

1990年代の輸入冬作穀物中の混入雑草種子とその種組成

浅井元朗*・黒川俊二**・清水矩宏***・榎本敬****

要約：輸入穀物に由来する海外からの雑草種子の非意図的導入とその耕地への拡散が大きな問題となっている。1993～95年にかけて鹿島港に入港したムギ類、ナタネ等冬作穀物中の混入雑草種子を調査した。21科92種が識別された。81種群、29検体を対象とした除歪対応分析による序列化の結果、アメリカ合衆国産、カナダ産、ヨーロッパ産（ドイツおよびフィンランド）、オーストラリア産の調査検体がそれぞれ特徴的な混入種組成を有することが判明した。アブラナ類が最多の25検体から検出され、シロザが23、カラスムギが21、ソバカズラが20、エノコログサおよびタデ類が18、グンバイナズナが17検体から検出された。アブラナ類は5ヶ国全ての検体に混入しており、北米、特にカナダ産検体への混入数が多かった。高緯度産（カナダ、ヨーロッパ）検体には日本の温暖地以西では夏生一年草である草種が混入していた。生産国の主要雑草種と検体中の混入草種とはおおむね一致した。日本でも近年ムギ作の難防除雑草となっているカラスムギ、ライグラス類は輸入ムギ類に大量に混入していること、また生産国における輪作作物の自生雑草化に由来すると考えられるアブラナ類が最も多量に混入していることを確認した。

キーワード：輸入穀物、ムギ類、ナタネ、雑草種子、非意図的導入

緒 言

輸入穀物に由来する海外からの雑草種子の日本への非意図的導入とその耕地や自然環境への拡散が大きな問題となっている。輸入されたトウモロコシ、ダイズなど濃厚飼料用夏作物原体に大量の雑草種子が混入していることが確認された^{8, 24, 25}。混入していた

草種のうちイチビ (*Abutilon theophrasti*) やヒユ類 (*Amaranthus* spp.) は全国的に発生が確認され、主に飼料用トウモロコシ作で問題となっている²⁶。

夏作物に対し、冬作物への外来植物の侵入・定着についてはこれまで調査・報告は少なく、ムギ類での北部九州でのアメリカフウロ (*Geranium carolinianum*)、キンポウゲ類 (*Ranunculus* spp.)¹⁵ および暖地イタリアンライグラスへのカラクサナズナ (*Coronopus didymus*)^{22, 23} などの事例に限られている。

FAOの近年の統計数値によると日本に輸入される穀物のうち約2割がムギ類、ナタネなど日本でいう冬作物である⁹。輸入冬作穀物中に混入する雑草種子については、その外観により延べ650種が識別されている¹⁶。しかしそのうち種が同定されたのはわずか19種であり⁷、大半は未同定である。また、輸出国および作物ごとに混入する雑草種の詳細や種ごとの混入量の違いは明らかにされていない。そこで黒川¹⁶が1993、94年に調査した輸入ムギ類およびナタネ計23検体あわせて1995年に得られた6検体の計29検体から検出された雑草種子を精査し、その種子の形態および栽培により詳細に種を同定するとともに、輸出国ごとの混入種組成の特徴を明らかにした。あわせて混入を確認した草種の特性とそれらが日本のムギ圃場へ侵入・定着する可能性について考察した。

方 法

鹿島港に入港する穀物の混入雑草種子の調査を1993～95年にかけて継続した。日本には年間約1,500万tの飼料穀物が輸入されている（財務省「貿易統計」による）が、鹿島港は年間約350万tの穀物及び同調整品が荷揚げされる日本最大の穀物輸入基地である。入港する船から検疫を終えた冬作穀物について未加工の原体は約500g（レンジ43～1,690g）、粉碎状・粉状に加工済みのものは約100g（レンジ49～302g）サンプリングし、1検体とした。ここから手作業で雑草種子を選別した。調査検体の輸出国、作物、加工状況および調査重量をTable 1に示す。大量に混

* 中央農業総合研究センター
〒305-8666 つくば市観音台3-1-1
masai@affrc.go.jp

** 畜産草地研究所

*** 財団法人神津牧場

**** 岡山大学資源生物科学研究所

(2006年11月17日受付、2007年1月13日受理)

Table 1. Inspected crop samples and their attributes.

