農研機構
NARO 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオの生育特性の解明並びに防除に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): Calystegia japonica Choisy, Vegetative propagation, Rhizome, Fall tillage, Weed control, Forage corn field 作成者: 伏見, 昭秀 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001199

飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオの生育特性の解明並びに防除に関する研究

伏　見　昭　秀*1)

抄　録：わが国の飼料用トウモロコシ畑に近年蔓延が報告された多年生雑草ヒルガオ（*Calystegia japonica* Choisy）を取り上げ，その栄養繁殖器官である根茎について生態的弱点を実験的・理論的に明らかにし，秋耕による防除の試案を提示した。秋耕によるヒルガオの機械的防除と慣行の除草剤による化学的防除の組み合わせを検討した。根茎が地表面付近に存在する10月中旬を含めた10月２回の秋耕あるいは10月，11月の２回の秋耕および飼料用トウモロコシ播種時の慣行のアトラジン・メトラクロール剤の土壌処理で翌年の飼料用トウモロコシ栽培では収量への影響はほとんどなくなり，ヒルガオはほぼ根絶できることが明らかになった。秋耕は要防除期間中のヒルガオの個体サイズを小さくする一方，発生数を増加させるが，この個体サイズと数のトレードオフはヒルガオの適応度を小さくし，生育抑制の方向へのみ働くことをSmith & Fretwellモデルで検証した。

キーワード：ヒルガオ，栄養繁殖器官，根茎，秋耕，雑草防除，飼料用トウモロコシ畑

Studies on the Vegetative Propagation of *Calystegia japonica* Choisy for Its Control in Forage Corn Field：Akihide FUSHIMI*1)

Abstract：*Calystegia japonica* Choisy is an invasive, perennial, rhizomatous weed of forage crops in Japan. Control is complicated due to its rapid vegetative propagation by means of rhizomes. The dynamics of the rhizome system of *C. japonica* were characterized in a field experiment under three different treatments: cutting the above-ground part, flooding, and fall tillage. Conventional weed control in forage corn cultivation using a soil application of atrazine and metolachor together with intensive fall tillage in the previous year (double tillage in Oct. or double tillage once in Oct. and once in Nov.) had a positive effect on controlling the vegetative growth of *C. japonica*, through reducing the size of individual rhizomes. Conventional weed control in corn cultivation with intensive fall tillage on the previous year of cultivation succeeded in eradicating *C. japonica* from the infested field by harvest day. Moreover, each treatment increased the yields of corn up to weed-free plot yield levels. Intensive fall tillage reduces the above-ground competition of *C. japonica* with climbing stem and nurse stage corn from mid-May to mid-June of the next year.

Key Words：*Calystegia japonica* Choisy, Vegetative propagation, Rhizome, Fall tillage, Weed control, Forage corn field

目　次

Ⅰ　緒論……28
Ⅱ　ヒルガオの発生実態と乾物生産特性……33
　1．ヒルガオの発生実態……33
　　1）生育範囲の拡大……33
　2．ヒルガオの乾物生産特性……36
　　1）生育期間中の乾物生産……36
　　①器官別乾物重の推移……36
　　②根茎の生長……37

＊1）現・近畿中国四国農業研究センター（National. Agricultural Research Center for Western Region, Fukuyama, Hiroshima 721-8514, Japan）
2006年６月12日受付, 2006年９月11日受理

2）秋期における地表面付近の根茎の枯死…38
3）冬期における根茎の充実……39
4）春期における越冬根茎の大きさ……40
3．摘要……42
Ⅲ　飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオの防除…42
1．ヒルガオの機械的防除……43
1）秋耕および中耕による防除……43
①飼料用トウモロコシの要防除期間中のヒルガオの生育抑制……44
②根茎の細断化によるヒルガオの生育抑制についてのSmith & Fretwellモデルによる理論根拠……47
③ヒルガオの秋耕による制御と収量に与える影響……48
2）連年秋耕によるヒルガオの防除……50
2．除草剤による防除……53
1）土壌処理剤と茎葉処理剤による体系処理　…53
3．摘要……56
Ⅳ　耕作放棄された飼料畑，飼料用転換畑における制御……56
1．耕起による制御……56
1）生育期間中１か月間隔の耕起……56
2．刈取りによる制御……60
1）年１回の刈取りの影響……60
2）刈取り回数の影響……61
3．湛水による制御……62
1）発生前の処理……62
2）発生後の処理……64
4．摘要……65
Ⅴ　総合考察……66
1．雑草の機械的防除の重要性……66
1）耕起回数の減少と多年生雑草の蔓延……66
2）秋耕など耕耘による雑草の機械的防除の効果……67
3）国内の畑および水田における作付体系の変遷と秋耕の組み込み……68
2．秋耕による東北地域の飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオ防除の試案……68
要　　約……72
引用文献……74
図版説明……80
図　　版……80

Ⅰ　緒　　論

近年，国内では，食の安全に対する信頼が大きく揺らいでいるほか，農業者の高齢化と減少による生産構造の脆弱化等危機的な状況が深化してきていることは周知のことであり，これらの改善を大きな関心事として1961年に制定された「農業基本法」は1999年に「食料・農業・農村基本法」として38年振りに見直された。これまでの「農業基本法」は米麦中心の農業生産から畜産，果樹等選択的拡大部門に生産をシフトさせるとともに特に畜産部門においては急速な規模拡大，専業化等を進め，生産性，農業所得の飛躍的な向上に貢献した。また，農畜産物需給構造も大幅に様変わりし，関連産業も著しく成長・発展させることとなり，人々の食生活やライフスタイルを欧米型に変化させる結果となった（梶井 2004）。

さて，本論は飼料用トウモロコシ畑に蔓延したヒルガオという雑草の生育特性と防除に関する研究結果をまとめたものであるが，人々の雑草に対する定義はさまざまである（稲垣　2002）。生物学的な雑草に関する定義は1945年に英国のロンドン大学で博士号を修得し，1960年代から米国のカルフォルニア大学バークレイ校で活躍したBakerによってまとめられたが（Baker 1975），雑草と一括りに表現される植物は，農業生産の場である農耕地という極めて特異な環境条件下で，地理的条件のみならず，栽培法や除草剤などの人為的条件に適応しうる植物だけが雑草と呼ばれるに相応すると考える（小笠原　1996）。本章ではわが国の飼料生産の推移，近年の飼料畑における外来雑草の発生の経緯および研究課題として取り上げた多年生雑草ヒルガオ（*Calystegia japonica* Choisy）の防除に対する研究の方向性を昨今の国内の飼料生産を取り巻く状況を考慮して示した。なお，元来のヒルガオの生育地は住宅地の周辺から道ばた，畦畔，空き地など非農耕地が主である。本草種は梅雨明けから晩夏に可憐なピンク色の花を咲かせる蔓性の多年生植物で（図版１），江戸時代には観賞用に栽培されたこともあり，近年まで農耕地の雑草として認識されることは少なかった。

国内の飼料作物の生産量の推移として1965年から1975年頃までは草地開発および既耕地への飼料作物

の作付拡大により畑を中心に増加，1975年頃から1990年頃迄は水田利用再編対策の実施により水田を中心に増加したが，1990年の531万TDNトンを最大に減少傾向で推移し，2004年では420万TDNトンとなった。近年の飼料作物の国内生産量の減少は，規模拡大に伴う飼料生産の労働力不足を背景に，栄養収量は高いが多労型のトウモロコシ等の長大作物の作付面積が減少したこと，さらに1993年，2001年，2002年では，天候不順により生産量が減少したことなどが減少の要因として挙げられている。一方，輸入飼料は1984年の2,648万TDNトンをピークに増減があるものの2004年で1,882万TDNトンとなっている。なお，同年の飼料需要量は2,514万TDNトンで，純国内産飼料自給率では25%，粗飼料自給率では75%，濃厚飼料自給率では11%を示した（農林水産省生産局　2005b）。

飼料作物の栽培状況を見ると，1987年の105.2万haをピークに減少を続け，最近では横ばい傾向を示し，2004年で91.4万haであった。2004年の飼料生産の内訳について，牧草は78.8万ha，飼料用トウモロコシは8.7万ha，ソルガムなどは3.9万haとなった（農林水産省生産局　2005b）。なお，本研究で取り上げた飼料用トウモロコシの全国の栽培面積については1965年から1970年頃では7.0万ha弱から8.0万ha弱で推移したが，1975年を境にサイレージ利用の推進のため，アトラジン＋アラクロール剤などの新しい混合除草剤の利用および大型機械での高能率作業によって，1987年の12.7万ha迄，大きく増加を示した（飯田　1988）。しかし，同年をピークに飼料用トウモロコシの栽培面積は減少に転じた。東北地域における栽培面積を見ると1990年の1.9万haをピークに減少に転じ，2004年では1.3万haで全国の飼料用トウモロコシ栽培面積の15%を占めている（農林水産省生産局　2005b）。

さて，近年では作付面積の減少も下げ止まりを示しつつある国内の草地飼料畑であるが，1990年頃から従来のギシギシ，メヒシバ，ヒエ類，タデ類などとは異なる雑草の大発生が報告され，全国の農水省試験研究機関の参画で特別研究「強害帰化植物の蔓延防止技術」が草地試験場を中心に実施された。とくに，1993年には全国の農業改良普及センターを通じて強害帰化雑草の分布状況に関するアンケートが行われた（清水ら　1996）。

東北地域では88の農業改良普及センターのうち57の同センターから強害帰化植物に関する情報が得られ，雑草として発生の報告のあった草種は18科45種に及んだ。東北地域の草地，飼料畑においては，イチビ，ヒルガオ類（ヒルガオ，コヒルガオ，セイヨウヒルガオ等），アメリカオニアザミ，ヒユ類（ホナガイヌビユ，アオゲイトウ，ホソアオゲイトウ，ハリビユ等），ワルナスビ，アレチウリ，オナモミ類，ハルザキヤマガラシ，カミツレモドキ，アカザ類，チョウセンアサガオ類等と既に蔓延しているギシギシ類が報告された（的場ら　1996）。従来，多年生雑草は飼料畑に侵入，蔓延することは少なく，スギナ，シバムギなどに限られていたが，1993年と1994年における全国の強害帰化雑草の分布状況に関するアンケートでは新たにワルナスビ，ショクヨウガヤツリ，ヒルガオ類などの多年生雑草の侵入・蔓延が報告された（表１）。なお，北東北（青森，秋田，岩手）と南東北（宮城，山形，福島）を含む関東以北の発生草種は多年生雑草，一年生雑草を問わずほぼ一致していたと考える。

