月	6.9	5.4	128	54.0	46.1	
	2020年	1月	5.6	3.0	187	124.0	51.0
		2月	6.2	3.6	172	39.5	59.4
		3月	9.3	6.7	139	112.5	107.6
		4月	11.4	12.0	95	177.0	119.5

平均気温および降水量はアメダス水戸による。

した。休眠性が「深い」と判定された筑西市(C, A, B), 桜川市A, 八千代町の5集団では採集6か月後でも発芽率20%以下となった。

なお、置床温度20°Cでは多くの集団で3か月経過しても発芽がほとんど認められず、採集4か月後の置床温度を15°Cに変更しても同様の結果であったため(具体的データ省略)、試験を中断した。

後熟は自然の休眠打破の典型的な例と言われており(野田・天野1996)、カラスムギにおいては後熟に伴う休眠打破が温度や種子の含水率による影響を受けることが知られている(Foley1994)。本研究においても20°C・全暗・乾燥条件で保管した種子の休眠性が後熟に伴い浅くなっていく過程が観察された。10°C・全暗条件下の発芽試験では、採集2か月後で40%程度発芽する休眠の浅い集団から6か月経過しても発芽率20%以下と休眠の深い集団まであり、供試した10集団のうち5集団は深い休眠性を示した。カラスムギ種子の温度反応性を調査した発芽試験では、休眠の浅い種子は4°C～24°Cで発芽可能であるのに対し、後熟前の休眠の深い種子が発芽可能な温度は4°C～12°Cであり、20°C～24°Cではほとんど発芽が見られなかったことから(Naylor and Fedec

1978)、本研究で休眠が深いと評価された5集団は6か月経過しても十分に休眠覚醒していないと考えられる。また、15°Cおよび20°C暗条件下の発芽試験では多くの集団で4か月経過しても発芽がほとんど認められなかったことから(採集3か月後までは20°C, 4か月後のみ15°Cで実施、具体的データ省略)、本研究で休眠性浅～中程度と評価された集団においても、Naylor and Fedec(1978)が供試した種子の休眠性と比較して、これらよりも深い種子休眠性を有している可能性が示唆される。

本研究で供試した種子は、圃場ごとに立毛状態のカラスムギから集団採集したものであり、生育期間中の環境条件も種子休眠性の集団間差異に影響したと考えられる。しかし、カラスムギの種子休眠性の多様性に対する遺伝的要因と環境要因の寄与は同程度であることから(Jana and Naylor1980)、茨城県内で発生するカラスムギの種子休眠性には、遺伝的にも一定の集団間差異があると考えられる。今回収集したカラスムギを同一条件で栽培し、均一な環境で増殖された種子を供試することで、遺伝的要因にもとづく集団間差異の詳細が明らかになると期待される。

## 2. 試験圃場における出芽動態

出芽動態調査の実施に当たって、先述の発芽試験のために県内の麦圃場で採集したカラスムギ種子の一部を採集当日または翌日に所内圃場に播種深度5cmで播種した。播種の際は、内径15.8cm, 長さ5cmの塩ビ管(片面にPP製(24メッシュ)の網を張り底面とする)を上面が地表面と合うよう埋め込み、少量の土壌と混和したカラスムギ種子を50粒/管ずつ播種し、地表面と同じ高さまで覆土した。播種後は麦を栽培せず不耕起条件で管理し、出芽個体数を調査した。なお、調査の際、出芽個体を種子ごと回収するのは困難であったため、地上部を未出芽部分も含めて抜き取り除去した。調査中に再生個体の発生が一部見られたが、形態的に識別可能だったので計数から除去した。試験は、採集集団ごとに6反復とした。

カラスムギの播種から調査終了までの12か月間(2019年5月～2020年4月)における平均気温および降水量を表-2に示した。平均気温は、12か月間を通して概ね平年より高く推移した。降水量は、2019年5月～9月は概ね平年並であったが、カラスムギ