Lot ID	Exporter	Crop	Process	Weight of inspected sample (g)
93-22	U.S.A.	Wheat	Crashed	79
94-57	U.S.A.	Wheat	Unprocessed grain	634
94-61	U.S.A.	Wheat	Unprocessed grain	72
95-15	U.S.A.	Wheat	Unprocessed grain	259
94-39	U.S.A.	Wheat	Unprocessed grain · Milled	114
94-12	U.S.A.	Wheat	Unprocessed grain	61
94-6	Canada	Barley	Crashed	136
94-48	Canada	Barley	Unprocessed grain	275
94-60	Canada	Barley	Unprocessed grain	274
95-19	Canada	Barley	Unprocessed grain	192
93-20	Canada	Barley	Unprocessed grain	43
94-76	Canada	Wheat	Milled	49
95-30	Canada	Wheat	Milled	302
94-29	Canada	Wheat	Unprocessed grain · Milled	98
94-24	Canada	Rapeseed	Unprocessed grain	534
94-44	Canada	Rapeseed	Unprocessed grain	394
94-8	Germany	Rye	Milled	78
94-38	Germany	Rye	Milled	152
94-46	Germany	Rye	Milled	137
93-33	Germany	Rye	Unprocessed grain	1690
93-34	Germany	Rye	Unprocessed grain	687
94-85	Germany	Rye	Unprocessed grain	108
95-3	Germany	Rye	Unprocessed grain	356
94-10	Finland	Rye	Milled	130
93-28	Australia	Oat	Milled	159
95-34	Australia	Oat	Unprocessed grain	244
94-36	Australia	Oat	Unprocessed grain · Milled	67
95-28	Australia	Wheat	Milled	173
94-30	Australia	Wheat	Unprocessed grain	535
94-31	Australia	Wheat	Unprocessed grain	164

入していた種子（1検体あたり種子数 ≥ 10 ）については発芽させ、発芽個体を栽培し、さく葉標本を作製した。発芽個体が得られなかった種子および混入数が少なかった種子については、その形態から各種の資料^{4, 6, 11 ~ 13, 17, 21, 29, 30})を用いてその分類群を同定した。1検体あたり種子数が10粒以上および複数検体から検出された雑草種子は概ね属レベルまで同定した。ここでは同定した単位を識別群と称する。

混入種組成にもとづいて検体を序列づけし、検体群としてまとめることの妥当性を検討するために、植生データ解析の標準的手法である除歪対応分析 Detrended Correspondence Analysis (DCA)¹⁸⁾をおこなった。Table 1に示す29検体と、ムギ類等の異

種穀物は除いて複数検体から検出されたかまたは1検体に10粒以上混入していた識別群の計81識別群を序列化の対象とした。

種子サンプルは畜産草地研究所草地研究センターおよび岡山大学資源生物科学研究所野生植物研究室標本庫 (RIB) に、さく葉標本はRIBに保管してある。

結 果

Table 2に示す21科92識別群が同定された。1検体あたり混入数が100粒を越えた識別群の種子数を100と仮定すると、全混入種子の98.1%を属レベルまで、99.6%を科レベルまで同定したことになる。

黒川¹⁶⁾は外観が異なる混入物を1種と見なし、1993～1994年に輸入されたムギ類とナタネ計23検体から延べ650種を検出したと報告した。今回の同定の結果、同じ検体の延べ混入種数はその72%の466種となった。これは黒川¹⁶⁾が種子と見なした混入物に動物糞、アブラナ科果実の嘴などの種子以外の混入物が含まれていたこと、果実と種子、あるいは種子熟度の差異による色感の違いや、損壊による外観の違いによって別種扱いしていたものが同種と確認されたことによる。

DCAによって得られた第1軸、第2軸、第3軸で構成される座標上に29検体を序列化した (Fig. 1)。第1軸上ではオーストラリア産検体が左に、アメリカ合衆国産、カナダ産、ヨーロッパ (ドイツおよびフィンランド) 産が右に位置した。第2軸上ではヨーロッパ産、カナダ産が左に、オーストラリアが中央に、アメリカ合衆国産が右に位置した。第3軸上ではオーストラリア産が上方に、アメリカ合衆国産、ヨーロッパ産、カナダ産が下方に位置した。このように、地域ごとにクラスターを形成し、オーストラリア産検体が他地域産に比べて大きく異なる種組成を有すること、カナダ産が最も検体間の種組成の類似度が高いこと、地域による種組成の相違に比べ作物間の相違は小さい

ことが明らかとなった。以上より、検体群はアメリカ合衆国産、カナダ産、オーストラリア産、ヨーロッパ産の4群に類別化が可能であった。

4群の種組成の特徴には以下の点が挙げられる。オーストラリア産検体にのみセイヨウノダイコン (*Raphanus raphanistrum*)、イヌカキネガラシ (*Symbrium orientale*) が含まれていた。また、*Lolium rigidum*、ハリゲナタネ (*Brassica tounefortii*)、ギシギシ類 (*Rumex spp.*) の混入頻度が高くその混入量も他地域由来検体と比較して多かった。その一方で、北半球産に共通して混入していたシロザ (*Chenopodium album*)、タデ類 (*Persicaria spp.*)、ソバカズラ (*Fallopia convolvulus*)、ゲンバイナズナ (*Thlaspi arvense*)、ナデシコ科 (*Caryophyllaceae*) 草種が検出されないという特徴があった (Table 2)。