今回初めて報告された飼料畑における多年生雑草の発生は米国において1970年頃から不耕起栽培が普及した結果として発生が認められた草種とほぼ一致した（表１，表２）。国内における発生理由としては，第一に輸入穀物等への多年生雑草の種子の混入が原因として考えられた。第二に近年の耕作放棄地の増大から示唆されるように，効率的な農地利用が実現していないことの一端として，年間あたり作物の平均作付け回数が減少した結果，多年生雑草が草地飼料畑で発生したと考える（伏見　2002）。とくに，飼料畑でヒルガオ類などの多年生雑草の蔓延は一部の「捨て作り」とも言える現在の栽培管理の一端に起因すると考えられた。なお，本研究は岩手県盛岡市にある東北農業試験場（現在，東北農業研究センター）で実施したが，東北地域の畑地においても雑草管理が行われている場合は，多年生雑草の発生などは少なく一年生雑草の発生が多く，東北地域の主要夏雑草としてはメヒシバ，ヒメイヌビエ，シロザ，オオイヌタデが挙げられる（野口ら　1983）。飼料用トウモロコシやダイズでは栽培時期が主要夏雑草の生育と重なり競合を生じるとともに，雑草の種子落下期間が重複するため，これらの作物栽培では積極的な雑草防除が求められる（遠藤ら　1978，野口ら　1985）。一方，バレイショ，ソバ，ダイコン，コムギでは主要夏雑草と作物栽培中には競合を

表１　草地・飼料畑における主要外来雑草の地域別発生実態[1)]

科名	和名	生活環[2)]	北東北[3)]	南東北	関東	東海	近中四	九州	発生場所[4)]	（その他）
タデ	オオケタデ	a	1	1	3	1	3		12456	畦
ヤマゴボウ	ヨウシュヤマゴボウ	p	3	2	3	3	3		124567	農地周辺,休耕田,雑地
アカザ	アカザ	a		2			1		1457	
アカザ	コアカザ	a	2	2	1	1		3	14567	
ヒユ	ホソアオゲイトウ	a	2	2	3	1	3		1245	河川敷
ヒユ	ハリビユ	a	2	2	3	3	3	3	124567	河川敷
アブラナ	ハルザキヤマガラシ	p	3	3	1	1	1		1234567	畦畔,河原,路傍
アブラナ	カラクサガラシ	a	3	2	2	2	2	1	124567	休耕田,土手,路傍
アブラナ	グンバイナズナ	a			2		1		124567	
トウダイグサ	オオニシキソウ	a			2		1		124	
アオイ	イチビ	a	3	3	3	3	3	3	12457	路傍,畦畔,耕作田
アオイ	ウサギアオイ	a			1		1		125	
アオイ	アメリカキンコジカ	p				1	1		1	
ウリ	アレチウリ	a	3	3	3	3	1	1	124567	畦畔,防風林,土手
ヒルガオ	セイヨウヒルガオ	p	2	2	1	1	1		12456	道路,耕地境
ヒルガオ	マルバルコウ	a	1	1	3	2	2	1	1256	道路脇
ナス	シロバナチョウセンアサガオ	a	2	1	3	2	1	1	12456	道路,農地脇
ナス	アメリカイヌホオズキ	a			2	1	2	1	12456	パドック,道路脇
ナス	ワルナスビ	p	3	2	3	3	3	3	124567	河川敷
キク	ブタクサ	a	3	2	2	1		1	127	河川敷
キク	オオブタクサ	a			2		1		12457	
キク	カミツレモドキ	a	3	2	1	1	1	1	1245	畑脇,原野,土手,空き地
キク	アメリカセンダングサ	a	3	1	3	2	2	1	12345	
キク	コセンダングサ	a			2	2	1		12345	
キク	アメリカオニアザミ	b	3	2	1	1	1	1	1245	畦畔
キク	ベニバナボロギク	a			1	1	2		12456	
キク	ハルジオン	p	3	3	3				12456	
キク	ハキダメギク	a	1	1	3	1	2	1	123456	畦,パドック,道路脇
キク	ノボロギク	a	1	1	2	1	1	1	12456	
キク	ヒメジョオン	a or b	3	3	3	2	2	1	1246	放棄地,道路脇,河川敷
キク	シオザキソウ	a			1	1	1		1235	
キク	セイヨウタンポポ	p	1	1	3	1	2		1234567	休耕畑
キク	オオオナモミ	a	1	1	2	2	3	1	1245	野草地,道路,畦畔,河川敷
イネ	シバムギ	p	2	1	2		1	1	2156	
イネ	ハルガヤ	p	1	1	1		1		215	保全管理地
イネ	クリノイガ	a			1		1		1	
イネ	セイバンモロコシ	p			3	1	1	1	1256	休耕地,路傍,保全管理地
カヤツリグサ	ショクヨウガヤツリ	p	1	2	3	3	2	1	12456	河川敷

注．1）清水ら　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より作成。
　　2）ａは1年生雑草，ｂは２年生雑草およびｐは多年生雑草を示す。
　　3）空欄は発生なし，１は発生小，２は発生中および３は発生大の報告を示す。
　　4）１は飼料畑，２は草地，３は水田，４は普通畑，５は転換畑，６は樹園地および７は野菜畑を示す。

生じるが，主要夏雑草の種子の生産が行われる８月上旬から９月中旬には作物の収穫および次期作の播種のために耕起が入り，とくに除草作業を行わなくてもほぼ完全に雑草の種子生産は抑制されるため（野口ら　1986），飼料用トウモロコシの栽培に比べて積極的な雑草防除は必要ではない。

元来，飼料用トウモロコシは長大型飼料作物として過剰な労働を生産者に課すため栽培は省力であることが望ましいが（木村　2003），近年は不適切な播種時期の管理，収穫時期の遅延および過剰な家畜糞尿の圃場への投入に起因する収量減，さらに異常気象による収量変動の増大等により「捨て作り」が栃木県那須高原のようなわが国の主要酪農地帯でも恒常化しつつある。このような耕作放棄地に類似した飼料畑ではヒルガオ類をはじめとする多年生雑草が蔓延し新たな繁殖源になると考える。生産者が

表２　米国において不耕起栽培の普及によって増加した畑雑草[1)]

科名	和名	生活環[2)]
イネ	メヒシバ類	a
イネ	エノコログサ類	a
イネ	オオクサキビ	a
イネ	シャッターケイン	a
イネ	ウマノチャヒキ類	a
ヒユ	ヒユ類	a
アカザ	シロザ	a
タデ	タデ類	a
ナス	ホオズキ類	a
アブラナ	ナズナ	a
キク	ノボロギク	a
ナデシコ	ハコベ	a
キク	野生レタス	a
キク	ヒメムカシヨモギ	a
マメ	エビスグサ	a
ケシ	ヒナゲシ	a
サクラソウ	アカバナルリハコベ	a
ウリ	野生キュウリ	a
アカバナ	コマツヨイグサ	a
アブラナ	カラシナ	a
イネ	バーミューダグラス	p
イネ	スズメノヒエ	p
イネ	セイバンモロコシ	p
イネ	メルケンカルガヤ類	p
イネ	シバムギ	p
イネ	コネズミガヤ	p
イネ	キダチノネズミガヤ	p
イネ	スイッチグラス	p
カヤツリグサ	ハマスゲ	p
カヤツリグサ	キハマスゲ	p
ヒルガオ	ヒルガオ類	p
キク	ハキダメギク	p
オオバコ	オオバコ	p
キク	タンポポ類	p
キク	セイヨウトゲアザミ	p
タデ	ギシギシ類	p
キク	アスター類	p
ガガイモ	ガガイモ科雑草	p
キョウチクトウ	キョウチクトウ雑草	p
ノウゼンハレン	ノウセンカズラ類	w
バラ	ノイバラ類	w
ウルシ	ヌルデ類	w
イネ	トウモロコシ	a
イネ	コムギ	a
アブラナ	ナタネ	a

注．1）竹内安智　1989　アメリカにおけるミニマムティルと雑草防除植調22(10)20－28より作成。
2）ａは１年生雑草，ｐは多年生雑草およびｗは木本を示す。

「捨て作り」に至る理由として畜産政策では家畜生産物への保護政策は手厚い一方，家畜生産のための中間生産物である飼料生産に対する政策は付属的に取り扱われる傾向が否めないことも理由のひとつと考える。飼養頭数の大規模化によって利益を追求する現在の我が国の畜産経営では，飼料の確保については利便性の高い輸入穀物および輸入購入粗飼料で賄い，自給飼料として作物を栽培管理する意欲は沸いてこないのである。すなわち，飼料生産に対してはできるだけ資材および労働時間などの資源の投入を減らして経費削減を図ることで経営全体に寄与しているのである。現状の畜産農家の自給飼料に対する経営面からの意欲を考慮すると，ヒルガオの防除にかかる作業が方法として簡単かつ省力であることおよび関連作業では現有機械の利用効率を高めることで対処することが必要と考えられた。

ヒルガオの農耕地における繁茂は地下部の根茎による栄養繁殖によるところが大きい（伏見　1998，図版２）。耕起の時期を誤ると，根茎の断片化によって，人為的にヒルガオの分布域が拡大し，蔓延が助長される。地上部は蔓状であり，飼料用トウモロコシに絡みつき，好適な光条件を確保し成長する。絡みつかれた飼料用トウモロコシはヒルガオの支柱となり，光合成が阻害され，収穫量は減少する（図版３）。本草種は自家不和合性が著しく発達しているため，同一クローンによって構成される群落では種子が稔実することは極めて少ない（笠原　1985）。なお，異系統間の交雑が遺伝子解析で示唆された例があるが（Kim et al. 1995，渋谷ら　1996），限られた生育範囲では種子繁殖は少ない（笠原　1985，丑丸　2000，Ushimaru et al. 1999）。そこで，本研究では飼料畑におけるヒルガオの防除のポイントは，いかにして地下部の根茎による栄養繁殖を防止するかに絞った。

上記の２つの観点から，研究目標は省力的にヒルガオの根茎の成長を制御することで飼料用トウモロコシ畑における本草種を防除することに定めた。しかし，既往の関連文献を調べたところ，ヒルガオや近縁種のコヒルガオ（*Calystegia hederacea* Wall.）は樹園地での報告（阿部　1966）を除いては，農耕地の雑草として強く認識されたことが無いため，繁殖様式や防除法に拘わる知見はほとんど見あたらなかった。一方，ヒルガオ科（Convolvulaceae）の中の蔓性植物では欧米を中心にセイヨウヒルガオ

