グリホサート耐性遺伝子組換えトウモロコシ（Zea mays L.）栽培が圃場内生物相に与える影響評価

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者名	黄川田,智洋 大同,久明 吉村,義則 森田,聡一郎 黒川,俊二 斉藤,雅典 安藤,象太郎 神田,健一
発行元	日本草地学会
巻/号	55巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 217-226
発行年月	2009年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

日草誌 55 (3) : 217-226 (2009)

グリホサート耐性遺伝子組換えトウモロコシ（*Zea mays* L.）栽培が圃場内生物相に与える影響評価

黄川田智洋*・大同久明・吉村義則[1]・森田聡一郎・黒川俊二[2]・斉藤雅典[3]・安藤象太郎・神田健一

畜産草地研究所（329-2793 栃木県那須塩原市千本松 768）
[1] 現在：329-2751 栃木県那須塩原市東三島
[2] 現在：中央農業総合研究センター（305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1）
[3] 現在：東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育センター（989-6711 宮城県大崎市鳴子温泉字蓬田 232-3）
National Institute of Livestock and Grassland Science, Nasushiobara, Tochigi 329-2793, Japan
[1] Present Address : Higashimishima, Nasushiobara, Tochigi 329-2751, Japan
[2] Present Address : National Agricultural Research Center, 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan
[3] Present Address : Field Science Center, Graduate School of Agriculture Science, Tohoku University, 232-3 Yomogida, Naruko-Onsen, Osaki, Miyagi 989-6711, Japan

受付日：2009 年 1 月 7 日/受理日：2009 年 6 月 4 日

Synopsis

Tomohiro Kikawada, Hisaaki Daido, Yoshinori Yoshimura, Soichiro Morita, Shunji Kurokawa, Masanori Saito, Shotaro Ando, Ken-ichi Kanda (2009) Effects Assessment of Glyphosate-Resistance Genetically Modified Corn (*Zea mays* L.) on farm biota. Jpn J Grassl Sci 55 : 217-226

NonGM corn and its near isogenic line of glyphosate-resistant genetically modified corn were cultivated for 4 years from 2001 to 2004. We treated the GM corn with glyphosate (GM+G) and conventional herbicides (GM) and compared them with the nonGM corn treated with conventional herbicides (nonGM). GM+G corn showed differences in weed vegetation, soil microflora, and growth of crops, but there was no difference in the arthropod fauna in the farm. Therefore, with regard to biota, there is no difference between glyphosate-tolerant GM corn and non-GM corn. The difference in biota was attituted to the herbicides.

Key words : Biota in the field, Glyphosate resistance, GM-corn.

緒　　言

トウモロコシ（*Zea mays* L.）は主要な穀物の一つで，全世界で約 1.5 億 ha 以上の作付けがある。2008 年の統計によれば全世界のトウモロコシ作付け面積のうち，24% を遺伝子組換え品種が占めており，その割合は年々増加傾向を示している。とくに日本の主要なトウモロコシ輸入元であるアメリカでは，トウモロコシ作付け面積の 73% が遺伝子組換え品種である（James 2008 ; 日本貿易振興機構 2008）。

我が国では組換え体作物の栽培実績はないが，栽培承認までの法体制は整備されており，その事項は以下の通りである。日本における組換え体作物の安全性の承認は食品衛生法および飼料の安全性の確保および品質の改善に関する法律（飼料安全法）に基づく手続きにより行なわれている。2003 年に公布された遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）では，一般圃場での栽培や飼料・食品原料としての輸入・流通等の「環境中への拡散を防止しないで行う使用（第一種使用等）」と，実験室内での研究等の「環境中への拡散を防止する意図をもって行う使用（第二種使用等）」とに区分し，その使用を規制している。第一種使用等を行なうには，まず遺伝子組換え生物の品種ごとに第一種使用規程を定め，その承認を得た上で，隔離圃場等で生物多様性影響評価を行なう必要がある。しかし，隔離圃場では面積的制約から 1 試験区面積が小規模とならざるを得ず，その評価年数も 1 年と短い。この様な生態系影響評価に対し，評価試験の期間が短いのではないか，一般圃場を使用して大規模な試験を実施検討すべきではないのかという国民の懸念もある（農林水産先端技術産業振興センター 2001，2002 ; 北海道 2007）。

そこで，除草剤耐性組換えトウモロコシを永年草地跡地の一般圃場で 4 年間栽培を行い，組換え体第一種使用（解放系での組換え体利用）規程の承認手続きでも行なわれている調査項目のうち，圃場内の雑草，節足動物，土壌微生物等の生物相への影響調査を複数年にわたって調査し，組換え体栽培が日本国内での圃場生態系に与える影響を評価した。

*連絡著者（corresponding author）：kika@affrc.go.jp
一部は日本草地学会第 60 回発表会（2005 年 3 月），第 61 回発表会（2006 年 3 月）において発表。
本研究は農林水産省委託プロジェクト「遺伝子組換え体の産業利用における安全性確保総合研究」および「遺伝子組換え生物の産業利用における安全性確保総合研究」による。

材料と方法

1. 供試材料と栽培法

栽培試験は畜産草地研究所草地研究センター（栃木県那須塩原市）の圃場（前歴はオーチャードグラス草地，2001年3月に耕起）において2001年から2004年までの4年間にわたって行なった。供試圃場は防風林に囲まれており，農林水産省が策定した第一種組換え体栽培実験指針（農林水産省2003）で示された範囲内（半径600 m，防風林がある場合は半径300 m）に，他のトウモロコシ栽培は無いとする条件を満たしている。

試験には，すでに日本国内で食品衛生法，飼料安全法での安全性が確認され，第一種使用が承認されているグリホサート耐性トウモロコシ親自殖系統「GA21」（米国モンサント社育成）と非組換え体親品種（品種不明）を両親とするF1品種「RX740RR」と，「RX740RR」と組換え遺伝子の有無のみが異なる非組換え体品種「RX740」を供試した。

栽培面積は組換え体のグリホサート処理区を10 a（以後GM＋G区），組換え体の慣行除草剤（アトラジン・アラクロール）処理区を10 a（以後GM区），非組換え体の慣行除草剤処理区を10 a（以後nonGM区）とし，栽培期間中（4作期）は同一処理で連作した。播種前に殺虫剤としてダイアジノン粒剤（成分量5%）0.6 kg/aを全面散布し，ディスク耕により土壌と混和した。GM区とnonGM区は播種直後に除草剤としてアトラジン・アラクロールを現地混合したものを散布した。GM＋G区は播種1か月後にグリホサートを散布した。いずれの区も，除草剤散布以外の除草管理は行わなかった。播種時期は各年次ともに6月1日をめどとした。施肥は基肥のみとし，成分量（kg/a），N：1.0，P_2O_5：2.0，K_2O：1.0を施用し，播種密度は666本/a（畦間75 cm，株間20 cm）で，機械播きした。試験区の間隔は1畦分の空列を配置したので150 cmである。