アメリカ合衆国産検体には、ホウキギ (*Kochia scoparia*)、ヒメアマナズナ (*Camelina microcarpa*)、イヌビエ (*Echinochloa crus-galli*)、キビ類 (*Panicum spp.*)、ヒマワリ (*Helianthus annuus*) が高頻度で混入していた。また、ウマノチャビキ (*Bromus tectorum*)、プタクサ (*Ambrosia artemisiifolia*)、フナバシソウ (*Iva xanthirolia*) はアメリ

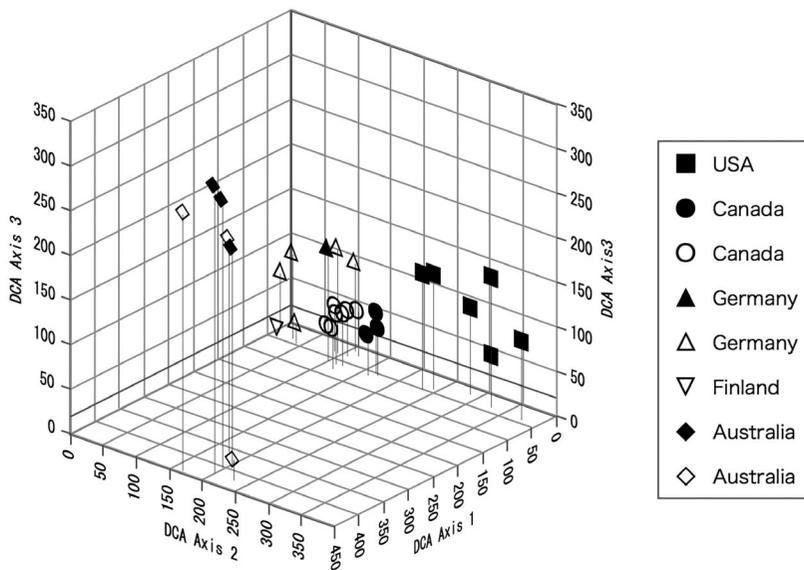


Fig 1. Detrended correspondence analysis (DCA) diagram of weed seed composition found in inspected crop lots imported from U.S.A. (■), Canada (●), Germany (▲, △), Finland (▽) and Australia (◆, ◇). Solid symbols indicate wheat, open symbols indicate other crop sample lots.

Table 2. (cont.)

Family ^{b)}	Scientific name	Japanese name	Exporter			U.S.A			Canada						Germany			Finland			Australia											
			Crop ^{c)}			W	W	W	W	W	W	B	B	B	B	B	B	R	R	R	R	R	R	O	O	O	O	O	O			
			lot ID	93-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-	94-94-		
POLYGONACEAE	<i>Fallopia convolvulus</i>	Soba kazura	100	100	100	60	27	4	30	100	100	8	26	6	63	100	4	100	3	50	3	100	32									
	<i>Pennisetum setaceum</i>	Michi yanagi	2	3	2	24		20	37	20	12	51	3	14	6	100	100	2	50			14	10	19								
	<i>Polygonum patulum</i>	Hime subba						4	1	4	10	11	5		1				2				4				1	30				
	<i>Rumex acetosella</i>	Gishigishi						4	2	13	3	3	11	5	7								3									
	<i>Rumex crispus</i>	Arechi gishigishi						59	100	55	69	12	50	15	2			100	56	15	1	100				100			2	14		
	<i>Rumex conglomeratus</i>	Rumex spp.	1	3	10	17		3	1	3																						
	<i>Rumex sp.</i>		2		7	24		4	1	4	10	11	5		1																	
CARYOPHYLLACEAE	<i>Spergula arvensis</i>	Oo tsume kusa						4																								
	<i>Stellaria media</i>	Ko hakobe						59	100	55	69	12	50	15	2			100	56	15	1	100										
	<i>Amaranthus sp.</i>	Inu houkigi	100	100				100	29	26	66	100	92	100	100	100	2	4	16	19	37	2	100									
AMARANTHACEAE	<i>Ayris amaranthoides</i>	Shiroza	100	7	100	100	11	100	100	100	100	100	100	100	100																	
CHENOPODIACEAE	<i>Chenopodium album</i>	Houkigi	100	100	100	100	3	20	1																							
	<i>Kochia scoparia</i>		5	16	1			2																								
	<i>Salsola sp.</i>																															
PAPAVERACEAE	<i>Papaver dubium</i>	Nagami hinageshi																														
RANUNCULACEAE	<i>Consolida regalis</i>	Ruri hien so																														
LILIACEAE	<i>Asparagus officinalis</i>	Asuparagusu																														
POACEAE	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Haru gaya																														
	<i>Alopecurus sp.</i>		13	3	7	24	5	32	100	100	100	67	66	100	46	12	2	3	2	7	1			2				1	4	2	5	39
	<i>Avena sativa</i> ^{d)}	Enbaku	1	2	20	11	100																									
	<i>Bromus tectorum</i>	Umano chahiki						2																								
	<i>Digitaria ischaemum</i>	Kita meshishiba	100																													
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Inu bie	1	100	51	56	1	16																								
	<i>Elymus repens</i>	Shiba mug																														
	<i>Hordeum vulgare</i> ^{d)}	Oo mug	1	1	1																											
	<i>Lolium</i>																															
	<i>Lolium rigidum</i>																															
	<i>Panicum capillare</i>	Hana kusa kibi	3																													
	<i>Panicum milaceum</i>	Kibi	36	3	10	8	100																									
	<i>Phalaris canariensis</i>	Kanari kusa yoshi																														
	<i>Phalaris minor</i>	Hime kanari kusa yoshi																														
	<i>Secale cereale</i> ^{d)}	Rai mug	3																													
	<i>Setaria glauca</i>	Kin enokoro	100	100	100	100																										
	<i>Setaria viridis</i>	Enokoro gusa	100	42	100	100	1																									
	<i>Sorghum bicolor</i>	Morokoshi																														
	<i>Sorghum halepense</i>	Seiban morokoshi																														
	<i>Triticum arvense</i> ^{d)}	Ko mug																														
	<i>Vulpia sp.</i>																															
	<i>Zea mays</i> ^{d)}	Toumorokoshi																														