（*Convolvulus arvensis* L.），アメリカネナシカズラ（*Cuscuta pentagona* Engelm.）について繁殖様式および防除法に関する知見は多く集積されているが（Allen et al. 1997, DeGennaro et al. 1984a, DeGennaro et al. 1984b, Hanspeter et al. 1997, 茂木ら　1996, Neal et al. 2003, Paul et al. 1998，Sasa et al. 2003，竹松ら　1987），セイヨウヒルガオの繁殖様式は種子繁殖とcreeping rootによる栄養繁殖（伊藤ら　1999），アメリカネナシカズラについては全寄生植物で生活環が特異であるなど（Benvenuti et al. 2005），ヒルガオと繁殖様式が異なり，これらの知見をヒルガオの防除法の開発の参考にするには難しかった。そこで，本研究では飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオの根茎による栄養繁殖の解明を進めるとともに，畜産農家の飼料生産の実態から防除へのヒントを得ることとした。なお，ヒルガオは日本，中国，朝鮮の温帯，暖帯域に分布し，中国では古来より旋花という名称で全草を乾燥させたものが漢方の利尿薬として扱われており，成分であるケンフェノール配糖体の薬理に関する知見は多く集積されていた（Valery　2004）。

本研究では栄養繁殖器官である根茎の制御として飼料用トウモロコシ収穫後の秋耕に着目することに至ったが，理由は下記の３つである。第１にヒルガオの元来の生育地は宅地の周辺から道ばた，畦畔，空き地など非農耕地で耕起の行われないところであり，耕地の周囲や農道にはヒルガオを含めて極めて多くの多年生雑草が見いだされている事実である（笠原　1952，笠原　1985）。すなわち，非農耕地と農耕地の最も大きな違いを検討すると，施肥を行うか否かなども挙げられるが，土壌を定期的に攪乱するか否かという耕起作業の有無が最も大きな違いであることに着目した。第２に国内におけるヒルガオの発生は東北地域に多く，関東以西では少ないという情報による。両地域の飼料作物の生産体系を比較すると，東北地域の飼料作物生産は飼料用トウモロコシの１年１作の一方，関東以西では飼料用トウモロコシ＋イタリアンライグラスあるいは飼料麦などの作付体系が多く，必然的に関東以西に比べて東北地域では年間の耕起回数は少ないことである。逆にこの事実から東北地域では圃場の耕起回数が少ないために本草種の発生報告が多いと推察できた。第３は畜産農家が飼料作物を栽培する場合，普通畑や水田では行われることが多い秋耕がほとんど行われないことである。理由は飼料トウモロコシの収穫後の畜産農家は年間の最繁忙期である冬期用のサイレージの調整期間を迎えるため，収穫後の秋耕は蔑ろにされる為である。また，飼料用トウモロコシの秋の収穫後から翌年の春の雪解け迄残存するトウモロコシの株もとが秋耕を行わないことの証左として挙げられる（図版４）。以上の３点を理由に，飼料用トウモロコシ収穫後の秋耕によるヒルガオの根茎の制御を検討した。

本研究は秋耕によってヒルガオの根茎による栄養繁殖を制御し，防除に繋がったことを主旨とする。第１章ではわが国の草地生産の現状を紹介するとともに，昨今の飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオの発生の経緯と防除研究への方向性を示した。第２章ではヒルガオの発生実態と乾物生産特性について主に根茎の成長を解明することで把握し，本草種の生態的弱点を明らかにする手掛かりとした。第３章では秋耕および秋耕と慣行の除草剤を組み合わせたヒルガオの防除および除草剤の土壌処理剤と茎葉処理剤の組み合わせた体系処理による防除について記載し本論の骨子とした。第４章では耕作放棄地における地上部の多回刈りによる防除および転換畑において蔓延したヒルガオを転換畑が有する湛水機能によって防除するための知見を検討した。とくに第３章および第４章では飼料用トウモロコシの要雑草防除期間である５月中旬から６月中旬のヒルガオの生育の抑制に秋耕が影響することをヒルガオの根茎の動態から検討した。最後に，第５章では雑草防除における機械的防除の重要性を述べるとともに秋耕による東北地域の飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオ防除の試案を提示した。まだ研究を要すべき点もあるが，ここに研究成果をとりまとめて報告する次第である。

本論文を作成するにあたり，岡山大学大学院環境学研究科の沖陽子教授には，ご多忙中にも関わらず懇切なご指導とご校閲を賜った。また，同大学院環境学研究科の足立忠司教授，同大学農学部の津田誠教授，同大学院環境学研究科の中筋房夫科長には本研究をまとめるにあたり有益なご助言とご校閲を頂いたことに深く感謝する。

本研究は農林水産省東北農業試験場および農業生物系特定産業技術研究機構・東北農業研究センターにおいて行われた。研究内容へのご助言を東北農業研究センター畜産草地部梨木守室長から頂いた。研

究調査には東北農業研究センター畜産草地部魚住順室長，出口新研究員，畜産草地研究所放牧管理部的場和弘主任研究官に多大なるご協力を頂いた。なお，日本草地畜産種子協会飼料作物研究所の杉信賢一所長からは終始ご激励とご鞭撻を賜った。ここに各位に感謝する。

本研究の実施にあたり東北農業研究センターでは多くの方々にご協力を頂いたが，長年にわたり試験を円滑に進めることができたのは同研究センターの業務科諸氏の誠実なご協力によるところが大きい。とくに齊藤照雄氏，吉澤信行氏，廣田雅昭氏，長牛和子氏の各位に感謝する。また，本論文を書き上げるにあたり，現職の上司である近畿中国四国農業研究センター地域基盤研究部大谷一郎室長にはご理解を頂いたとともに，同研究部畦畔管理研究室清水玲子補助員には資料整理と校正を手伝って頂いたことに感謝する。

なお，小生は2003年，2004年の２年間，東北農業研究センターから農水省生産局畜産部飼料課および畜産振興課に企画官として出向する機会があった。本省での行政対応は今後のわが国の農林水産行政の基本的な方向性を知る機会となり，本論文の構成にもインパクトを与えた。最後になりましたが，当時の木村元治飼料課長（現，日本軽種馬登録協会専務理事），姫田尚草地整備推進室長（現，畜産振興課長），塩田忠畜産振興課長（現，東北農政局次長），原田英男草地整備推進室長（現，畜産企画課畜産環境対策室長），浅沼達也畜産振興課課長補佐，齊藤幸紀畜産振興課係長（現，家畜改良センター奥羽牧場飼料課係長），大門憲明畜産振興課係長をはじめとする行政官の皆様からわが国の最新の畜産行政について学ぶことができたことに心から感謝の意を表す。

II　ヒルガオの発生実態と乾物生産特性

1950年代の笠原の報告によると，日本の水田雑草は43科191種（笠原　1947a，笠原　1951b），畑雑草は53科302種に及び（笠原　1947b，笠原　1951a），そのうち水田雑草の約３分の１，畑雑草の約２分の１は多年生雑草である。防除法の確立については農耕地，非農耕地を問わず一年生雑草では化学的防除の普及によって1960年代中頃には大部分は解決された一方，多年生雑草では2005年の現在でも解決されたものは少ない。例えば，ヒルガオと同じく地下茎で繁茂するものではヒメカモジグサ，コヒルガオ，ジョンソングラス，ハマスゲ，ミズガヤツリ，クログワイ，ヒルムシロなどがあり，現在でも農耕地での防除は難しく研究が進められている（伊藤ら　1999，伊藤　2001，小笠原　1996）。多年生雑草の多くは，種子によっても繁殖し得るが茎や根による繁殖が主体である（Anderson　1999, Uva et al. 1997）。幸い，ヒルガオでは自家不和合性が発達しており飼料畑での種子繁殖は限られるため，本研究では栄養繁殖の制御にポイントを絞った。多年生雑草の地上部は普通１年で枯死するが，地下部は２年あるいはそれ以上存続し，それから年々新しい植物体が発生し，成長するものが多い。生育後期になって越年用の地下茎や根を形成するようになってからでは，防除は極めて困難となる（Triplett　1985）。また，地下茎などが盛んに横に拡がるものでは，ごく少数の地下茎が土中に残っていても，一夏の間に大面積に蔓延して，簡単には撲滅できないようになる（中川　1965）。したがって，これまでの多年生雑草の一般的な栄養繁殖の知見を考慮すると，ヒルガオの防除技術を確立するには，地下部の栄養繁殖器官である根茎の生態的弱点を明らかにすることが重要であると考えた。また，本草種のような栄養繁殖に大きく依存する植物では，成長や繁殖に密接に関係する形質は乾物重などではなく，根茎に形成される腋芽数，節数のような形態的な形質を測定することの重要性が提唱されている（河野ら　1992，Lovett et al. 1982，Porter 1983a，Porter 1983b，Watson 1984）。そこで，本研究では根茎の測定においては従来の測定項目である乾物重などに加え，根茎上の腋芽数を測定することとした。なお，ヒルガオの腋芽は鱗片葉が肉厚であるため根茎の形成後，直ちにその形状を認めることができた。

本章では本草種の生育盛期における生育範囲の拡大を伴う根茎の成長および秋期の地表面付近における根茎の枯死を東北農業試験場内で調査した。また，春期における新たなヒルガオの発生源となる根茎の大きさをヒルガオの蔓延が報告された岩手県葛巻町葛巻の飼料用トウモロコシ畑で調査した。

１．ヒルガオの発生実態

１）生育範囲の拡大

ヒルガオの地上部は蔓化するため，地上部が繁茂した場合は根茎からの萌芽による新たな地上茎は確認が難しいなど，これまでに観察による知見を除いて生育範囲の拡大に関わる報告はない。そこで本課

題では地上部および地下部の根茎の生育量を１年目の生育終了にあたる９月中旬，10月中旬，２年目の４月中旬から10月中旬までの生育量を２か月ごとに調査することで，圃場に蔓延したヒルガオの生育範囲の拡大を調査した。