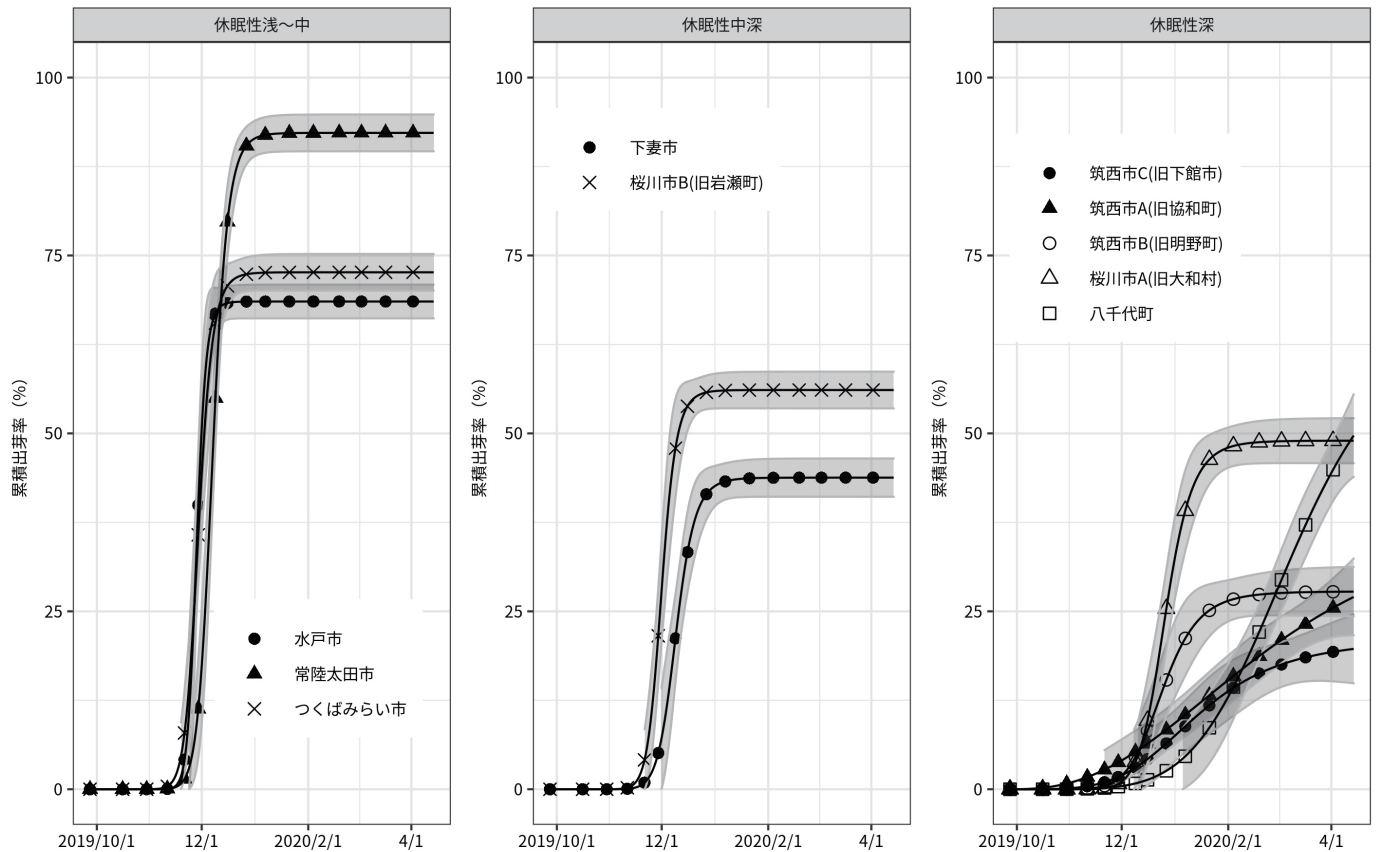


図-2 試験圃場におけるカラスムギの出芽動態

非線形回帰分析で推定した累積出芽率の最小二乗推定値(実線)と95%信頼区間(灰色)を集団ごとに示した。各集団は、発芽試験により分類した種子休眠性の程度に従い(第1図)、「休眠性浅~中」(左図)、「休眠性中深」(中図)、「休眠性深」(右図)にわけて図示した。図中の記号は図-1と同じ。