^{a)} Seed number over 100 was counted as 100.^{b)} Families were sorted by Cronquist 1988^{c)} Abbreviations are B: Barley, C: Rapeseed, O: Oat, R: Rye and W: Wheat.^{d)} cultivated crop

"0" indicates that the species was identified through mature plants grown from a part of original seeds.

カ合衆国産検体にのみ含まれ、他からは検出されなかった (Table 2)。

カナダ産検体にはいずれもアマ (*Linum usitatissimum*)、トゲナシムグラ (*Galium mollugo*)、カラスムギ (*Avena fatua*) が検出された。また、他地域産検体では混入のまれなタヌキジソ (*Galeopsis tetrahit*)、ノムラサキ (*Lappla squarrosa*)、タマガラシ (*Neslia paniculata*) の混入頻度が高いという特徴があった (Table 2)。

ヨーロッパ産検体にはヤエムグラ (*Galium aparine*) が全ての調査検体から検出されたほか、シバムギ (*Elymus repens*) も7検体中6検体から検出された。また他地域産検体にはまれな *Viola arvensis*、*Lathyrus sp.* が過半の検体から検出された (Table 2)。

最も多くの検体から検出された識別群はアブラナ類 (*Brassica spp.*) で25検体から検出された。次いでシロザが23検体、カラスムギが21、ソバカズラが20、エノコログサ (*Setaria viridis*) およびタデ類が18、ゲンバイナズナが17検体から検出された。アブラナ類は5ヶ国全ての検体に混入しており、北米、特にカナダ産検体に混入量が多かった。アブラナ類は種子による種の同定が困難であったため、種子から植物体を育成したところ、セイヨウアブラナ (*Brassica napus*)、アブラナ (*B. rapa*)、カラシナ (*B. juncea*)、ノハラガラシ (*B. kaber = Sinapis arvensis*) の4種が同定された。北米産には *B. kaber*、*B. juncea*、*B. napus*、*B. rapa* 4種全てが含まれ、欧州産からは主に *B. napus* を得た。シロザはオーストラリア以外の23検体全てで検出された。カラスムギはカナダ産ムギ類への混入量が特に多かった。エノコログサ類も5ヶ国の検体に混入していたが、主に北米産に混入量が多かった。

考 察

生産国における主要雑草との比較

これまで清水²⁴⁾によって主に夏作物で報告されていたのと同様、冬作穀物にも多数の雑草種子が混入し非意図的に日本に導入されていること、輸出国ごとに混入種組成に特徴のあることが確認された。DCAの結果、地理的に近いアメリカ合衆国産検体とカナダ産検体の混入種組成が異なることが示された。

1990年代におこなわれたカナダ西部マニトバ州の雑草調査によれば、オオムギ、春コムギ、ナタネ圃場での相対的出現頻度上位3種はいずれもエノコログ

サ、カラスムギ、ソバカズラであり²⁸⁾、3草種ともに今回調査したカナダ産検体のほぼ全てに混入していた。次いで出現頻度の高い草種にはセイヨウトゲアザミ (*Cirsium arvense*)、ノハラガラシ、シバムギ、ハチジョウナ (*Sonchus arvensis*) があつた。このうちノハラガラシを除く3種はその混入頻度が低かった (Table 2)。この理由としてセイヨウトゲアザミ、ハチジョウナの種子 (瘦果) は冠毛を持ち軽量で飛散しやすいため、機械収穫作業の過程で子実への混入率が低いことが考えられる。シバムギは種子の稔実率が低く、主として地下部栄養繁殖器官により繁殖する草種であるため、圃場での発生量の割に種子生産量が少ないことが収穫子実への混入量が少ない要因と考えられる。