（１）材料および方法

供試材料のヒルガオ根茎は1993年の９月に岩手県二戸郡一戸町の飼料用トウモロコシ畑から採取した１個体由来のものを増殖させ用いた。岩手県盛岡市にある農林水産省，東北農業試験場（現在，東北農業研究センター）の試験圃場，厚層多腐食質多湿黒ボク土壌，駒ヶ岳噴出起源の厨川統に（井上ら　1978，杉原ら　1979），化成肥料によりＮ，P_2O_5，K_2O＝15kg／10a，22.5kg／10a，15kg／10aを全量基肥とし全層施肥後，1996年４月15日，頂芽を切除した腋芽数８～12，乾物重で３～４g，長さ20cmの根茎を調査区（7m×7m）の中心，深さ５cmに植え付けた（図版５）。試験圃場の理化学性は表３に示す。調査区の配置は周辺効果と調査時の土壌等の攪乱の影響を防ぐため，各調査区間は３メートルとした。調査区の中心には地上部の巻き付きのための直径２cm，長さ３mの支柱を２本設置した。1996年には９月17日および10月15日に，1997年には４月15日，６月15日，８月15日および10月15日に地上部と地下部の調査を行った。調査は調査区を49の小調査区（１m×１m）の格子に分けて行った。地上部は株数と乾物重を測定した。地下部については表面の土壌をカーペットスプレーヤーで洗い出し根茎を採取し，根茎の腋芽数および乾物重を測定した。なお，株数は地上部の発生数として示した。調査区の反復はなし。なお，データをまとめるにあたり，植え付け位置から拡がりを示すため，調査区内の中心にあたる根茎を植え付けた小調査区をＡ，Ａに外接する８小調査区をＢ，Ｂに外接する16小調査区をＣおよびＣに外接する24小調査区をＤとした。

（２）結果および考察

ヒルガオの地上部および地下部における根茎の生育範囲の拡大と根茎への乾物分配率を表４に示した。ヒルガオは1996年９月15日，10月15日には小調査区Ｂまで拡がった。同時期の生育範囲は３㎡となり，地上部は発生数で30～40本，1,200～1,500ｇ，地下部の根茎は1,200～2,000ｇ，腋芽数は14,000～15,000個となった（図版６）。1997年４月15日迄には，地上部の発生はなかったが，枯死部のみで地上部は800g，根茎は1,300ｇ，腋芽数は6,000個となった。1997年４月28日には全ての調査区で地上部の発生が認められたが，1997年６月15日には小調査区Ｃまで拡がり，生育範囲は25㎡となり，地上部は発生数で460本，2,000ｇ，根茎は1,200ｇ，腋芽数は16,000個となった（図版７）。1997年８月15日には小調査区Ｄまで拡がり，生育範囲は49㎡となり，地上部は発生数で460本，5,800ｇ，根茎は3,500ｇ，腋芽数は55,000個となった（図版８，図版９）。1997年10月15日では生育範囲は49㎡，地上部は発生数で550本，4,500ｇ，根茎は2,700ｇ，腋芽数は18,000個となった。1996年９月15日においてはヒルガオの根茎は植え付け根茎を基部として樹状にすべて繋がっていたが，1997年４月15日には昨年の植え付け根茎に近いところは消滅し，新たな発生源として独立した根茎が樹状に配置されていた。したがって，1996年において発生したヒルガオは遺伝的に同一であると共に根茎によって結びついた同一個体として成長することでパッチを形成し，1997年は遺伝的には同一であるが，生理的，体制的には独立した発生個体が成長することでパッチを形成することが判明した。

本草種の面積あたりの地上部および根茎の生育の推移を示すと（表４），1996年，1997年とも，地上部の発生数は生育範囲に関わらず概ね20で推移し，乾物重は外側の小調査区で減少した。調査区Ａには支柱を設置したため，効率的な地上部の生産が可能

表３　東北農業試験場（盛岡市）における試験圃場の理化学性と物理的数値[1)]

理化学性（乾土100g当たり）										物理性[2)]	
pH		T-C	T-N	C/N	P_2O_5	塩基置換容量	置換性塩基			飽和透水係数	仮比重
H_2O	KCl	(%)	(%)		吸収係数	(me)	Ca(me)	Mg(me)	K(me)		
5.92	4.95	9.63	0.695	13.9	2430	41.3	10.3	0.77	0.25	1.06×10－4	0.76

注．1）杉原進・石井和夫・近藤熙　1979．畑地に対する牛ふん厩肥の連年多量施用．東北農業試験場研究報告　60，17－40より作成。
2）測定範囲は土壌深０～10cm。

表４　ヒルガオの地上部および根茎の生育範囲の拡大と根茎への乾物分配率

調査年月日	生育範囲[1]	地上部				根茎				根茎への乾物分配率[2]
		発生数		地上部重		根茎重		腋芽数		
		（本）	（本/m²）	（乾物g）	（乾物g/m²）	（乾物g）	（乾物g/m²）	（個）	（個/m²）	（%）
1996年９月15日	A	20	20	802	802	140	140	2,045	2,045	15
	B	12	2	693	87	1,049	131	12,624	1,578	60
	C									
	D									
	計	32		1,496		1,189		14,669		44
1996年10月15日	A	25	25	754	754	125	125	1,165	1,165	14
	B	13	2	423	53	1,828	229	12,989	1,624	81
	C									
	D									
	計	38		1,178		1,953		14,154		62
1997年４月15日	A			720	720	85	85	282	282	11
	B			46	6	1,251	156	5,579	697	96
	C									
	D									
	計			766		1,336		5,861		64
1997年６月15日	A	33	33	446	446	111	111	1,486	1,486	20
	B	220	28	1,095	137	919	115	12,079	1,510	46
	C	209	13	423	26	460	29	2,834	177	52
	D									
	計	462		1,964		1,490		16,399		
1997年８月15日	A	19	19	494	494	81	81	1,440	1,440	14
	B	153	19	1,929	241	914	114	13,848	1,731	32
	C	218	14	2,331	146	1,509	94	24,432	1,527	39
	D	71	3	1,033	43	999	42	15,233	635	49
	計	461		5,787		3,503		54,953		38
1997年10月15日	A	15	15	724	724	55	55	168	168	7
	B	201	25	1,322	165	614	77	2,340	293	32
	C	242	15	1,961	123	1,360	85	8,567	535	41
	D	102	4	513	21	711	30	6,793	283	58
	計	560		4,520		2,740		17,868		38

注．1）根茎を植え付けた小調査区（１m²）をＡ，Ａに外接する８調査区をＢ，Ｂに外接する16調査区をＣおよびＣに外接する24調査区をＤで示す。
2）根茎の乾物重を地上部の乾物重と根茎の乾物重の和で除して算出した。

となったことが考えられるが，外側は発生時期が遅いとともに，それまでに発生していたところに地上部が巻き付くため，外側の小区画で乾物重が減少したと考えられる。根茎の乾物重と腋芽数は，1996年10月15日および1997年４月15日では外側の小区画で大きく，1997年６月15日と1997年８月15日では生育範囲に関わらず乾物重は100g，腋芽数は1,500とほぼ均一に推移し，調査期間中で面積あたりの根茎の乾物重と腋芽数は最も多く安定した時期であった。なお，1997年10月15日には両者とも全生育範囲で著しく減少したが，土壌中における有害微生物の発生や土壌からの無機栄養供給力の低下が考えられる（Firbank et al. 1985）。なお，地上部も昨年の10月中旬に比べて枯死の進展が早かった。1996年，1997年とも，根茎への乾物分配率は調査日に関わらず，ＡからＤ方向へ外側での小調査区の値が大きく，ヒルガオは生育期間中常に光合成産物を高い割合で根茎の先端方向に分配し，外側に生育範囲を拡大することが明らになった。なお，林床植物の疑似一年草「pseudo-annual」と同様に（Rene et al. 1996），ヒ

ルガオの越冬した根茎の貯蔵養分は全て翌年の成長に利用されるため，同じ根茎が再越冬することはないと考えられているが（高木ら　1998），本試験においても根茎の再越冬は無かった。

２．ヒルガオの乾物生産特性

ヒルガオの器官別の乾物生産および冬期間における根茎の充実を調査するため，４月中旬から10月中旬のヒルガオの生育期間中の地上部と根茎の発達および10月中旬から翌年４月中旬までの冬期間における根茎の乾物率の推移等をポット試験によって調査した。秋耕による防除を考慮し，飼料用トウモロコシの収穫前後の９月中旬から12月中旬の地表面付近における根茎の枯死および当年の再生源となる４月中旬における越冬根茎の大きさを圃場調査した。

１）生育期間中の乾物生産

（１）材料および方法

供試材料のヒルガオ根茎は岩手県二戸郡一戸町の飼料用トウモロコシ畑に発生していた１個体由来のものを前年の秋季に採取し，黒ボク土壌に埋土し５℃にて冷蔵したものを用いた。試験は1994年４月中旬から10月中旬に行った。場内の黒ボク土壌を11kg充填した1/2000aの13リットル容ポットに化成肥料6-9-6を12.5ｇ混和し，10cmの根茎を４個，20cmの根茎を１個，計５個を深さ５cmに植え付けた。１ポットあたり新鮮重では10～13g，腋芽数では20～30個とした。根茎の植え付け量および根茎サイズはヒルガオの蔓延した飼料用トウモロコシ畑における根茎の現存量とその状態から算出した。なお供試根茎は側芽のみで構成されている根茎を用いた。１ポット毎に戸外の１立方メートル（1m×1m×1m）のコンクリート枠試験圃に埋設した。直径２cm，長さ３mの支柱をポットの両端に２本設置した。潅水は適宜行った。植え付け後から２か月毎に10月中旬まで計３回，器官別の生長量を調査した。とくに地下部はできるだけ根系のつながりを損ねないように採取し，根茎と根の乾物重を測定した。根茎は分枝毎に腋芽数を測定した。結果の整理に際して，根茎分枝を発生順位別に以下のように分類した。供試根茎の腋芽から生長した分枝を１次分枝とし，続いてｎ次分枝上の腋芽から生長した分枝をｎ＋１次分枝とした。地上部については根茎からの発生の様子，支柱への地上茎の巻き付きによる伸長および開花期間を調査した。試験は５反復で行った。