2. 調査方法

1） 雑草植生

各区に5カ所の固定調査区画を設け，GM＋G区のグリホサート散布を行なった日を基準に，グリホサート散布直前，散布後約1か月後およびトウモロコシ収穫直前の3回にわたって，トウモロコシ以外の全植生について被度および草丈を種別に記録した。1調査区画の大きさは，1.5 m×2 mとした。

雑草植生の多様性を評価するため，各雑草種の体積近似値（平均草高×平均被度）を調査区単位で計算して平均を求め，この値を種の優占度とした。各雑草種優占度を優占度の合計に対する値で除して相対優占度（RD，%）とし，RDから各試験区の多様性指数（Shannon-Wiener Index，Ohtsukaら1993；根本2001）を算出した。

2） 生育・収量

トウモロコシの調査項目は，開花期，絹糸抽出期，稈長，着雌穂高，病害発生状況，収量とした。開花期と絹糸抽出期は各区の50%で開花・絹糸抽出が認められた日とした。稈長，着雌穂高，収量は，絹糸抽出期のおよそ40日後を目安に，各区5ヶ所から連続する10株について刈取り後に計測・計量した。

3） 土壌微生物相

土壌微生物相の調査は，トウモロコシ播種期（5-6月）と収穫期（10-11月）に圃場作土層より各区3区画（1区画あたりコアサンプラーで4点採取し混合）の土壌を採取し，微生物数を希釈平板法で調査した。細菌数と放線菌数の調査にはPTYG培地（25℃，1週間培養）を，糸状菌数の調査にはローズベンガル培地（25℃，3-4日培養）を用いた。

4） 節足動物相

節足動物相の調査は，2001年は，各区から任意に選んだトウモロコシ8株について，地上部表面に生息している昆虫とクモの種類と個体数を4葉期頃から収穫期まで，7回にわたり立毛状態で調査した。2002年は各区12株について6月13日以降約10日ごとに8月16日まで8回，2003年は各区30株について6月9日以降約7日ごとに9月8日まで14回，2004年は各区30株について6月14日以降約7日ごとに8月30日まで12回調査した。

節足動物の多様性を評価するため，調査期ごとに全個体数中にその種が占める個体割合を求め，この値を種の優占度とした。各節足動物種優占度から各試験区の多様性指数を算出した。

3. 統計解析

統計解析は生育特性，節足動物相は年度平均値，土壌微生物相，雑草植生は各調査時毎の値について，ソフトウェアJMP6（SAS Institute）を利用して，制限付き最尤法により試験区間の有意性検定を行なった。

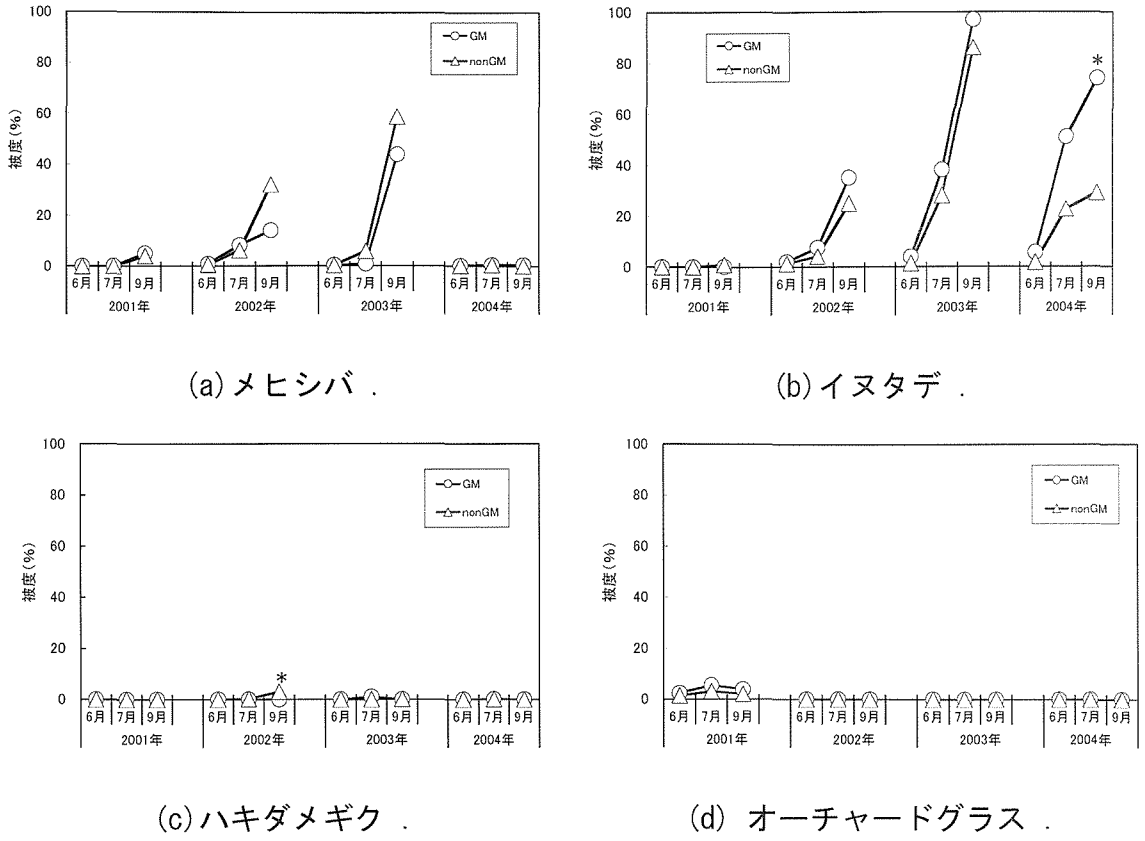
結果と考察

組換え体栽培が生態系へ与える影響評価の視点として，2通りの考え方が成り立つ。1つは現行の第一種利用が承認されている組換え体の生物多様性影響評価試験のように，組換え体の有する遺伝子の有無が生態系へ与える影響評価が重要とするものであり，組換え体と非組換え体を同じ処理条件下（栽培方法，除草剤処理）で評価比較するものである。一方除草剤抵抗性組換え体栽培を慣行除草剤で栽培することはあり得ず，当該組換え体に対応した除草剤利用により栽培することになる。このことから，組換え体栽培が生態系へ与える影響の2つ目の視点として，ヨーロッパにおける影響評価試験のように，組換え体とそれに対応する除草剤利用をセットとした評価比較が，実用上重要とする考え方である。

本試験では，3処理区分を設けており，上記の視点の双方で比較検討することが出来る。すなわち，第1の視点による評価はGM区とnonGM区の比較をすることで，第2の視点による評価はGM＋G区とnonGM区を比較することで，組換え体栽培が生態系へ与える影響についての評価が可能である。

1. 慣行除草剤栽培下における遺伝子組換えトウモロコシ（GM）と非組換えトウモロコシ（nonGM）の比較

図1には全期を通して被度5%以下で推移したものを除いた主要雑草の年次推移を示した。メヒシバ（*Digitaria*



(a) メヒシバ．　(b) イヌタデ．

(c) ハキダメギク．　(d) オーチャードグラス．

図 1.　主要雑草の発生消長（GM 区と nonGM 区の比較）.
*：5% 水準で有意差あり.