アメリカ合衆国産の検体全に混入あるいは100粒以上の混入が複数検体で確認された草種にはソバカズラ、シロザ、ホウキギ、ゲンバイナズナ、カラスムギ、エノコログサ、キンエノコロ、イヌビエの8種があつた (Table 2)。Fay¹⁰⁾ は1984年の合衆国内各州への聞き取りからコムギ圃場の難防除雑草上位5種を州ごとに整理した。上記の8種とFay¹⁰⁾ の難防除雑草上位5種を比較すると、ノースダコタ、サウスダコタ、ミネソタの3州で4種、次いでウイスコンシン、モンタナの2州で3種が共通していた。この5州で他の難防除雑草種はアオゲイトウ (*Amaranthus retroflexus*)、ノハラガラシ、アメリカサナエタデ (*Persicaria pensylvanica*)、シバムギ、アキノエノコログサ (*Setaria faberi*)、ウマノチャヒキ、セイヨウトゲアザミであり、いずれも調査検体への混入が認められた (アキノエノコログサを除く)。したがって調査した穀物検体の原産地はこの地域と考えられるが、これら各州はカナダと国境を接する合衆国中北部に位置する。合衆国産とカナダ産検体の相違を特徴づけるのはDCA第2軸得点である (Fig. 1) が、その寄与率が高かつた草種はウマノチャヒキ、ヒメアマナズナ、*Amaranthus sp.* などであつた (データ略)。これらはカナダ産検体にはほとんど混入しておらず (Table 2)、この相違が地理的に隣接する両地域の検体が異なる群として序列化された主要因と考えられる。

1990年代のフィンランドの春播ムギ類における雑草出現頻度調査によれば、出現上位5種は *Viola arvensis*、シロザ、コハコベ、タヌキジソ、シバムギであり¹⁴⁾、これらの種子はいずれもフィンランド産ライムギ検体から検出された (Table 2)。ヨーロッパ中央

部の1980年代後半の冬ライムギ、冬コムギにおける雑草出現頻度調査によれば、両作物とも上位10種のうち9種が共通しており、*Viola arvensis*、ノハラムラサキ、コハコベ、スズメノカタビラ (*Poa annua*)、タチイヌノフグリ (*Veronica arvensis*)、ソバカズラ、ミチヤナギ、シバムギ、ナズナであった²⁾。このうち今回調査したドイツ産検体からはスズメノカタビラ、タチイヌノフグリを除く7種が検出された。

1998年にオーストラリアで行われた冬作物中の雑草についての農家へのアンケート調査によれば、同国国内の地域により順位の違いは存在するが、ライグラス類、カラスムギ類、セイヨウノダイコンが発生面積も多く難防除雑草として認識されていた¹⁾。この3草種はいずれも今回調査したオーストラリア産コムギ、エンバク検体から高頻度で検出された (Table 2)。

以上のように輸入冬作物中から検出された草種と輸出国の当該作物の雑草組成を比較したところ、輸出国の主要草種の多くが混入し、その組成は概ね発生頻度を反映していると考えられた。しかし、原産地では主要草種であっても混入量の少ない草種があり、それは主に種子生産量の少ない多年生草種 (シバムギ) や、風散布型種子のキク科草種 (セイヨウトゲアザミ、ハチジョウナ)、草高が低く種子の着生位置が低いために収穫子実へ種子が混入しにくい草種 (スズメノカタビラなど) と考えられる。

また少数ながらもダイズ、トウモロコシといった夏作物子実の混入が確認された (Table 2)。これらが圃場においてムギ類と同時に生育して収穫物に混入することは考えにくく、貯蔵あるいは輸送の過程で混入したと考えるのが妥当である。一方、カナダ産ムギ類の検体に混入していた *Brassica napus* および *B. rapa* はムギ類と輪作で栽培されるナタネがムギ作で自生雑草化し、収穫物に混入したものと考えられる。Thomas *et al.*²⁸⁾ の調査では、自生ナタネは春コムギの雑草として第16位、オオムギでは24位の出現頻度であった。カナダ産検体で検出されたアマおよびムラサキウマゴヤシ (アルファルファ、*Medicago sativa*) も同様に輪作物の自生と考えられ、自生アマは春コムギの雑草としての出現頻度は13位、自生アルファルファは53位であった²⁸⁾。