（２）結果および考察

①器官別乾物重の推移

萌芽は植え付け後15日で認められた。供試根茎の萌芽は斉一で，すべての根茎から萌芽が認められ，根茎の頂端部の１個の腋芽が地上茎に発達していた。供試根茎から地上部に至る部分で分枝しているところもあり，植え付け後20日で１ポットあたり６から７本の地上茎が認められた。試験期間中１次分枝以上の根茎では地上茎に発達した腋芽は観察されなかった。植え付け後35日頃から支柱への巻き付きが開始した。支柱に巻き付くことによる地上部の旺盛な生長は植え付け後35日頃から75日頃まで認められた。２本の支柱に巻き付いた地際から先端部までの高さの平均値は植え付け後75日，180日で，順に63cm，85cmに達した。植え付け後75日から155日頃まで開花が認められた。開花に伴い各個体の葉色の低下が観察された。

ヒルガオの生育の様子を器官別乾物重と腋芽数の推移として表５に示した。ヒルガオの地上部の生存部は植え付け後４か月頃最も大きい乾物重を示した。同時期から下葉から枯れ上がりが観察され，試験終了時の10月中旬では地上部の生存部と枯死部は

表５　ヒルガオの生育に伴う器官別乾物重と腋芽数の推移[1)]

調査月日	地上部		地下部			
			根茎			根
	生存部（乾物ｇ/ポット）	枯死部（乾物ｇ/ポット）	根茎重（乾物ｇ/ポット）	腋芽数（個/ポット）	腋芽重[2)]（乾物g/個）	（乾物ｇ/ポット）
4月15日	0.0±0.0	0.0±0.0	3.3±0.0	21±　2	0.16±0.0	0.0±0.0
6月15日	24.5±1.6	0.0±0.0	13.3±0.3	143±　10	0.09±0.0	10.4±0.0
8月15日	43.5±6.6	2.0±0.3	80.9±2.2	1,053±　43	0.08±0.0	12.3±0.0
10月15日	29.6±4.2	27.4±5.4	153.9±9.5	2,312±179	0.07±0.0	13.1±0.0

注．1）1994年に試験を実施した。数値は５ポットの平均値と標準誤差を示す。
　　2）腋芽重は根茎重を腋芽数で除して算出した。

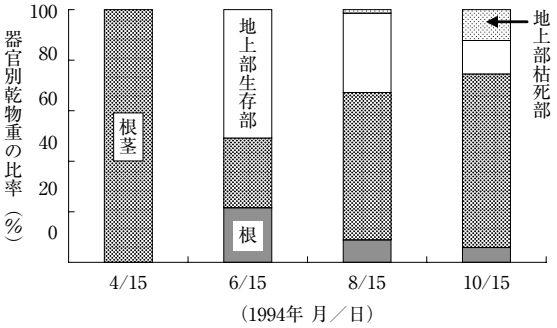

図1　ヒルガオの生育に伴う器官別乾物重の比率の推移

表6　ヒルガオの生育に伴う根茎の発生順位別本数[1)]

発生順位	発生数（本/ポット）		
	4月15日	6月15日	8月15日
供試根茎	5 ± 0.0 (100)	5 ± 0.0 (17)	5 ± 0.0 (4)
1 次分枝		18 ± 1.3 (60)	23 ± 1.4 (19)
2 次分枝		7 ± 1.3 (23)	67 ± 9.7 (57)
3 次分枝			19 ± 3.8 (16)
4 次分枝			4 ± 1.3 (3)
総計	5 (100)	30 (100)	118 (100)

注．1）1994年に試験を実施した。数値は 5 ポットの平均値 ± 標準誤差を示す。括弧内の数字は総本数に占める各分枝の比率。

ほぼ同量となった。根茎重は植え付け後 2 か月頃から10月中旬まで著しい増加が認められた。根茎の生長とともに腋芽数も植え付け後 2 か月頃から急激に増加が認められ，試験期間終了時の10月中旬にポットあたり2,312個形成された。腋芽の充実度を示すと考えられる腋芽重では植え付け後 2 か月で低下した後，10月中旬までほぼ一定の数値で推移した。根は植え付け後 2 か月間発達が認められたがその後は変化しなかった。器官別の乾物重の比率を図 1 に示した。地上部の比率は植え付け後 2 か月頃では50%を示し最も大きかった。根茎の比率は植え付け後 2 か月頃から増加し，試験終了時には70%を示した。根の比率は植え付け後 2 か月頃にもっとも大きく，その後減少した。本試験においてヒルガオの地上部の旺盛な生育は植え付け後 2 か月間であり，6 月下旬頃から 8 月中旬頃に地上部の旺盛な生育は終了することが明らかになった。地下部の栄養繁殖器官である根茎の旺盛な生育は 6 月下旬頃から試験終了時の10月中旬まで行われた。8 月中旬には地上部の枯死部が認められたことから，6 月中旬以降地上部の光合成産物が高い割合で地下部の根茎に分配されていることが推察できた。

慣行の飼料用トウモロコシ畑における効率的なヒルガオ防除が行える期間について本草種の乾物生産特性と飼料用トウモロコシの生育および除草用機械の効率から考察した。飼料用トウモロコシの節間伸長は草丈50cm，有効積算気温では約260℃に達してから開始する。本試験を行った盛岡市で飼料用トウモロコシを慣行栽培した場合，節間伸長が始まる時期は 6 月下旬頃に相当する（伏見ら　1994，萩野ら 1984）。6 月下旬以降は飼料用トウモロコシの草丈が高くなるため除草機械は利用できない。したがって本草種の上述した乾物生産特性と除草用の機械作業の効率から 4 月中旬から 6 月下旬までに地上部と根茎の生育を抑制する防除技術の確立が必要であると考える。この点は当年度のヒルガオの地下部における根茎の生長と地上部での飼料用トウモロコシへの雑草害を防止する上で必要であると考える。

②根茎の生長

ヒルガオの分布域拡大に関わる根茎の拡がりのパターンには規則性が認められず，水平方向と垂直方向の両方向に分布を拡大していることが報告されている（伊藤ら　1999，樫野ら　1995）。

本試験では 4 月中旬から10月中旬における 1 シーズンの根茎の生長を根茎分枝の発生順位別本数と乾物重および腋芽数の推移から調査した。10月中旬の調査では根茎のつながりを損ねずに採取することができなかった為，6 月中旬と 8 月中旬の根茎の生長の結果を示した。根茎分枝の発生順位別本数を表 6 に示した。6 月中旬では 1 次分枝は総分枝数の中で60%を占めた。1 次分枝の発生本数は 6 月中旬と 8 月中旬に大きな差は認められなかった。供試根茎からの 1 次分枝の発生は地上部への萌芽とほぼ同時に開始され 6 月中旬頃には終了することが推察できた。8 月中旬では 6 月中旬頃に発生した 2 次分枝が大きい割合を占めた。8 月中旬には 4 次分枝の発生が認められた。

根茎分枝ごとの生育を乾物重と腋芽数の推移として表 7 に示した。6 月中旬では 1 次分枝の根茎の総乾物重に占める割合は47%を示したが，総腋芽数に占める 1 次分枝の腋芽数割合は76%を示した。8 月中旬の根茎の生育では 1 次分枝と 2 次分枝が乾物重と腋芽数ともに大きい割合を占めていた。試験終了時の10月中旬には 6 次分枝まで根茎の発生が観察さ

表７　ヒルガオの生育に伴う根茎分枝の成長[1)]

発生順位	根茎重（乾物g/ポット）			腋芽数（個/ポット）		
	4月15日	6月15日	8月15日	4月15日	6月15日	8月15日
供試根茎	3.9±0.2 (100)	6.5±0.1 (49)	3.7±0.2 (5)	24±2.0 (100)	11±1.7 (8)	17± 3.6 (2)
1次分枝		6.3±0.3 (47)	37.6±3.8 (53)		99±9.2 (76)	357±24.2 (40)
2次分枝		0.5±0.0 (4)	26.8±3.6 (37)		21±5.2 (16)	433±67.9 (48)
3次分枝			3.2±1.6 (4)			78±18.1 (9)
4次分枝			0.3±0.1 (－)			8± 2.9 (1)
総計	3.9 (100)	13.3 (100)	71.6 (100)	24 (100)	131 (100)	893 (100)

注．1）1994年に試験を実施した。数値は５ポットの平均値±標準誤差を示す。括弧内の数字は総重と総腋芽数に占める発生順位別分枝の比率。

れた。同時期の供試根茎では内容物はほとんど観察されず硬化した皮層のみが観察された。

刈取りや耕起などの予測できない人為的攪乱の多く作用する農耕地などの環境に適応するため，ヒルガオやコヒルガオ（高木ら　1998），ヨモギ（北岡ら　1984）などでは栄養繁殖器官である根茎を生育初期から伸長させることが知られていたが，本試験ではヒルガオの根茎は分枝の発生順位によって発生本数と乾物重および腋芽数の推移に差があるため，発生の時期や位置によって生活史における根茎としての機能が異なるとともに，根茎上の腋芽も分枝の発生順位や分枝中の形成位置によって萌芽力などに差があることが推察された。すでにヒルガオの蔓延した圃場では地中の根茎の埋蔵量を減らすことが肝要で，とくに根茎の生長に関する生理生態的な機構を解明することが必要であると考える。

２）秋期における地表面付近の根茎の枯死

（１）材料および方法

供試圃場1.5a（30m×５m）は，東北農業研究センター（盛岡市）の試験圃場内に2002年５月26日にヒルガオ根茎（150 Fwg/㎡）をロータリーで攪乱散布し造成した。同年９月15日，10月１日，10月15日，11月１日，11月15日，12月１日および12月15日にヒルガオを５個体ずつ地下部の根茎を含め採取した。採取個体は地上部および地表面から15cm以内の根茎に分けた。地上部の全炭素含有率，全窒素含有率をＣＮコーダー（ヤナコ社ＭＴ－600型）で，根茎の貯蔵性炭水化物含有率をフェノール硫酸法でそれぞれ測定した（田村　1980, Yamamoto et al. 1985）。なお，飼料用トウモロコシ（品種36B08　RM 106）を供試圃場の造成時にヒルガオの支柱として播種した。施肥は慣行に準じＮ，K_2Oを各15kg／10a，P_2O_5を22.5kg／10aとしたが，除草剤は一年生イネ科対象のアラクロール剤のみを処理した。飼料用トウモロコシの生育は，発芽日は６月５日，絹糸抽出日は８月４日，収穫適期の黄熟期は９月22日と平年並みで，2002年の作物栽培期間中の気候の推移についても平年並みと考えられた。なお，2002年９月15日から2002年11月14日の気温および地温について日別最低温度，日別平均温度および日別最高温度を算出した。気温データはアメダスデータの観測地点，盛岡から算出した。地温データは２チャンネル温度カードロガー（MR5320 CHINO）を用いて10cm深および30cm深の地温を１時間毎に測定記録し算出した。