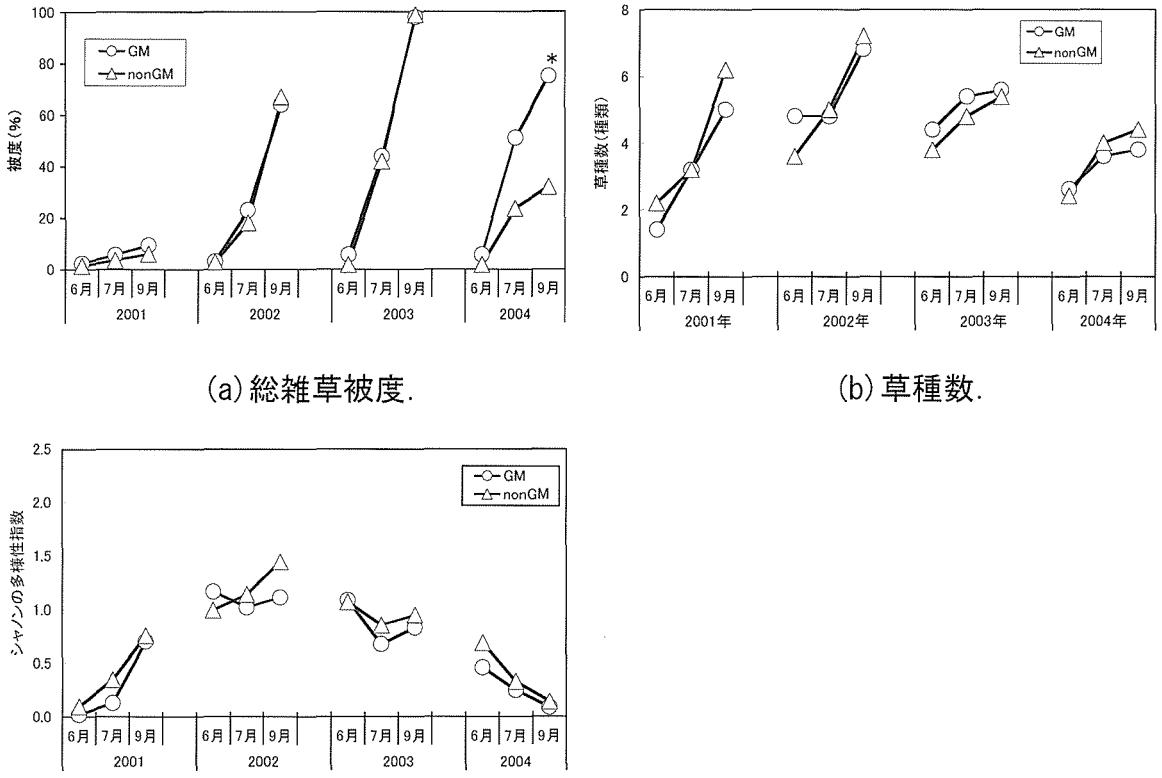
ciliaris）は GM 区と nonGM 区ともに 3 年目まで増加したが，4 年目以降に被度が低減した。イヌタデ（*Persicaria longiseta*）は 2004 年（作付け 4 年目）の GM 区の被度が nonGM 区の 2 倍程度まで増加し有意差があったが，他の調査期には有意差はなかった。ハキダメギク（*Galinosoga ciliata*）については，試験期間を通して被度が低かった。試験初年目には前植生であるオーチャードグラス（*Dactylis glomerata*）が認められたがその被度は低く，2 年目以降は，ほとんど認められなかった。他の雑草においても GM 区と nonGM 区は同様の被度で推移した。その他の雑草を含む総雑草被度（図 2a）では，有意差が認められたのは 2004 年の収穫期（9 月）の被度のみで，他の調査時には差はなかった。2004 年 9 月の被度で有意差があった要因は前述のイヌタデによる影響であり，その他の草種では有意差がないことから，組換え体がこれらの雑草被度に与える影響は非組換え体と同程度であると考えられた。また GM 区と nonGM 区の間で発生草種数，多様性指数ともに 2004 年 9 月を含めて差がなかった。2004 年 9 月におけるイヌタデにおいてみられた差異は 4 年間のうち 1 年のみ GM 区で除草剤の効果が悪かったのか，それとも組換え体の連作を 4 年行なった結果蓄積して発生した差異なのかは不明である。しかしながら，その他の雑草被度や発生草種数，多様性指数において差異はなかったことから，GM 区と nonGM 区が植生に与える影響は同程度であったと考えられる（図 2b, 図 2c）。

GM 区と nonGM 区におけるトウモロコシの生育特性，収量を表 1 に示した。紋枯病の発生程度が組換え体の方でやや高い傾向があったが，すべての形質において 5% 水準で有意差はなかった。このことからグリホサート耐性組換え遺伝子の有無がトウモロコシの生育に及ぼす影響はないと考えられた。

土壌微生物相については，細菌数，放線菌数，糸状菌数について評価したが，GM 区と nonGM 区に差はなかった。さらに，細菌数，放線菌数，糸状菌数の，播種期と収穫期との差は年次が進むにつれ小さくなり，安定化した（図 3）。

試験期間中トウモロコシ地上部表面に確認された節足動物観察種数と，多様性指数を図 4 に示した。種数は，試験開始 1 年目は GM 区が nonGM 区に対して高い傾向があったが，2 年目以降は GM 区と nonGM 区同様に推移し，差はなかった。観察種数においても有意差はなかった。多様性指数は 1 年目のみ有意差があったが，2 年目以降は有意差がなかった。

各節足動物の発生消長は GM 区と nonGM 区で同様に推移し，差は認められなかった。年平均個体数で唯一有意差が認められたのは 2003 年のベッコウハゴロモ（*Orosanga japonicus*）の個体数であったが，GM 区が 0.01（匹・株/調査回数），nonGM 区が 0.10（匹・株/調査回数）と実質的にはわずかな差であり，2002 年では有意差がなかったことから，組換え体がベッコウハゴロモの個体数に影響を与えていないと考えられる。



(a) 総雑草被度.

(b) 草種数.

(c) シャノンの多様性指数.

図 2. GM区とnonGM区の植生の推移.
*：5%水準で有意差あり.

表 1. トウモロコシの生育と収量（GM区とnonGM区の比較）.