出芽期間中の2019年10月~2020年4月は平年より多い月が多かった。

出芽動態調査の結果を図-2に示した。出芽動態の集団間差異は、出芽率を応答変数、出芽が確認された2019年9月27日からの日数を説明変数とし、3パラメータlog-logistic関数にもとづく非線形回帰モデルにあてはめ、出芽動態を推定した。出芽率は、供試種子数である50粒を分母として算出した。

出芽は、最も早い集団で9月27日から確認された。水戸市、常陸太田市、つくばみらい市、下妻市、桜川市Bの5集団では、出芽始期(累積出芽数の10%に達したと推定される時期)が11月下旬、出芽期(累積出芽数の50%に達したと推定される時期)が11月下旬~12月上旬、出芽揃期(累

積出芽数の90%に達したと推定される時期)が12月上旬~12月下旬と、年内に概ね出芽した。筑西市(C, A, B)、桜川市Aの4集団では、出芽始期が11月下旬~12月上旬、出芽期が12月下旬~1月上旬であったが、出芽揃期は筑西市Bおよび桜川市Aで1月下旬であったのに対し、筑西市Cでは3月上旬、筑西市Aでは4月上旬と、出芽揃期までに期間を要した。八千代町の集団では、出芽始期が1月上旬、出芽期が2月中旬、出芽揃期が4月上旬と、いずれの到達時期も他の集団に比べ遅かった。

出芽の斉一性で比較すると、水戸市、常陸太田市、つくばみらい市、下妻市、桜川市Bの5集団では出芽始期から出芽期までに要した期間が6~12日間、出芽始期から出芽揃期までに要し

た期間が12~26日間であったのに対し、筑西市Bと桜川市Aの2集団では出芽期までが22~24日間、出芽揃期までが52~58日間とやや長く要した。また、筑西市(C, A)と八千代町の3集団では出芽期までが37~48日間、出芽揃期までが94~136日間と、長期間を要した。

浅井・與語(2010a)が供試した国内のカラスムギ3集団においては、出芽始期・出芽盛期(出芽総数の50%が出芽した時期)に集団間差異があり、出芽の早い2集団は11月中~下旬に出芽盛期を迎えたのに対し、出芽の遅い1集団は12月下旬以降に出芽が始まり出芽盛期は2月上旬となった。本研究の八千代集団は浅井・與語(2010a)の出芽が遅い集団と同様の出芽動態を示しており、カラ

表-3 出芽動態調査終了後の未出芽種子の生存率

市町	種子休眠性 <sup>1)</sup>	生存率の最尤推定値(95%信頼区間)		
水戸市	浅	0	( - <sup>2)</sup>	- )
常陸太田市	中	0.33	( 0.01	- 9.68 )
つくばみらい市	中	3.67	( 1.30	- 9.93 )
下妻市	中深	22.00	( 14.83	- 31.36 )
桜川市B(旧岩瀬町)	中深	15.67	( 9.68	- 24.35 )
筑西市C(旧下館市)	深	57.00	( 46.96	- 66.50 )
筑西市A(旧協和町)	深	23.67	( 16.23	- 33.16 )
筑西市B(旧明野町)	深	42.33	( 32.88	- 52.38 )
桜川市A(旧大和村)	深	12.33	( 7.12	- 20.53 )
八千代町	深	19.33	( 12.62	- 28.45 )