（２）結果および考察

ヒルガオの地上部は９月15日に枯死が若干認められ，11月15日にはすべて枯死した。地上部の全炭素含有率は10月15日から12月15日まで増加し，全窒素含有率は９月15日から11月１日まで減少した（図２）。一方，地表面から15cm以内の根茎の貯蔵性炭水化物含有率は９月15日から11月１日まで減少し，それ以降は12月15日までの各調査日でほとんど検出できなかった（図３）。日別最低温度は調査期間中，

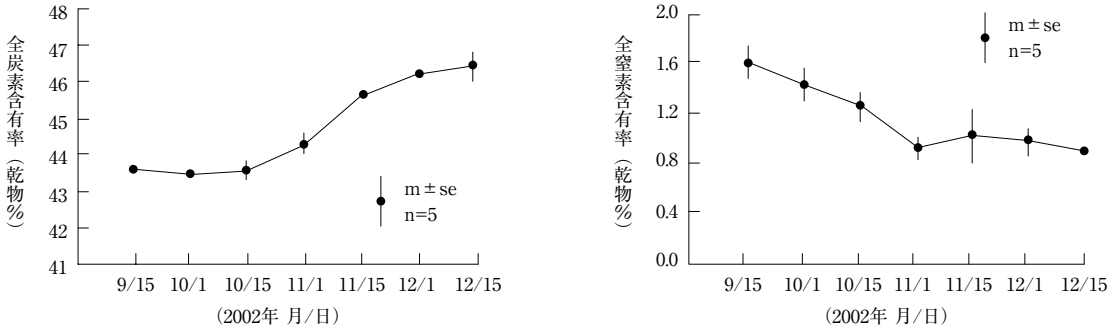

図２　飼料用トウモロコシ収穫期前後におけるヒルガオ地上部の枯死に伴う全炭素および全窒素含有率の推移

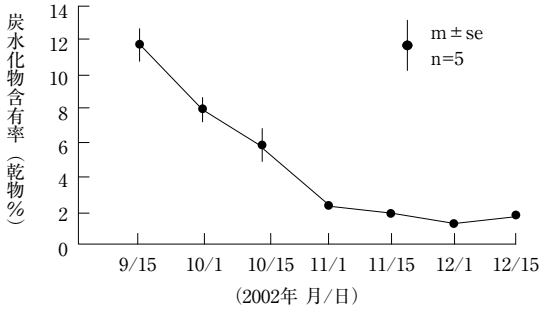

図３　飼料用トウモロコシの収穫期前後における地表面から15cm以内におけるヒルガオ根茎の貯蔵性炭水化物含有率の推移

気温が最も低く地温は深度が大きいほど高く，９月中旬の気温は10℃，30cm深の地温は20℃，10月中旬の気温は８℃，30cm深の地温は18℃，11月中旬の気温は０℃，30cm深の地温は10℃が示された（図４）。なお，11月中旬で日別平均温度は気温で５℃，地温は深度が大きいほど高く，30cm深では８℃，日別最高温度は気温で７℃，地温は深度に関わらず７℃前後であった（図４）。

本試験の結果，９月中旬から11月上旬に地上部では枯死が進む一方，同期間に地表面から近い15cm以内の地下部では根茎の貯蔵性炭水化物が減少し，根茎が消失することが明らかになった。なお，これまでにポット試験で秋冬期に生じる根茎の枯死に伴う基部から頂部への貯蔵性炭水化物の移動が観察されているとともに（高木ら　1998），塊茎を形成するオモダカ，クログワイ，ミズガヤツリ，ショクヨウガヤツリなどと類似して冬にかけて次年度の発生源となるヒルガオ根茎の先端部が肥大することが報告されている（Ito et al. 2005）。また，コヒルガオとの比較ではあるが，ヒルガオでは根茎は部位ごとに機能分化が進み，先端部は栄養繁殖器官として，それ以外の発生基部に近いところなどは連絡器官としての役割が大きいことが指摘されている（Ito et al. 2005）。本試験では９月中旬から11月中旬に当年の栄養繁殖器官の役割が大きい先端部へ，連絡器官の役割が大きい根茎基部に近い部位から貯蔵性炭水化物が移動することが伺われた。なお，ヒルガオでは連絡器官の役割が大きい部位は地表面付近に存在する一方，次年度の発生源となる新しい根茎は15cmより深い位置で充実し形成されると推察できた。農業上，秋耕に根茎の切断効果を期待する場合は，耕起の深度を考慮してトウモロコシ収穫後迅速に耕起することが必要と考えられた。また，11月上旬においても根茎の存在する範囲には日々の最低温度として５～10℃が示され，温帯系の植物細胞の代謝活性に必要な５℃以上の温度が示されたことから（古谷　1982），本試験で観察された９月中旬から11月上旬の根茎の炭水化物の減少は正常な生理現象のひとつと考える。

３）冬期における根茎の充実

（１）材料および方法

1997年４月15日に東北農業試験場・（盛岡市）場内の黒ボク土壌に複合肥料（6-9-6）を12.5ｇ混和した後，口径25cm，面積1/2000aで容積13リットルのポリ製ポットに11kg充填した。続いて，ヒルガオを10cmの根茎で４個，20cmの根茎で１個，計５個，ポットあたり腋芽数では18～25個，新鮮重で18～23gを深さ５cmに植え付けた。供試ポットは圃場に埋設し，潅水は適宜行った。また，蔓の巻き付き用の支柱（直径２cm，長さ３m）をポットの両端に２本備えた。1997年10月15日，1998年１月15日，４

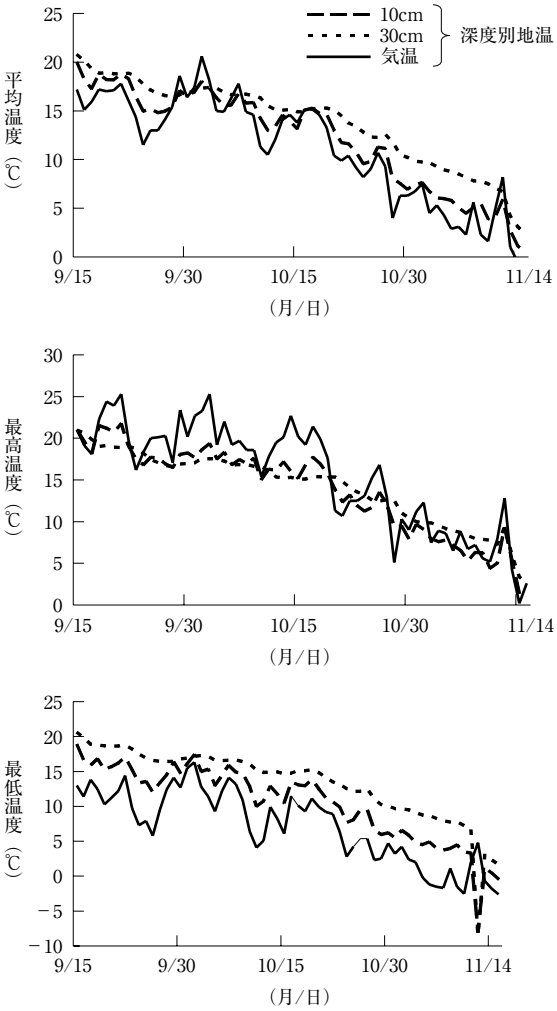

図４　飼料用トウモロコシ収穫後の地温および気温の推移
（東北農業研究センター圃場，2002年９月15日から同年11月14日）

月15日に地下部は掘りあげ水洗した後，根茎の乾物重，腋芽数および乾物率を調査した。試験は５反復で行った。

（２）結果および考察

10月中旬から１月中旬には根茎の腋芽数は著しく減少し，乾物重も減少傾向の一方，腋芽重および根茎の乾物率は１月中旬，４月中旬と増加の傾向があった（表８）。これまでにヒルガオの根茎は冬期に基部から先端へと枯死が進み，根茎の先端部分のみが越冬することが報告されていたが（高木ら　1998），本試験ではヒルガオの根茎の乾物重と腋芽数の推移から枯死の進展は１月中旬には終了し，この時期には越冬根茎としてほぼ一定の重量，腋芽数になることが明らかになった。なお，腋芽の充実度を示すと

表８　冬期間におけるヒルガオ根茎の乾物重、腋芽数および乾物率の推移[1)]

調査月日	根茎重（乾物g/ポット）	腋芽数（個/ポット）	腋芽重[2)]（乾物g/個）	乾物率（%）
10月15日	94.2 ± 25.9	1,815 ± 320	0.05 ± 0.09	26.0 ± 1.1
1月15日	48.6 ± 17.4	538 ± 109	0.08 ± 0.02	29.8 ± 2.9
4月15日	53.8 ± 14.5	461 ± 92	0.10 ± 0.04	32.5 ± 1.7

注．1）1997年10月15日から1998年４月15日に調査を実施した。数値は５ポットの平均値と標準誤差を示す。
2）腋芽重は根茎重を腋芽数で除して算出した。

考えられる腋芽重では10月中旬から増加し４月中旬には10月中旬の２倍を示した。本試験地ではヒルガオの地上部は８月中旬から枯死が認められ，10月中旬頃には全地上部が枯死する。根茎と地上茎は同じ中心柱と維管束構造を持つため，根茎の枯死は地上茎の枯死から連続的に進行し，１月中旬には次年の発生源の根茎として安定すると考えられる。なお，８月中旬からの地上部の枯死は地際から茎頂部に向かって進むように観察されるが，葉や茎の老化に伴う積極的な地上部から地下部への養分の転流があるかどうかは判らない。しかし，10月中旬以降の地際付近のヒルガオの根茎の枯死は内容物の貯蔵性炭水化物の減少を伴っている。したがって，ヒルガオにおいてもセイタカアワダチソウ，ヨモギで報告されたように（榎本ら　1977，北岡ら　1984），晩秋に地上部から地下部に物質を転流することが考えられる。また，10月中旬から４月中旬の地上部のない期間に腋芽重の増加が続いたが，次年の４月中旬からの地上部の発生に備えた腋芽の充実と考える。なお，ヒルガオでは根から根茎への養分の移動については，本草種では10月中旬には根の器官別乾物重の比率は３％程度であり（図１），移動があったとしても僅かしか考えられず，腋芽の充実ほとんどが越冬期間中の根茎の中での代謝によると考える。