年度	試験区	雄穂抽出期 月日	雄穂開花期 月日	絹糸抽出期 月日	稈長 cm	着雌穂高 cm	ごま葉枯病 無1-9甚	紋枯病 %	黒穂病 %	根腐病 %	乾燥茎葉収量 kg/a	乾燥雌穂収量 kg/a	乾物収量 kg/a
2001	GM	8.1	8.3	8.4	260.4	114.1	6.0	9.6	0.0	0.0	75.0	67.0	142.0
	nonGM	8.1	8.3	8.4	264.8	112.0	6.0	7.6	0.0	0.0	71.7	72.7	144.4
2002	GM	8.2	8.4	8.5	258.4	115.0	7.0	9.7	0.6	8.7	58.5	62.1	120.6
	nonGM	8.2	8.4	8.5	259.4	122.3	7.0	6.7	1.0	12.3	58.5	62.0	120.5
2003	GM	8.2	8.5	8.5	211.7	92.4	7.0	8.3	0.0	5.0	47.7	48.6	96.3
	nonGM	8.2	8.5	8.5	218.0	100.7	7.0	6.8	0.0	1.1	45.8	46.0	91.8
2004	GM	8.2	8.5	8.5	254.5	110.1	3.0	14.7	0.2	0.0	74.6	83.9	158.5
	nonGM	8.2	8.5	8.5	245.3	110.4	3.0	8.7	0.2	0.0	76.2	80.5	156.7

これらの結果から，グリホサート抵抗性組換え遺伝子の有無が生態系に与える影響に差は無いものと考えられた。

2. グリホサートを使用した組換え体トウモロコシ（GM＋G）と慣行除草剤栽培による非組換えトウモロコシと（nonGM）の比較

図5に主要雑草の年次推移を示した。nonGM区ではメヒシバとイヌタデの発生量が多かったが，GM＋G区では低い被度で推移した。ハキダメギクは2002年までは両区とも低い被度で推移したが，2003年9月と2004年6月にGM＋G区で高い被度を示した。ヒユ（*Amaranthus lividus*）はnonGM区では発生しなかったのに対し，GM＋G区では2004年に多く発生した。試験初年目にはGM＋G区でも前植生であるオーチャードグラスが認められたがその被度は低く，2年目以降は，ほとんど認められなかった。

雑草全体の被度（図6a）は，2001年にはGM＋G区とnonGM区の間で大きな差は認められなかったが，2002年から2004年にかけてグリホサート施用前はGM＋G区で有意に雑草被度が高かった。2002年と2003年はグリホサート施

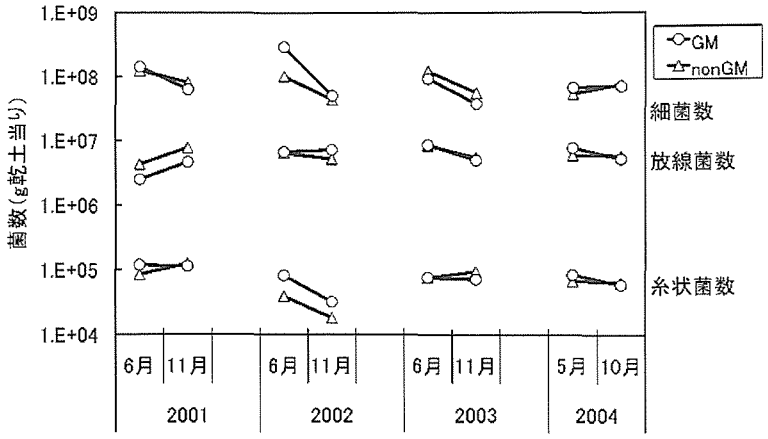
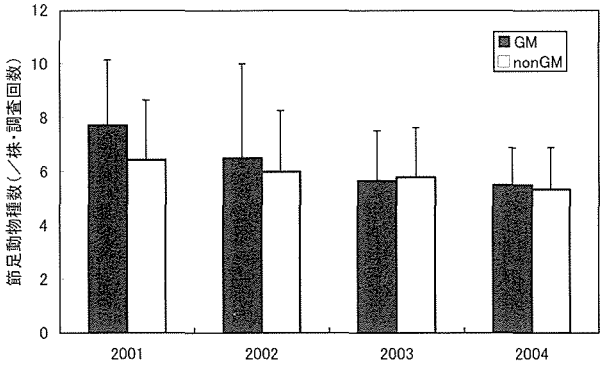
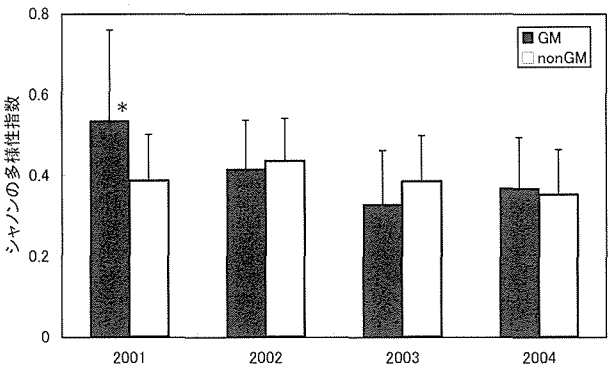


図 3.　GM 区と nonGM 区の土壌微生物相の推移.



(a) 節足動物種数.



(b) シャノンの多様性指数.

図 4.　栽培期間中の種数と多様性指数（GM 区と nonGM 区の比較）.
*：5% 水準で有意差あり.

用後から収穫期にかけて nonGM 区の雑草被度が有意に高く，除草剤処理の違いによる影響が大きかった。

nonGM 区では，除草剤の効果により初期の雑草被度は GM＋G 区に比べ低いが，その後の被度の増大が，タデ，メヒシバなどでとくに顕著であった。一方，GM＋G 区では初期に発生した雑草が，グリホサート処理によって枯れ，トウモロコシの収穫期の雑草被度は nonGM 区に比べて明らかに小さかった。とくに，nonGM 区で顕著であったメヒシバとタデの被度は低いレベルで維持された。

出現草種数（図 6b）においては栽培期間全般にわたって，GM＋G 区での草種数が nonGM 区に比べ有意に多い傾向があった。

多様性指数（図 6c）は試験年度が進むにつれ，GM＋G 区が高まっていくのに対し，nonGM 区では減少していった。

慣行除草剤であるアトラジン・アラクロールは土壌処理型の除草剤であり，主に雑草の発芽抑制することにより除草剤としての効果を発揮し，一般にその効果は処理後 1 ヶ月程度とされている。今回の結果からも，播種後 1 ヶ月程度（7 月）までの雑草被度は低く抑えられていたが，その後は被度が増加する傾向があった。また，試験開始 2 年目以降，メヒシバ，イヌタデが nonGM 区で増加していったが，これらの雑草はアトラジン・アラクロールが効きにくい草種であったと考えられる。またアトラジン・アラクロール処理により優占種が繁茂した結果，他の雑草種の発芽・生育が阻害され，出現草種数と多様性指数が nonGM 区で減少傾向を見せたと考えられる。