混入草種の日本への侵入・定着の可能性

今回同定した輸入冬作物への雑草種子の混入程度は、2000年前後の日本国内のムギ作への侵入程度とは一致していない。この点について、冬作物飼料作、

ムギ作 (飼料作、普通作) それぞれの場について今後の侵入・定着の可能性とあわせて考察を進める。まず、雑草種子が含まれる未熟堆肥等が還元される圃場で飼料用ムギ類やイタリアンライグラスが栽培される場合には、今回混入を確認した草種が発生する可能性は十分に考えられる。冬作物飼料作のうちイタリアンライグラスは高密度に播種され、温暖地以西では冬期の生育速度が速いために雑草抑制能が高い。また、春期から夏期にかけて2~3回の収穫作業がおこなわれるために、種子生産まで一定期間を要する大型の冬生一年草は繁殖が困難である。このことがイタリアンライグラス圃場で外来雑草が侵入・定着しにくい一因と考えられる。実際に、冬作物飼料作においてこれまで雑草として問題が報告された草種は少なく、暖地におけるカラクサナズナ²³⁾に限られる。しかしカラクサナズナ種子は今回の調査検体からは検出されず、カラクサナズナの主たる侵入源が輸入冬作物であることを示唆する結果は得られなかった。

一般のムギ作圃場については、堆肥が直接施用されることは多くないため、それがこれまでムギ作圃場への外来植物の発生が少なかった一因と考えられる。今回混入が確認された草種で、日本の冬作物で発生が報告されている草種は近年蔓延が報告されているカラスムギやライグラス類³⁾に加えて、コスモポリタン種とされているコハコベ、ナズナであった。コスモポリタン種は自然分布域が広く、各地域で遺伝的な分化を遂げている可能性が高い。異なる遺伝的分化を遂げてきた系統が人為的に導入された場合、同種であるために地域個体群に遺伝的攪乱が生じる危険性が高い。別種の移入と異なり外見では識別しがたいため、堆肥の施用されたムギ作圃場において国外由来のコスモポリタン種が侵入・定着している可能性は高いと考えられる。

本州以南のムギ作は水田二毛作条件で行われることが多い。そのため、夏期の湛水条件で種子が生存可能な草種しか定着できない。このことも外来植物が日本のムギ作圃場に定着するための大きな生態的障壁となっていると考えられる。

生育時期の違いも生態的障壁の一つと考えられる。カナダ、北欧など高緯度地帯ではムギ類が春播栽培され、シロザ、エノコログサ類といった日本での夏生一年草がその主要雑草である。日本では春播ムギ類は北海道の一部地域でのパン用品種の栽培に限られているため、シロザなどが侵入、定着する条件はきわ

めて限られている。また、本州以南の秋播ムギ作には夏生一年草種が侵入してもムギ作期間には繁殖できない。一方、日本の夏作穀物圃場には、海外の高緯度地域産ムギ類への混入に由来するシロザが侵入している可能性は十分考えられる。

本州以南のムギ品種は世界的に見て生育期間が短い。そのため、欧州など高緯度地方のムギ作条件に適応した繁殖迄期間の長い草種は日本のムギ圃場では収穫までに繁殖できない可能性がある。北海道ではムギ類の生育期間が長い、主産地である道東地域の12～2月の平均気温は-5～-8℃であるのに対し、ドイツ中北部ハノーバーでは1～4℃と温暖である。このように原産国よりも冬期が低温であることが北海道のムギ作圃場に定着可能な外来草種が限定されている可能性が考えられる。

以上のように海外のムギ作雑草が日本国内のムギ作圃場に定着するには、イチビヤヒユ類などの海外のトウモロコシやダイズの主要雑草が日本の夏作物に蔓延することに比べて制限要因が多いと考えられる。

仮に侵入・定着可能な生物的条件および環境条件が整っていても、除草体系が蔓延を防止している可能性もある。ムギ類の輸出国では複数の選択性除草剤の生育期処理による雑草防除が主体である。日本においてはトリフルラリン、リニュロンなどを含有する播種後の土壌処理型除草剤に依存する割合が高く、必要に応じてアイオキシニル、MCPなどの広葉雑草対象の生育期処理剤が使用される。そのため広葉雑草に対しては適切な除草剤の体系処理がなされれば、圃場への侵入初期段階での蔓延の阻止が可能である。しかし、イネ科雑草を対象としたムギ用の生育期処理除草剤は日本では2006年時点で登録されていない。今回調査した検体に大量の混入が確認されたカラスムギ、ライグラス類は1999年の調査において温暖地以西のムギ作での被害が確認されており³⁾、その侵入・蔓延に対しては今後も警戒を要する草種と判断される。日本国内のムギ作に発生するこれら草種が在来集団の蔓延によるものか、あるいは輸入穀物に混入した集団由来かは今後の検討が必要である。

検出された草種には、上述した制限要因に影響されない生態的特性を有していても、日本への侵入がこれまで少ない侵入初期の状態であるために蔓延に至っていない可能性もある。また、混入種の組成は生産国における雑草フロラの変化を反映するはずであり、今回の調査で検出された草種組成で今後も日本に導