４）春期における越冬根茎の大きさ

（１）材料および方法

調査圃場は岩手県葛巻町葛巻の飼料用トウモロコシ畑1.5ha（南北150m，東西100m）で，所有する酪農家は経産牛頭数50頭規模の国内の中山間地域に平均的な規模の酪農家であり，飼料用トウモロコシを５月中旬に播種し９月中旬に収穫していた。雑草管理は国内の慣行栽培と同じく播種後のアトラジン・メトラクロール剤の土壌処理を行っていた。とくに，中耕や秋耕および茎葉処理は行われていなか

った。1997年には圃場内の至るところでヒルガオが蔓延していたが，所有者によると1994年には圃場の一部に散見され侵入が認められていた。1998年５月12日に，調査圃場を耕起方向に沿った南北に横切る直線150ｍ上に10ｍごとに計15のサンプリング地点を設け，各地点から半径約１ｍ内に発生していたヒルガオについて１地点につき１～６，合計31の根茎を採取した。採取した根茎の乾物重，腋芽数，根茎長の頻度分布を示した。なお，損なわずに採取できた主軸部分の乾物重，腋芽数および根茎長の頻度分布も示した。

（２）結果および考察

根茎の分布の深さは地際から20cm程度であった。採取した全根茎の各測定項目の頻度分布を図５に示した。採取した根茎の乾物重は5.0ｇ，腋芽数は30，根茎長は81cmであった。上記採取の根茎の主軸部分の各測定項目の頻度分布を図６に示した。根茎の主軸部分で乾物重は2.7ｇ，腋芽数は15，根茎長は50cmであった。採取された全ての根茎の基部は枯死していた。根茎の先端は地上部になっているか，地上部へ伸長している状態として観察できた。なお，根茎の先端は全体の２割ほどに壊死が見受けられたが採取時の破損によるものが多いと考えられた。

ヒルガオは林床植物の疑似一年草「pseudo-annual」と同様に，越冬した根茎の貯蔵養分は全て翌年の成長に利用されるため，同じ根茎が再越冬することはないと考えられている。したがって，越冬根茎には生育地の土壌条件，気候条件などに適した大きさがあるものと考えられる。しかし，同一圃場の場合においても気候条件と栽培条件によって越冬根茎の大

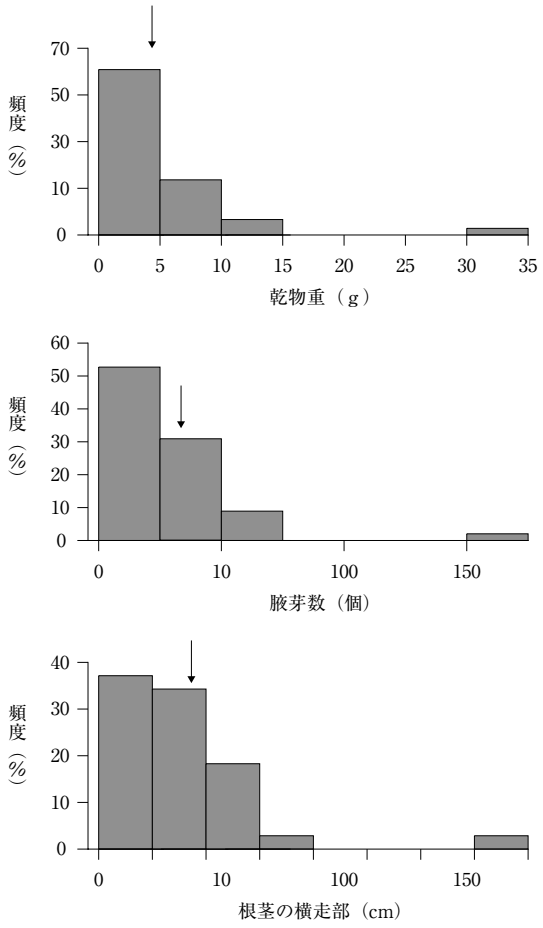

図５　ヒルガオの越冬根茎の乾物重（上段），腋芽数（中断）および横走部の長さ（下段）の頻度分布

注．矢印は平均値を示す。
1998年５月12日，岩手県葛巻町葛巻の飼料用トウモロコシ畑において調査した。

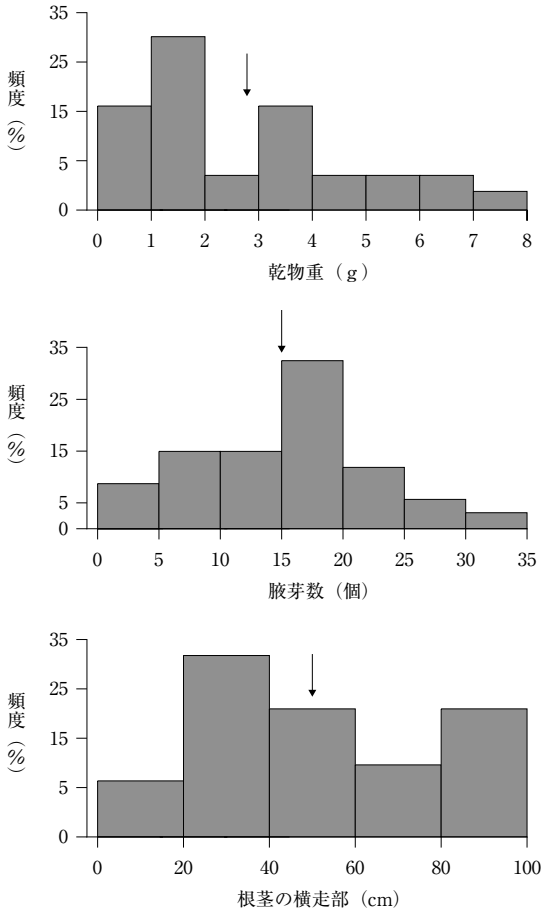

図６　ヒルガオの越冬根茎のうち主軸部分の乾物重（上段），腋芽数（中断）および横走部の長さ（下段）の頻度分布

注．矢印は平均値を示す。図５の注を参照。

きさは年次変動が生じると考えるが，本圃場における1997年の越冬根茎では乾物重は4.0ｇ，腋芽数は25，根茎長は70cmが各測定項目の平均値として示され，1998年の調査結果と大きな差はなく，両年の結果は本生育地に適した越冬根茎の大きさとして妥当であると考えられた。

さて，本章ではヒルガオの根茎による飼料用トウモロコシ畑における栄養繁殖の一端を明らかにしたが，ここでは住宅地の植え込みに蔓延する本草種を例にヒルガオの種子繁殖を紹介するとともに（清水ら　2001），種子繁殖に起因するヒルガオの防除上の問題を考える。一般に，ヒルガオは公園や道路などの植栽木や柵に絡みついているのがよく観察される。これらの個体は造園業者の助けを借りて根茎あるいは種子として移動してきたと考えられる。植木や庭木の根部に付着していたヒルガオの根茎や種子は，業者を介した収集と全国への植栽を通して由来の異なる個体が接近する機会を得，自家不和合性の解除から種子繁殖が可能になり遺伝的変異を保持していると考えられる。実際に，造園業者や植木生産農家の圃場では，ヒルガオが繁茂し種子を結実させている状況が見受けられる一方，公園や道路などの植栽木や柵に絡みついているヒルガオや本研究で対象とした飼料用トウモロコシ畑では同一クローンで構成されることが多いため種子を見つけることは難しい。上記のような人為の介在あるいは本来の自然条件下においてヒルガオは種子繁殖を通じて個体差を生じる。その個体差は地上部だけでなく地下部の根茎にも生じ，クログワイの塊茎で示されたような生産性などに関わる変異が（小林　1984），ヒルガオの根茎でも認められると推察される。地域レベルを完全に考慮した防除のためには地域ごとのヒルガオの生産性に関するクローン間変異を調査する必要があると考えられる一方，本論の第３章で示すように機械的防除で比較的容易にヒルガオの生活環は断ち切れる訳で，飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオ防除の場合に，種子繁殖による本草種の個体差は考慮しなかった。

３．摘　　要

① 飼料用トウモロコシ畑に蔓延したヒルガオを防除する目的で，ヒルガオの栄養繁殖器官である根茎の乾物生産を主に調査した。

② ヒルガオは１年目では遺伝的に同一であると共に根茎によって結びついた同一個体として成長しパッチを形成するが，２年目では株基部の枯死により遺伝的には同一であるが，生理的，体制的には独立した個体として成長し，パッチを形成することが判明した。

③ ヒルガオは１年目，２年目ともに４月中旬から10月中旬の生育期間中，常に光合成産物を高い割合で根茎の先端方向に分配し，外側に生育範囲を拡大することが明らかになった。

④ ヒルガオの地上部の旺盛な生育は植え付け後２か月間であり，６月下旬頃から８月中旬頃に地上部の旺盛な生育は終了した。

⑤ 根茎の器官別乾物重の比率は植え付け後２か月頃の６月中旬から増加し，試験終了時には70％を示した。地下部栄養繁殖器官の根茎の旺盛な生育は６月下旬頃から試験終了時の10月中旬まで行われた。

⑥ ９月中旬から11月上旬までに地表面から15cm以内の根茎の貯蔵性炭水化物含有率は減少し，それ以降は12月中旬までの各調査日でほとんど検出できなかった。11月上，中旬になると秋耕を行う耕深の範囲に根茎が少ないことが明らかになった。

⑦ 10月中旬から１月中旬迄に根茎の乾物重と腋芽数は減少し，翌年の発生に関わる越冬根茎の乾物重と腋芽数は１月中旬にはほぼ一定になることが明らかになった。なお，腋芽重では10月中旬から増加し４月中旬には10月中旬の２倍を示し，根茎の乾物率も同期間中に増大した。

⑧ ヒルガオの蔓延した飼料用トウモロコシ畑で越冬根茎を５月中旬に採種したところ根茎の主軸部分について乾物重は2.7ｇ，腋芽数は15，根茎長は50cmを各測定項目で平均値として示した。