GM＋G 区では，グリホサート処理した時点で発芽を終えていた雑草が，一度すべてが枯死し，その後発芽した雑草類はトウモロコシに被陰され十分に受光できず生育が抑制されたため GM＋G 区の雑草被度が低く抑えられたと考えられる。また，グリホサート処理により植生が一度リセットされるため，優占種による他の草種への発芽・生育抑制効果が生じないため，これまで発芽が抑制されていた雑草種が発芽可能となり，GM＋G 区では雑草種数が増加していったと考えられる。

nonGM 区では調査時期による雑草種数の変動はあるが，年次間ではその傾向はほぼ一致している（図 2b, 図 6b）。一方，GM＋G 区では試験年次を重ねるごとに雑草種数，多様性指数が多くなる傾向があった（図 6b, 6c）。このことから，グリホサート耐性トウモロコシにグリホサート処理を行なう栽培方法は，アトラジン・アラクロール処理に比較して雑草の多様性を増加させると考えられる。

以上のように雑草植生は，GM＋G 区と nonGM 区とでは

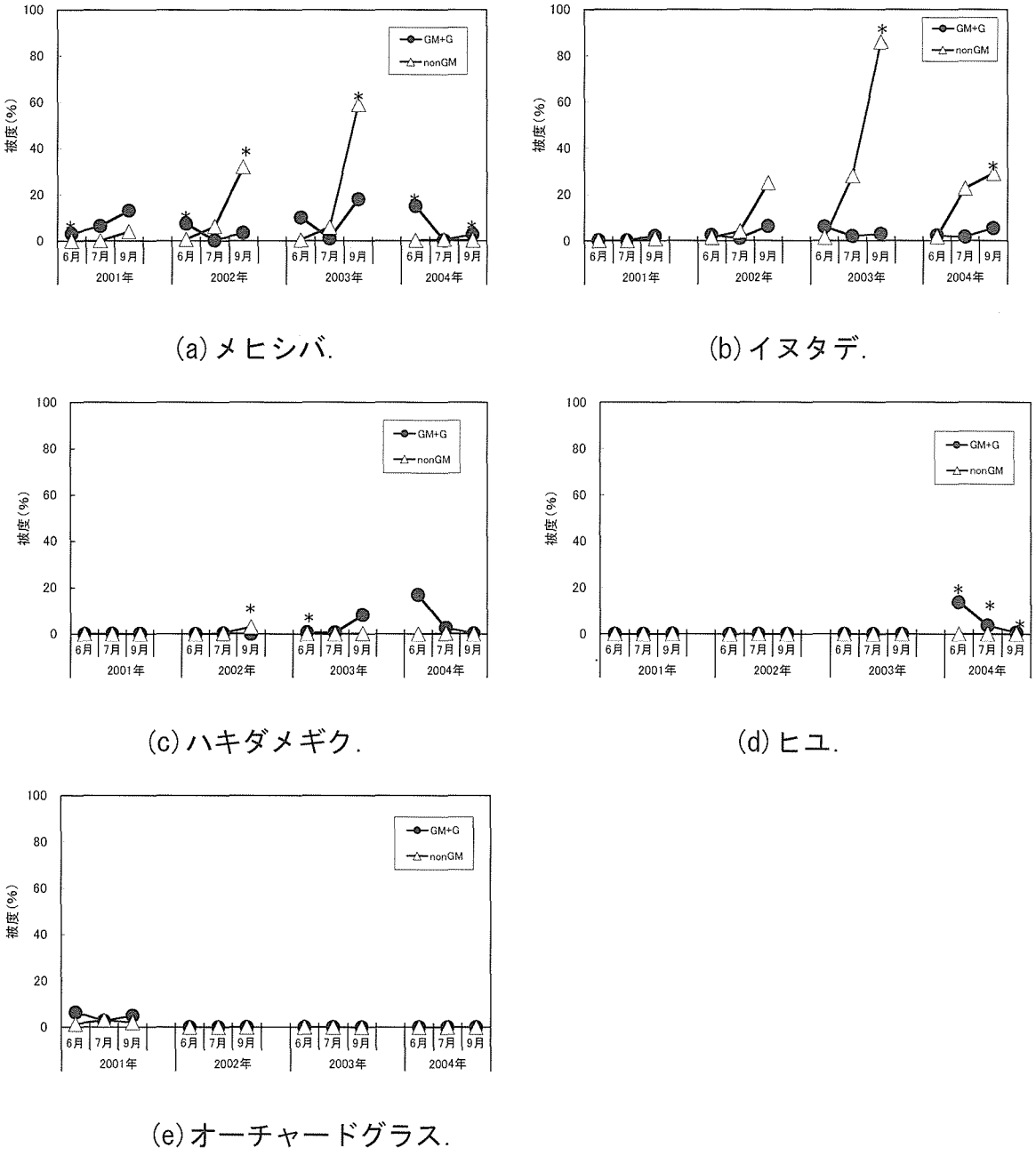


図 5. 主要雑草の発生消長（GM＋G 区と nonGM 区の比較）.
*：5% 水準で有意差あり.

大きく異なり，除草剤処理の違いによる影響を受けることが認められた。

トウモロコシの生育特性（表 2）では 2001 年は GM＋G 区と nonGM 区の間で病害発生状況，生育特性，収量には有意な差はなかった。2002 年から 2004 年にかけて，GM＋G 区の着雌穂高が nonGM 区に比べて有意に低かった。紋枯病発生個体率では 2003 年に有意差が認められ，GM＋G 区の発生率が高かった。2002 年から 2004 年の乾物雌穂収量と乾物収量では有意差は認められなかったが，GM＋G 区の収量が高かった。両区の栽培条件の違いは除草剤のみであることから，これが雑草量の違いにつながり，さらにその違いがトウモロコシの生育にも影響を与えたと考えられる。

土壌微生物相は，放線菌数で 2001 年の 6 月と 11 月，そして 2004 年 10 月において有意差が認められ，GM＋G 区が nonGM 区に比べ多かった（図 7）。糸状菌数では 2001 年 11 月と 2004 年 5 月において GM＋G 区が nonGM 区に比べ有意に多かった。

GM＋G 区と nonGM 区との間では，除草剤処理が異なり，それに起因して雑草植生も異なっている。GM＋G 区の雑草植生は nonGM 区と比べ明らかに少なかったことが要因となり，土壌内の環境に影響を与え，そのことが土壌微生物数にも影響を与えたと考えられる。