入され続けるとは考えにくい。例えば、カラスムギ、ライグラス類ともに輸出国では除草剤への複合抵抗性集団の出現が確認されている^{19,20)}。種子による同定は困難であったが、生産国の雑草組成からアメリカ合衆国産はネズミムギ*Lolium multiflorum*、オーストラリア産は*Lolium rigidum*であると考えられる。オーストラリアにおいてグリホサート、ALS阻害剤およびACCase阻害剤に複合抵抗性を示す*Lolium rigidum*集団が確認されている²⁰⁾。したがって、非意図的に日本国内に導入される*Lolium rigidum*に除草剤抵抗性変異が含まれる可能性は十分に考えられる。

最も多くの調査検体に混入していたのはアブラナ類であった。近年北米では遺伝子組換えナタネの実用化²⁷⁾により、その逸出による雑草化と近縁野生種との交雑による生態的リスクが懸念されている⁵⁾。カナダなどからのムギ類輸入が1990年代と同様の形態であれば、現在の輸入品には遺伝子組換えナタネ品種の種子も混入している可能性が高い。それらを飼料用として畜産地域に輸送すれば、組換え品種が直接、畜産地域に侵入・定着する可能性も考えられる。そのような草種を早期に検出するためには、輸入穀物中の混入雑草種子の定量的調査を定期的実施するとともに、その蔓延防止に何らかの規制および監視体制が必要と考える。

輸入穀物中の外来植物種子混入に対する検疫体制は現在日本には存在しない。今後、輸入穀物由来の外来植物の非意図的導入を制限するには、生産国別混入量、混入種の経路分析調査を通じて強害草種の定着確率を推定し、それにもとづいた混入許容水準の設定によって混入量の低減を促すことが必要と考える。

謝 辞

穀物中の雑草種子の選別にあたっては草地試験場栽培生理研究室（当時）の川上淳子氏に多大な協力をいただいた。アブラナ類の同定に当たっては、東北農業研究センター資源作物研究室（当時）の山守誠氏、農業環境技術研究所の松尾和人、芝池博幸、堀元栄枝（現・佐賀大学）各氏の協力をいただいた。データ解析については東北農業研究センターの小林浩幸氏に協力いただいた。農業環境技術研究所の西田智子氏には草稿段階で有益な助言をいただいた。ここに謝意を表す。