一般化線形モデルで推定した未出芽種子の生存率を集団ごとに示した。カッコ内は95%信頼区間を示す。

1) 発芽試験の結果から判定

2) 水戸市は未出芽生存種子ゼロのため推定から除外した。生存率0%は実測値。

スムギの中には出芽が極端に遅くなる集団が存在すると考えられる。これに加え本研究では、出芽始期の集団間差異が小さく、10集団のうち9集団は11月下旬～12月上旬に出芽始期を迎えたのに対し、出芽揃期は12月上旬～4月上旬と集団間差異が大きいことを確認した。スペインの冬播き麦では麦播種期の10月下旬から9週間以内に75%の出芽が確認されており(Aibar *et al.* 1991)、カナダやアメリカ合衆国の春播き麦では5月上旬の出芽始め(10%出芽)から90%の出芽が確認されるまで4～6週間程度かかっている(Bullied *et al.* 2003; Martinson *et al.* 2007)。本研究で不斉一な出芽が確認された4集団は出芽始期から出芽揃期まで2～4か月程度要しており、海外の事例と比較しても長い出芽期間を示した。

本研究で評価したカラスムギの出芽動態は、種子を土中深度5cmに播種して以降、不耕起条件で管理し、カラスムギの出芽調査中も不耕起で経過した圃場試験にもとづくものである。そのため、生産現場で主に行われている耕起管理・耕起播種とは土壤硬度やカラスムギ種子の土中分布が異なる条件であった。まず、土壤硬度に関しては、不耕起条件で管理した試験圃場の方が耕起管理に比べ硬く、出芽し

づらかったと推測されるが、集団によっては供試種子がほぼ全て出芽したことから、カラスムギの出芽への影響は少なかったと考えられる。カラスムギ種子の土中分布についても、本研究は5cm深のみからの出芽であり、表層から土中深度10cm程度まで満遍なく分布している耕起条件とは異なるが、カラスムギの出芽率は1～2cm層・3～4cm層・6～7cm層で差がないことから(Boyd and Van Acker 2003)、播種深度の影響は小さいと推測される。また、本調査は2019年9月～2020年4月までの単年度評価であり、2019年10月～12月の水戸市の日平均気温は平年比115%であったが、2020年1月の日平均気温は平年比183%(本年値5.6°C、平年値3.0°C)、2月も平年比166%(本年値6.2°C、平年値3.6°C)と平年よりかなり高温で経過した。そのため、年内に出芽揃期まで達した5集団の出芽動態への影響は少なかったと考えられるが、年明け以降も出芽が確認された5集団においては、1～2月の高温により出芽しやすかった可能性が否定できない。1月・2月が平年より高温で経過した本研究の出芽動態は、出芽の遅い集団の出芽期や出芽揃期が早まり、集団間差異が小さく検出された可能性が考えられる。より詳細な出芽動態の

解明のため、今後、麦栽培条件下や現地圃場における試験実施が望まれる。

### 3. 未出芽粒の生存率

2020年4月に塩ビ管からカラスムギ種子を回収し、未出芽種子の生死判定を行った。生死判定は、指で軽く押し潰れたものを腐敗種子とし、潰れなかった健全種子718粒のうち100ppmジベレリン10mLで湿らせた濾紙を用いて10°C全暗条件14日間で発芽した種子は生存種子と判定した。ジベレリン下で発芽しなかった種子(7粒)は14日後に腐敗していたことから、死滅種子と判定した。

未出芽種子の生存率は、生存率を応答変数、集団を説明変数とし、誤差構造に疑似二項分布、リンク関数にロジット変換を仮定した一般化線形モデルにあてはめ推定するとともに、逸脱度分析により生存率の集団間差異を検定した。未出芽種子の生存率は供試種子数である50粒を分母として算出した。

出芽動態調査において、調査期間中に発芽しなかったカラスムギ種子の供試粒数当たりの生存率の集団間差異は、逸脱度分析により有意差が認められた( $p < 0.001$ )。水戸市、常陸太田市、つくばみらい市の3集団で種子生存率は0～3.7%と低かった。また、下妻

市、桜川市 (B, A), 筑西市 A, 八千代町の 5 集団で 12.3%~23.7%とやや高く、筑西市 (B, C) の 2 集団で 42.3, 57.0%と高かった。(表-3)