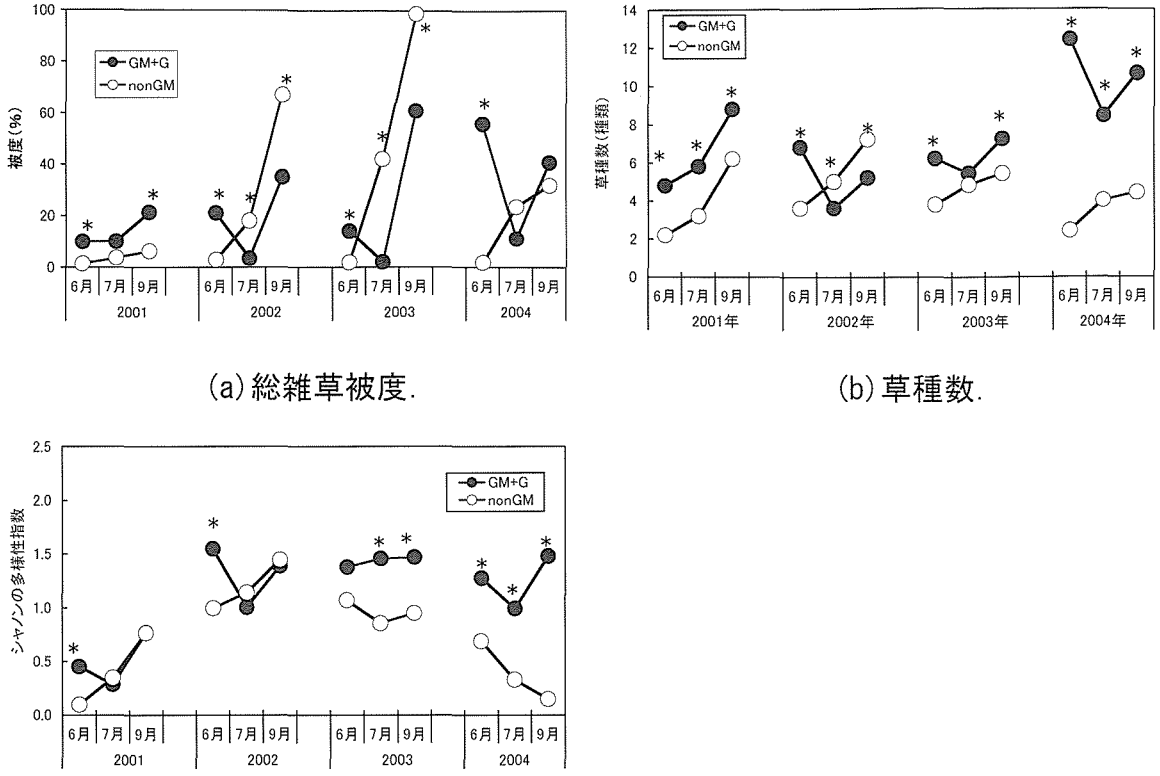


図 6.　GM＋G 区と nonGM 区の植生の推移.
*：5% 水準で有意差あり.

表 2.　トウモロコシの生育と収量（GM＋G 区と nonGM 区の比較）.

年度	試験区	雄穂抽出期 月日	雄穂開花期 月日	絹糸抽出期 月日	稈長 cm	着雌穂高 cm	ごま葉枯病 無 1-9 甚	紋枯病 %	黒穂病 %	根腐病 %	乾燥茎葉収量 kg/a	乾燥雌穂収量 kg/a	乾物収量 kg/a
2001	GM＋G	8.1	8.3	8.4	262.6	111.8	6.0	7.9	0.0	0.0	73.6	66.8	140.4
	nonGM	8.1	8.3	8.4	264.8	112.0	6.0	7.6	0.0	0.0	71.7	72.7	144.4
2002	GM＋G	8.2	8.4	8.5	251.6	107.9*	7.0	9.2	0.4	7.4	60.0	70.9	130.8
	nonGM	8.2	8.4	8.5	259.4	122.3	7.0	6.7	1.0	12.3	58.5	62.0	120.5
2003	GM＋G	8.2	8.5	8.5	207.3	86.8*	7.0	13.5*	0.0	6.8	51.1	57.9	108.9
	nonGM	8.2	8.5	8.5	218.0	100.7	7.0	6.8	0.0	1.1	45.8	46.0	91.8
2004	GM＋G	8.2	8.5	8.5	246.7	99.9*	3.0	14.2	0.3	0.0	76.4	85.1	161.5
	nonGM	8.2	8.5	8.5	245.3	110.4	3.0	8.7	0.2	0.0	76.2	80.5	156.7

*：5% 水準で有意差あり.
nonGM は表 1 の nonGM の再掲.

もう一つの要因である除草剤そのものの抗菌性の違いについても検討したが，グリホサートは土壌中の微生物によって速やかに分解されるため，収穫期まで影響を与えるとは考えにくい。また，nonGM 区に処理したアトラジン・アラクロールの効果はおよそ 1 ヶ月程度で切れていることから，アトラジン・アラクロール成分が収穫期まで菌数に影響を与えている可能性は低い。そのため，除草剤そのものが収穫期の土壌微生物相にまで影響を与えてはいないと考えられる。

節足動物種数（図 8a）では 2001 年の GM＋G 区が比較的高い値を示したが，nonGM 区との間で有意差はなく，2002 年以降には両区ともほぼ同じ値で推移した。多様性指数（図 8b）は試験期間を通して両区に有意差はなかった。これらのことから，除草剤による節足動物相への差異は認められなかった。

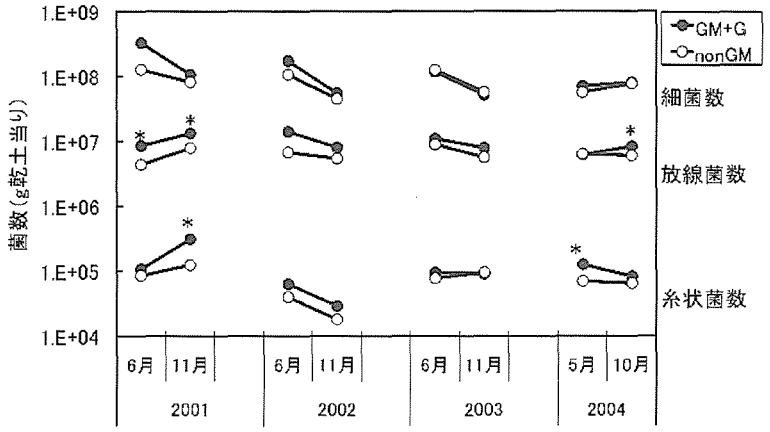
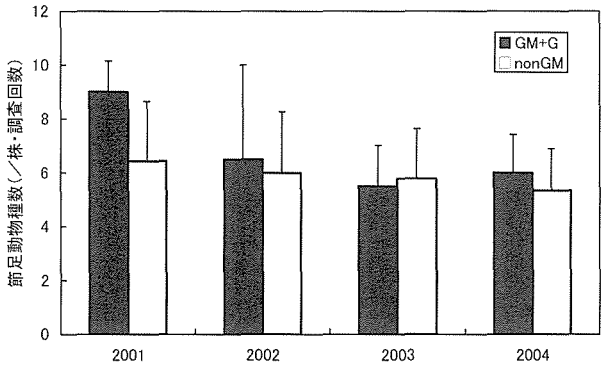
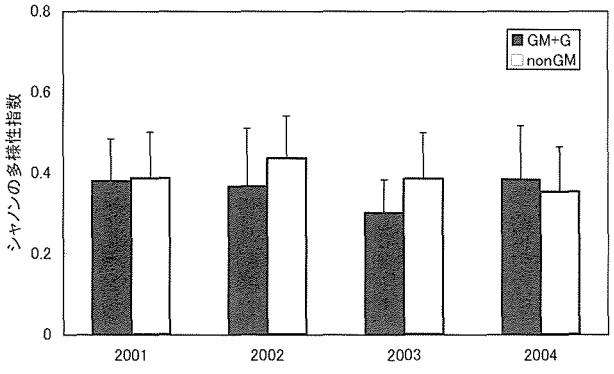


図 7. GM＋G 区と nonGM 区の土壌微生物相の推移.
*：5% 水準で有意差あり.