引用文献

- 1) Alemseged, Y., R.E. Jones and R.W. Medd 2001. A farmer survey of weed management and herbicide resistance problems of winter crops in Australia. *Plant Protection Quarterly* **16**, 21-25.
- 2) Andreasen, C., H. Stryhn and J.C. Streibig 1996. Decline of the flora in Danish arable fields. *J. Appl. Ecol.* **33**, 619-626.
- 3) 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**(2), 73-81.
- 4) Barker, N. and J. Wood 1998. Seed impurities of Grain... ..an identification kit. GrainCrop Operations, Ltd.
- 5) Beckie, H.J., S.I. Warwick, H. Nair and G. Seguin-Swartz 2003. Gene flow in commercial fields of herbicide-resistant canola (*Brassica napus*). *Ecological applications* **13**(4), 1276-1294.
- 6) Davis, L.W. 1993. *Weed Seeds of the Great Plains: a Handbook for Identification*. University Press of Kansas, pp.145.
- 7) Enomoto, T. 1999. Naturalized weeds from foreign countries into Japan. In "Biological Invasions of Ecosystem by Pests and Beneficial Organisms" ed. by Yano, E., K. Matsuo, M. Shiyomi and D.A. Andow, Yokendo Tokyo, pp.1-14.
- 8) 榎本敬・清水矩宏・黒川俊二 1996. 外国からの濃厚飼料原体に混入していた雑草種子の同定 2. 注目すべき種の特徴などについて. *雑草研究* **41**(別), 214-215.
- 9) FAO 2006. <http://faostat.fao.org/>
- 10) Fay, P.K. 1990. A brief overview of the biology and distribution of weeds of wheat. In "Systems of Weed Control in Wheat in North America" ed. by Donald, W.W., *Weed Sci. Soc. of Amer.*, Champaign, IL., pp.33-50.
- 11) Gilbey, D.J. 1995. Identification of weeds in cereal and legume crops. *Agriculture Western Australia, Perth. Bulletin*.
- 12) Guan, G. 2000. *Atlas of Weed Seeds 雑草種子圖鑑*. 中国農業出版社. pp.358.
- 13) Guo, Q. 1998. Identification of Weed Seeds with Colored Pictures 雑草種子彩色鑑定圖鑑. 中国農業出版社. pp.176.
- 14) Hyvönen, T., E. Ketoja and J. Salonen 2003. Changes in the abundance of weeds in spring cereal fields in Finland. *Weed Research* **43**(5), 348-356.
- 15) 川名義明 1997. 北部九州における水田裏作麦圃雑草の発生状況. *日作紀九州支部報* **63**, 43-45.
- 16) 黒川俊二 1998. 耕地への強害帰化植物の侵入・定着・拡散機構の解明. 農林水産省農林水産技術会議事務局編「強害帰化植物の蔓延防止技術の開発」, 農林水産省農林水産技術会議事務局 東京, pp.16-21
- 17) Martin, A.C. and W.D. Barkley 2000. *Seed Identification Manual*. Blackburn Press, pp.221.
- 18) McCune, B. and M.J. Mefford 1999. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 4*. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon.
- 19) Mengistu, L.W., C.G. Messersmith and M.J. Christoffers 2003. Diversity of herbicide resistance among wild oat sampled 36 yr apart. *Weed Science* **51**, 764-773.
- 20) Neve, P., J. Sadler and S.B. Powles 2004. Multiple herbicide resistance in a glyphosate-resistant rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) population. *Weed Science* **52**, 920-928.
- 21) Royer, F. and R. Dickinson 1999. *Weeds of Canada and the Northern United States*. The University of Alberta Press, pp.434.
- 22) Sato, S., K. Tateno, R. Kobayash and Y. Sonoda 1996. Cultural control of swinecress (*Coronopus didymus*) in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) sward by dense seeding. *Weed Research, Japan* **41**(2), 107.
- 23) 佐藤節郎・館野宏司・小林良次・坂本邦昭 1998. 九州地域の飼料畑における帰化雑草の発生実態. *雑草研究* **43**(別), 112-113.
- 24) 清水矩宏 1998. 最近の外来雑草の侵入・拡散の実態と防止対策. *日本生態学会誌* **48**, 79-85.
- 25) 清水矩宏・榎本敬・黒川俊二 1996. 外国からの濃厚飼料原体に混入していた雑草種子の同定 1. 種類とバックグラウンド. *雑草研究* **41**(別), 212-213.
- 26) 清水矩宏・魚住順・西田智子・原島徳一・的場和弘・田村良文・橘雅明・伊藤一幸・萩野耕司・佐藤節郎・小林良次・館野宏司 1994. 最近増加している草地・飼料畑の外来雑草の発生実態. *雑草研究* **39**(別), 228-229.
- 27) Stringam, G.R., V.L. Ripley, H. K. Love and A. Mitchell 2003. Transgenic Herbicide Tolerant Canola-The Canadian Experience. *Crop Science* **43**(5), 1590-1593.
- 28) Thomas, A.G., B.L. Frick, R.C. van Acker, S. Z. Knezevic and D. Joossee 1998. *Manitoba Weed Survey: Cereal and Oilseed Crops 1997*. Weed Survey Ser. Publ. 98-1. Saskatoon, SK: Agriculture and Agri-Food Canada. 192 p. Agriculture and Agri-Food Canada
- 29) USDA 1971. *Common Weeds of the United States*. Dover Publications, Inc., New York, pp.463.
- 30) Uva, R.H., J.C. Neal and J.M. DiTomaso 1997. *Weeds of the Northeast*. Cornell University Press, New York, pp.397.

Exotic weed seeds detected from imported small cereal grains into Japan during 1990s'

Motoaki Asai*, Shunji Kurokawa**, Norihiro Shimizu*** and Takashi Enomoto****

Summary

Imported agricultural materials are a principal source of exotic weed seeds into Japan. Increasing the amount of imported livestock feed, which is inadvertently contaminated with weed seeds or other propagules, has produced a high ecological risk. Small cereal grains and rapeseed imported through the major feed port of Kashima from 1993 to 1995 were thoroughly inspected for weed seeds. Twenty-nine lots of wheat, barley, rye, oats and rapeseed imported from Australia, Canada, Finland, Germany and the USA were examined, and more than ninety contaminating plant species were identified. Ordination by multivariate analysis identified a distinct association between species composition of the contaminant and the region of origin. Clusters in DCA coordinate space were grouped into US, Canadian,

European and Australian lots. Mustard species (*Brassica* spp.), which were found in twenty-five of the lots, was the most abundant contaminant. *Chenopodium album*, *Avena fatua*, *Fallopia convolvulus*, *Setaria viridis*, *Persicaria* spp. and *Thlaspi arvense* were found in more than half of the sample lots. Mustard seeds found in cereals were germinated to confirm their identities. They were *B. napus*, *B. juncea*, *B. rapa* and *B. kaber*. The seeds of *B. napus*, which were particularly abundant in Canadian lots, were likely volunteer canola from cereal fields in crop rotation. In recent years, genetically modified canola varieties have been incorporated in shipments to Japan. Some lots were also contaminated with *Avena fatua* and *Lolium* spp., recently reported as problems in the continuous winter cereal cropping system in central Japan.

Keywords: imported small grain, winter cereal, weed seeds, rapeseed, unintentional introduction

*National Agricultural Research Center
masai@affrc.go.jp

**National Institute of Livestock and Grassland Science

***Kouzu Dairy Farm, Incorporated Foundation

****The Research Institute of Bioresources, Okayama University