#### 4. 種子休眠性と出芽動態・種子生存率の関係

発芽試験で休眠が浅~中深と評価された 5 集団は、出芽動態調査において年内に出芽揃期を迎えており、5 集団間では出芽の斉一性に差異は認められなかったが、出芽率は休眠が中深の 2 集団が低かった。なお、桜川市 B の集団は供試種子の不足により採集後 6 か月の発芽試験は実施できず、その推定幅も大きかったが、出芽動態は同じく休眠が中深とされた下妻市集団と大差なかった。休眠が深いと評価された 5 集団は出芽揃期が遅く不斉一な出芽動態を示し、出芽率・出芽の斉一性ともに多様であった。

年内に出芽したカラスムギは麦類の播種後に散布する除草剤により防除できなくなるため、年内に出芽揃期を迎えるかという観点で整理すると、圃場で採集した種子について本研究で実施した 10°C暗条件・後熟後 6 か月までの発芽試験を実施することで、採集圃場での出芽動態を予測できる可能性がある。すなわち、採集後の種子を 20°C・全暗・乾燥条件で保管した場合、発芽試験で採集 6 か月後までに 30%以上の発芽率があれば、当該圃場のカラスムギは年内に出芽揃期を迎えると予測される。予測精度を検証するため

には、年次変動や調査集団の追加などが求められる。

出芽動態調査期間中に出芽しなかった種子の生存率について、発芽試験で休眠が浅~中であつた 3 集団は出芽動態調査における出芽率が 68.7%以上と高く、未出芽種子はほぼ死滅していた。発芽試験で休眠が中深~深であつた 7 集団では未出芽種子のうち 12%以上が生存していた。Zorner *et al.* (1984) は、同一地点由来の種子休眠性の異なる種子を用いて埋土試験を行い、種子休眠性が深い集団の方が浅い集団より埋土後の種子生存率が高いことを確認している。本実験でも休眠性が深い集団のうち、筑西市 C と筑西市 B は 57.0%および 42.3%と未出芽種子の生存率が高かったものの、桜川市 A では 12.3%と同じ休眠性グループの集団に生存率の異なる集団が混在していた。カラスムギの種子寿命は、5 年以上経過しても数%程度生存する事例 (Miller and Nalewaja 1990)、2 年で生存種子が認められなくなる事例 (Zorner *et al.* 1984) まで調査ごとにばらつきがあるが、種子寿命が短い集団においても埋土 18 か月後までは生存種子が確認されている (Zorner *et al.* 1984) ことから、本実験で当年に出芽しなかった種子は、翌年以降に出芽する可能性がある。種子の土中生存年数が長く、出芽が複数年に渡ることは防除を困難にする要因となるため、今後、未出芽で経過した当年産種子が土中で複数年生存するのかを明らかにする必要がある。

#### 5. 種子休眠性の集団間差異がカラスムギ防除に与える影響

生産現場で現在行われているカラスムギ対策は主に除草剤散布であり、播種後に 1~2 回散布するが多い。浅井・與語 (2010a) は、出芽特性の異なる 3 集団を用いて 11 月中旬に土壌処理剤を散布し、出芽盛期が 2 月上旬であつた 1 集団における抑制効果が低下した理由として、主な出芽時期が 1 月以降であり、剤の効果が低下・消失した時期であつたためと報告している。本研究の場合、出芽動態調査において年内に出芽揃期を迎えた 5 集団は 1~2 回の散布で薬効期間を確保できるが、出芽揃期が遅く不斉一な出芽動態を示した 5 集団は除草剤のみによる防除は難しいため、耕種的防除など複数の手段を併用し、個々の技術の効果を上乘せしていく必要があると考えられる。

除草剤以外の防除方法として、不耕起管理や播種期移動といった耕種的防除が挙げられる。夏・秋不耕起管理下では、カラスムギの出芽時期が前進しコムギ播種後の出芽数が減少することや、出芽深度が浅く凍霜害を受けて死滅する個体が多いことなどにより、翌年のコムギ収穫期のカラスムギ個体数を減らすことがポット試験により確認されている (浅井・與語 2010b)。播種期については、コムギの播種期を普通期 (11 月上旬) より 1 か月遅らせて 12 月上旬に播種した場合、播種