（a）節足動物種数 .



（b）シャノンの多様性指数 .

図 8. 栽培期間中の節足動物種数と多様性指数（GM＋G 区と nonGM 区の比較）.

除草剤処理の違いにより，雑草植生が大きく異なっていることから，この差が節足動物相へ影響を与え，GM＋G 区と nonGM 区との間で差が出るのではと予測したが，そのような関連性を見出すことは出来なかった。

3. 海外での事例との比較と総合考察

これまでに海外では，遺伝子組換え体が生態系に及ぼす影響について，様々な面から検討された事例があるが，中でもイギリスでは，組換え体ナタネ（*Brassica napus*）（春播きと秋播き），組換え体テンサイ（*Beta vulgaris*）および組換え体トウモロコシをイギリス国内の数十か所に栽培し，数年間にわたり組換え体と非組換え体栽培が生物相に与える影響を調査し，比較するという大規模な調査（FSE 試験）が行われた（Brooks ら 2003 ； Champion ら 2003 ； Firbank 2003 ； Freckleton ら 2003 ； Haughton ら 2003 ； Hawes ら 2003 ； Heard ら 2003 a, 2003 b ； Roy ら 2003 ； Squire ら 2003 ； Freckleton ら 2004 ; Perry ら 2004 ; Ammann 2005 ; Bohan ら 2005 ; Brooks ら 2005 ; Heard ら 2005 ; Firbank ら 2006 ; Gibbons ら 2006 ; Department for Environment Food and Rural Affairs 2007）。これらの試験では，除草剤抵抗性組換え体栽培区に，非選択性除草剤を処理した区（HT 区）と，非組換え体にアトラジン・アラクロールを処理した区（C 区）を設け，その圃場周辺での雑草植生，昆虫類，土壌中の雑草種子量，上部を飛来する鳥類等について調査を行った。その結果はテンサイ，ナタネでは HT 区の生物多様性が C 区に比べ減少し，生態系に影響を与える結果となっているのに対し，トウモロコシでは逆に，HT 区で土壌中の雑草種子量が増え，それにより，雑草植生，節足動物相，飛来する鳥類などの生物多様性が増加した。

このような大規模な試験を組んだ理由は，栽培地域により生態系が異なるため，イギリス国内の多地域で試験する事により，各地域で得られた結果が環境要因による影響なのか，組換え体栽培による影響なのかを区分でき，そしてそれら全地域データを用いて解析することにより，組換え体栽培の影響なのかを単純化して比較するためである。FSE 試験設計のこのような考え方は，栽培する地域の生態系下で実際に組換え体栽培をし，データを得ることが重要であることを示唆している。

本試験の結果をイギリスでの FSE 試験結果と比較すると，我々の結果では FSE 試験とは異なり雑草優占度がグリホサート処理区で少ない結果となっている。これは，日本とイギリスの生態系の違いに起因するものなのか，除草剤処理のタイミングのいずれによるものなのかは不明であるが，グリ

ホサート処理区の雑草種がnonGM区に比較して多いという結果は同様であり（Heardら2003a, 2003b），使用する除草剤の違いが雑草植生に大きく影響を与えていると考えられた。

GM区とnonGM区の植生，生育，土壌微生物相，節足動物相の比較結果から，これら生物相に与える影響は，組換え遺伝子の有無に起因する差は認められず，GM＋G区とnonGM区の比較結果から除草剤処理の違いによる雑草植生への影響に起因するものの方が大きいと結論づけることができ，雑草植生が生物多様性に大きな影響を与えているという既往の知見と矛盾していないといえる（Marshalら2003）。

本試験においては我が国の第一種使用規程承認手続きに準じた調査項目としたため，土壌微生物の菌相の確定までは行なわなかったが，今回用いた平板法で検出できる土壌微生物相は限られており，今後DGGE（Denaturant Gradient Gel Electrophoresis）法等の最新技術による網羅的解析も必要になってくると考えられる。

適用する除草剤が異なると，雑草相も大きく異なることは，通常の栽培でもよく経験されることである。これは，除草剤の処理時期が土壌処理剤では播種直後なのに対し，茎葉処理剤では4-5葉期に処理と約1か月の差があり，雑草に対する作用スペクトラムがそれぞれ異なることに起因する。そのことからも植生がGM＋G区とnonGM区と異なる結果を示したことはこれまでの知見に矛盾していない。また，GM区とnonGM区が同様の結果となったことから，今回用いた除草剤耐性トウモロコシ栽培が生態系へ与える影響は，通常の非組換え体品種と同様であると考えられる。有意差は無かったが，全試験期間を通してGM＋G区でトウモロコシ収量が全体的に高かったことは，雑草管理の省力化に加えて，除草剤耐性組換え体を利用する上での利点であると考えられる。

引　用　文　献

Ammann K (2005) Effects of biotechnology on biodiversity : herbicide-tolerant and insect-resistant GM crops. Trend Biotechnol 23 : 388-394

Bohan DA, Boffey CW, Brooks DR, Clark SJ, Dewar AM, Firbank LG, Haughton AJ, Hawes C, Heard MS, May MJ, Osborne JL, Perry JN, Rothery P, Roy DB, Scott RJ, Squire GR, Woiwod IP, Champion GT (2005) Effects on weed and invertebrate abundance and diversity of herbicide management in genetically modified herbicide-tolerant winter-sown oilseed rape. Proc Biol Sci 272 : 463-474

Brooks DR, Bohan DA, Champion GT, Haughton AJ, Hawes C, Heard MS, Clark SJ, Dewar AM, Firbank LG, Perry JN, Rothery P, Scott RJ, Woiwod IP, Birchall1 C, Skellern MP, Walker JH, Baker P, Bell D, Browne EL, Dewar AJG, Fairfax CM, Garner BH, Haylock LA, Horne SL, Hulmes SE, Mason NS, Norton LR, Nuttall P, Randle Z, Rossall MJ, Sands RJN, Singer EJ, Walker MJ (2003) Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops. I. Soil-surface-active invertebrates. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358 : 1847-1862

Brooks DR, Clark SJ, Perry JN, Bohan DA, Champion GT, Firbank LG, Haughton AJ, Hawes C, Heard MS, Woiwod IP (2005) Invertebrate biodiversity in maize following withdrawal of triazine herbicides. Proc Biol Sci 272 : 1497-1502

Champion GT, MayMJ, Bennett S, Brooks DR, Clark SJ,Daniels RE, Firbank LG, Haughton AJ, Hawes C, Heard MS,Perry JN, Randle Z, Rossall MJ, Rothery P, Skellern MP, Scott RJ, Squire GR, Thomas MR (2003) Crop management and agronomic context of the Farm Scale Evalurations of genetically modified herbicide-tolerant crops. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358 : 1801-1818

Department for Environment Food and Rural Affairs (2007) Managing the Footprint of Agriculture : Towards a Comparative Assessment of Risks and Benefits for Novel Agricultural Systems. Report of the ACRE Sub-Group on Wider Issues raised by the Farm-Scale Evaluations of Herbicide Tolerant GM Crops. Advisory Committee on Releases to the Environment, London, p31-37

Firbank LG (2003) The Farm Scale Evaluations of spring-sown genetically modified crops. Introduction. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358 : 1777-1778

Firbank LG, Rothery P, May MJ, Clark SJ, Scott RJ, Stuart RC, Boffey CW, Brooks DR, Champion GT, Haughton AJ, Hawes C, Heard MS, Dewar AM, Perry JN, Squire GR (2006) Effects of genetically modified herbicide-tolerant cropping systems on weed seedbanks in two years of following crops. Biol Lett 2 : 140-143

Freckleton RP, Sutherland WJ, Watkinson AR (2003) Deciding the future of GM crops in Europe. Science 302 : 994-996

Freckleton RP, Stephens PA, Sutherland WJ, Watkinson AR (2004) Amelioration of biodiversity impacts of genetically modified crops : predicting transient versus long-term effects. Proc Biol Sci 271 : 325-331.

Gibbons DW, Bohan DA, Rothery P, Stuart RC, Haughton AJ, Scott RJ, Wilson JD, Perry JN, Clark SJ, Dawson RJ, Firbank LG (2006) Weed seed resources for birds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. Proc Biol Sci 273 : 1921-1928

Haughton AJ, Champion GT, Hawes C, Heard MS, Brooks DR, Bohan DA, Clark SJ, Dewar AM, Firbank LG, Osborne JL, Perry JN, Rothery P, Roy DB, Scott RJ, Woiwod IP, Birchall C, Skellern MP, Walker JH, Baker P, Browne EL, Dewar AJG, Garner BH, Haylock LA, Horne SL, Mason NS, Sands RJN, Walker MJ (2003) Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops. II. Within-field epigeal and aerial arthropods. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358 : 1863-1877

Hawes C, Haughton AJ, Osborne JL, Roy DB, Clark SJ, Perry JN, Rothery P, Bohan DA, Brooks DR, Champion GT, Dewar AM, Heard MS, Woiwod IP, Daniels RE, Young MW, Parish AM, Scott RJ, Firbank LG, Squire GR (2003) Responses of plants and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358 : 1899-1913

Heard MS, Hawes C, Champion GT, Clark SJ, Firbank LG, Haughton AJ, Parish AM, Perry JN, Rothery P, Scott RJ, Skellern MP, Squire GR, Hill1 MO (2003a) Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. I. Effects on abundance and diversi-

ty. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358 : 1819-1832
Heard MS, Hawes C, Champion GT, Clark SJ, Firbank LG, Haughton AJ, Parish AM, Perry JN, Rothery P, Roy DB, Scott RJ, Skellern MP, Squire GR, Hill1 MO (2003b) Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. II. Effects on individual species. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358 : 1833-1846
Heard MS, Rothery P, Perry JN, Firbank LG (2005) Predicting longer-term changes in weed populations under GMHT crop management. Weed Research 45 : 331-338
北海道（2007）遺伝子組換えコンセンサス会議．食の安全推進局，北海道，http : //www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/shs/shokuan/gm-consensus［2008年9月25日参照］
James C (2008) GM Crops : Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops 2008. ISAAA Briefs No. 39
Marshal EJP, Brown VK, Boatman ND, Lutman PJW, Squire GR, Ward LK (2003) The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. Weed Research 43 : 77-89
日本貿易振興機構（2008）平成19年度コンサルタント調査米国の農業と農業政策の現状．日本貿易振興機構・輸出促進・農水産部，東京，p25
根本正之（2001）雑草の群落構造調査法．雑草科学実験法（日本雑草学会編），日本雑草学会，東京，p63-75
農林水産先端技術産業振興センター（2001）遺伝子組み換え農作物を考えるコンセンサス会議報告書．農林水産先端技術産業振興センター，東京，p45-57
農林水産先端技術産業振興センター（2002）遺伝子組換え農作物を市民が考える会議報告書．農林水産先端技術産業振興センター，東京，p41
農林水産省（2003）第一種使用規程承認組換え作物栽培実験指針．農林水産省・農林水産技術会議事務局，東京，http : //www.s.affrc.go.jp/docs/anzenka/pdf/sisin.pdf［2008年1月9日参照］
Ohtsuka T, Sakura T, Ohsawa M (1993) Early herbaceous succession along a topographical gradient on forest clear-felling sites in mountainous terrain, central Japan. Ecological Research 8 : 329-340
Perry JN, Firbank LG, Champion GT, Clark SJ, Heard MS, May MJ, Hawes C, Squire GR, Rothery P, Woiwod IP, Pidgeon JD (2004) Ban on triazine herbicides likely to reduce but not negate relative benefits of GMHT maize cropping. Nature 428 : 313-316
Roy DB, Bohan DA, Haughton AJ, Hill MO, Osborne JL, Clark SJ, Perry JN, Rothery P, Scott RJ, Brooks DR, Champion GT, Hawes C, Heard MS, Firbank LG (2003) Invertebrates and vegetation of field margins adjacent to crops subject to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358, 1439 : 1879-1898
Squire GR, Brooks DR, Bohan DA, Champion GT, Daniels RE, Haughton AJ, Hawes C, Heard MS, Hill MO, May MJ, Osborne JL, Perry JN, Roy DB, Woiwod IP, Firbank LG (2003) On the rationale and interpretation of the Farm Scale Evaluatons of genetically modified herbicide-tolerant crops. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 358, 1439 : 1779-1799

要　　旨

黄川田智洋・大同久明・吉村義則・森田聡一郎・黒川俊二・斉藤雅典・安藤象太郎・神田健一（2009）グリホサート耐性遺伝子組換えトウモロコシ（*Zea mays* L.）栽培が圃場内生物相に与える影響評価．日草誌 55 : 217-226

2001年から2004年まで4年間にわたって，グリホサート耐性トウモロコシと，非組換え体トウモロコシを栽培した。グリホサート耐性トウモロコシはグリホサート処理区（GM＋G区）と慣行栽培区（GM区）を設け，コントロールの非組換え体トウモロコシの慣行栽培区（nonGM区）と比較した。その結果，雑草植生，土壌微生物相，生育ではGM＋G区のみが異なる結果となったが，節足動物相では差はなかった。これらのことから，グリホサート耐性組換えトウモロコシと非組換えトウモロコシが生物相へ与える影響には差が無く，除草剤処理の違いが生物相へ大きく影響を与えると考えられた。

キーワード：遺伝子組換えトウモロコシ，グリホサート耐性，圃場内生物相．