前にカラスムギの出芽が集中し、播種後にほとんど出芽しなかったために、コムギ収穫期のカラスムギの密度が普通期播種の4～12%と大きく減少したことが確認されている(浅井ら2010)。しかし、遅播はコムギの減収も引き起こすため、播種期の設定や遅播に対応したコムギの栽培技術開発など、まだ検討が必要である。

## 引用文献

- Aiber, J., et al. 1991. Field emergence of *Avena fatua* L. and *A. sterilis* ssp. *ludoviciana* (Dur.) Nym. in Aragon, Spain. *Weed Res.* 31,29-32.
- 浅井元朗 2020. 茨城県西部に自生するカラスムギ集団の種子埋土深度による出芽時期の差異. *雑草研究* 65,103-109.
- 浅井元朗ら 2010. コムギ作のカラスムギ防除に及ぼす遅播とトリフルラリン剤処理量の影響. *雑草研究* 55,8-15.
- 浅井元朗・與語靖洋 2005. 関東・東海地域の麦作圃場におけるカラスムギ、ネズミムギの発生実態とその背景. *雑草研究* 50,73-81.
- 浅井元朗・與語靖洋 2010a. 出芽時期の異なるカラスムギに対するトリフルラリン、クロロプロファム処理の効果. *雑草研究* 55,1-7.
- 浅井元朗・與語靖洋 2010b. コムギ作における各種作付体系がカラスムギの動態に及ぼす影響:ポット試験による評価. *雑草研究* 55,55-61.
- Beckie, H.J., et al. 2012. The Biology of Canadian Weeds. 27. *Avena fatua* L. (updated). *Can. J. Plant Sci.* 92,1329-1357.
- Boyd, N.S. and R.C. Van Acker 2003. The effects of depth and fluctuating soil moisture on the emergence of eight annual and six perennial plant species. *Weed Sci.* 51,725-730.
- Bullied, W.J., et al. 2003. Conventional and conservation-tillage systems influence emergence periodicity of annual weed species in canola. *Weed Sci.* 51,886-897.
- Foley, M.E. 1994. Temperature and water status of seed affect afterripening in wild oat (*Avena fatua*). *Weed Sci.* 42,200-204.
- Holm, L.G., et al. 1991. *Avena fatua* L. and other members of the "wild oats" group, in: L.G. Holm, et al. (Eds.), *The World's worst weeds*, Krieger Pub., Malabar, Florida, pp.105-113.
- Imam, A.G. and R.W. Allard 1965. Population studies in predominantly self-pollinated species. VI. Genetic variability between and within natural populations of wild oats from differing habitats in California. *Genetics* 51,49-62.
- Jana, S. and J.M. Naylor 1980. Dormancy studies in seed of *Avena fatua*. 11. Heritability for seed dormancy. *Can. J. Bot.* 58,91-93.
- 木田揚一・浅井元朗 2006. 夏期湛水条件がカラスムギおよびネズミムギ種子の生存に及ぼす影響. *雑草研究* 51,87-90.
- Martinson, K., et al. 2007. An Emergence Model for Wild Oat (*Avena fatua*). *Weed Sci.* 55,584-591.
- Miller, S.D. and J.D. Nalewaja 1990. Influence of Burial Depth on Wild Oats (*Avena fatua*) Seed Longevity. *Weed Technol.* 4,514-517.
- Naylor, J.M. and P. Fedec 1978. Dormancy studies in seed of *Avena fatua*. 8. Genetic diversity affecting response to temperature. *Can. J. Bot.* 56,2224-2229.
- 野田和彦・天野洋一 1996. 穀類種子の休眠と穂発芽. *植物の化学調節* 31,171-187.
- Vleeshouwers, L.M., et al. 1995. Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *J. Ecol.* 83,1031-1037.
- Zorner, P.S., et al. 1984. Sources of viable seed loss in buried dormant and non-dormant populations of wild oat (*Avena fatua* L.) seed in Colorado. *Weed Res.* 24,143-150.