Ⅲ　飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオの防除

飼料用トウモロコシ，ソルガムなどの長大型飼料作物畑では除草剤を利用した化学的防除法が一般にとられる。通常は播種期あるいは生育期の一回処理であり，薬効が発揮されれば極めて省力的な方法である（草薙ら　1994）。しかし，飼料用トウモロコシ栽培で使用できる除草剤は多くはなく（表９），ヒルガオに対しては慣行の播種期の土壌処理はほとんど効果がない。本章では従来の慣行のアトラジン＋メトラクロール剤の土壌処理にトウモロコシ播

表９　飼料用トウモロコシの登録除草剤一覧[1)]

一般名	商品名またはコード名	対象草種	処理方法
アトラジン	ゲサプリム	畑地１年生雑草	土壌処理
リニュロン	ロロックス	畑地１年生雑草	土壌処理
ペンディメタリン	ゴーゴーサン	畑地１年生雑草	土壌処理
プロメトリン	ゲサガード	畑地１年生雑草	土壌処理
CAT	シマジン	畑地１年生雑草	土壌処理
アイオキシル	アクチノール	畑地１年生広葉雑草	茎葉処理
アラクロール	ラッソー	畑地１年生雑草	土壌処理
ベンタゾン	バサグラン	畑地１年生雑草（イネ科除く）	茎葉処理
メトラクロール	デュアール	畑地１年生雑草	土壌処理
アトラジン・メトラクロール	ゲザノンフルアブル	畑地１年生雑草	土壌処理
プロメトリン・メトラクロール	コダール	畑地１年生雑草	土壌処理
ニコスルフロン	ワンホープ	畑地１年生雑草	茎葉処理
ハロスルフロンメチル	シャドー水和剤	イチビ、ショクヨウガヤツリ	茎葉処理
フルチアセットメチル	ベルベカット乳剤	イチビ	茎葉処理
ブロスルフロン	CG205	イチビ	茎葉処理

注．1）米山伸吾．2004．農薬便覧第10版．農文協および悴田勇也．1998．飼料畑等における強害外来雑草被害防止と緊急対策技術の確立．群馬県畜産試験より作成した。

種前年の秋耕と栽培期間中の中耕を組み合わせることを検討した。さらに，連年秋耕を行いヒルガオに対する機械的防除の有効性を検討した。また，化学的防除としては前年に秋耕を行った上で除草剤の土壌処理と茎葉処理の体系化によるヒルガオ防除を飼料用トウモロコシの栽培条件下で検討した。

１．ヒルガオの機械的防除

１）秋耕および中耕による防除

飼料用トウモロコシの１年１作地域でヒルガオが蔓延した場合，農家が新たな投資を行うことなくヒルガオを防除できることを念頭に，慣行の栽培体系を変更することなく，慣行のアトラジン＋メトラクロール剤の土壌処理にトウモロコシ播種前年の秋耕と栽培期間中の中耕を組み合わせることを検討した。本研究では秋耕によって翌年の発生時におけるヒルガオの発生数は増加するが，個体サイズが小さくなり，飼料用トウモロコシの要雑草防除期間のヒルガオの生育が抑制されることで防除に繋がることが判明した。

（１）材料および方法

供試圃場は岩手県一戸町の飼料畑から採取した１個体由来のヒルガオが蔓延した東北農業研究センター内（盛岡市）の試験圃場であり，2003年10月15日から本試験を実施した。秋耕はロータリー耕により耕深10cmで行い，処理時期はトウモロコシ収穫後１か月の2003年10月15日と初雪日前の同年11月15日，回数については通常の１回および２回とした。

表10　処理区名の一覧

処理区名	秋耕処理[1)]	中耕[2)]
無耕耘区（秋耕なし）・中耕あり	無耕耘区	中耕あり
無耕耘区（秋耕なし）・中耕なし	（秋耕なし）	中耕なし
10月１回耕耘区・中耕あり	10月１回耕耘区	中耕あり
10月１回耕耘区・中耕なし		中耕なし
11月１回耕耘区・中耕あり	11月１回耕耘区	中耕あり
11月１回耕耘区・中耕なし		中耕なし
10月２回耕耘区・中耕あり	10月２回耕耘区	中耕あり
10月２回耕耘区・中耕なし		中耕なし
10月11月２回耕耘区・中耕あり	10月11月２回	中耕あり
10月11月２回耕耘区・中耕なし	耕耘区	中耕なし
完全除草区（秋耕なし）・中耕あり	完全除草区	中耕あり
完全除草区（秋耕なし）・中耕なし	（秋耕なし）	中耕なし

注．1）秋耕は飼料用トウモロコシ播種前年の2003年10月15日と同年11月15日に実施した。腋芽重は根茎重を腋芽数で除して算出した。
2）中耕は飼料用トウモロコシ栽培期間中の2004年６月15日に実施した。

１回耕耘は2003年10月15日（10月１回耕耘区），11月15日（11月１回耕耘区），２回耕耘は10月15日の同日２回の耕耘（10月２回耕耘区）および10月15日，11月15日に各１回の耕耘（10月11月２回耕耘区）とした。対照区は秋耕を行わない無処理区（無耕耘区（秋耕なし））とヒルガオの発生のないトウモロコシのみの完全除草区（完全除草区（秋耕なし））を設けた（表10）。飼料用トウモロコシの栽培期間中の2004年６月15日に中耕の有無を設け上述の計６処理

区の秋耕に組み合わせた（表10）。中耕は耕耘機を用いて条間をロータリー耕，耕深10cmで行った。処理面積は全処理区で長幅4.5m（飼料用トウモロコシの畦間75cmで６条に相当），短幅3.0m（株間16cmでトウモロコシ18～19本に相当）の13.5平方メートルとなった。なお，秋耕の処理前後のヒルガオの様子は９月下旬には地上部の枯死が認められ，１回目の秋耕を行った10月15日には全て枯死していた。一方，地下部では10月中旬には根茎は１平方メートルあたり腋芽数で690～850個，乾物重で30～45g程度があった。2004年４月30日には完全除草区（秋耕なし）を除く全区でヒルガオの発生が見られた。2004年５月18日にN，P_2O_5，K_2Oを各15kg／10a，22.5kg／10a，15kg／10a相当量を全量基肥とし全層施用した後，飼料用トウモロコシの早生品種36B08（RM106）を，条間75cm，株間16cmで播種した。除草剤はアトラジン＋メトラクロール剤を規定量の上限にあたる有効成分量６＋10g a.i. a^{-2}を播種直後に対照区を含む全処理区に散布した。

飼料用トウモロコシの播種前の５月14日および要雑草防除期間（野口　1983）の終わりで中耕の機械作業の限界（萩野ら　1984）にあたる６月14日にヒルガオの地上部については発生数，草高および乾物重を測定し，地下部については調査区内の代表的な５個体について根茎を含めて採取し個体あたりの根茎の乾物重および根茎の貯蔵性炭水化物をＴＮＣ含有率（ＴＮＣ，Total Nonstructural Carbohydrate）として測定した（田村　1980，Yamamoto et al. 1985）。調査区は全処理区で１平方メートル，調査区数を５とした。なお，６月14日には無耕耘区（秋耕なし）でトウモロコシにヒルガオの巻き付きが認められたが，巻き付いたヒルガオについては後述のヒルガオの巻き付き調査の対象とし，上記調査では巻き付いていない個体を調査対象とした。ヒルガオのトウモロコシへの巻き付き調査は中耕前の６月14日と飼料用トウモロコシの収穫適期にあたる９月14日に，全処理区について中央２条のうち両端の１～２本を除いたトウモロコシ30本を対象に巻き付いたヒルガオの本数と草高およびトウモロコシの草高を測定した。さらに収穫日には全処理区において中央４条のうち両端を１～２本を除いた各条を１調査区として調査区数４でヒルガオの地上部の新鮮重とトウモロコシの乾物重を測定した。

（２）結果および考察

①　飼料用トウモロコシの要防除期間中のヒルガオの生育抑制

飼料用トウモロコシ播種前の５月14日におけるヒルガオの地上部の発生数，面積あたり地上部重，個体あたり地上部重，草高および個体あたり根茎重と根茎のＴＮＣ含有率を表11に示した。トウモロコシ播種前の５月中旬のヒルガオの発生数は秋耕によって増加し，とくに10月１回耕耘区と10月２回耕耘区で増加が著しかった。面積あたりの地上部重について本試験では10月２回耕耘区で増加，11月１回耕耘区で減少した。個体あたりの地上部重は秋耕によって減少し，処理間には有意差は認められなかった。草高については秋耕を行った場合は平均値で３～５cmで無耕耘区（秋耕なし）の７cmに比べて小さくなった。なお，無耕耘区（秋耕なし）を含めた全処理区でヒルガオの蔓化は認められなかった。根茎片の大きさを示す個体あたりの根茎重は10月11月２回耕耘区で最も小さくなった。根茎のＴＮＣ含有率は

表11　前年の秋耕が飼料用トウモロコシ播種前のヒルガオの生育に及ぼす影響[1)]

秋耕処理	地上部				根茎	
	発生数 (本/m²)	面積あたり地上部重 (乾物ｇ/m²)	個体あたり地上部重[2)] (乾物ｇ/個)	草高[3)] (cm)	個体あたり根茎重 (乾物ｇ/個)	TNC含有率 (乾物%)
無耕耘区（秋耕なし）	37 a[4)]	3.4 bc	0.09 b	7 c	－[5)]	5.9 a
10月１回耕耘区	255 c	5.2 cd	0.02 a	5 b	0.16 b	5.2 a
11月１回耕耘区	79 ab	1.3 a	0.01 a	4 ab	0.16 b	6.2 a
10月２回耕耘区	270 c	5.4 d	0.02 a	4 ab	0.11 ab	6.3 a
10月11月２回耕耘区	145 b	1.9 ab	0.01 a	3 a	0.08 a	4.9 a

注．1）飼料用トウモロコシ播種前の2004年５月14日のデータを示す。
2）個体あたり地上部重は面積あたり地上部重を発生数で除して算出した。
3）調査個体に蔓化した個体は無かったため，草高を示した。
4）列内の同一英文字間は Tukey の方法で５％水準の有意差がないことを示す。
5）根茎の一部のみ採取し，TNC 含有率の分析に供試した。

表12　前年の秋耕が飼料用トウモロコシ栽培期間中における中耕前のヒルガオの生育に及ぼす影響[1)]

秋耕処理	地上部				根茎	
	発生数（本/m²）	面積あたり地上部重（乾物g/m²）	個体あたり地上部重[2)]（乾物g/個）	草高[3)]（cm）	個体あたり根茎重（乾物g/個）	TNC含有率（乾物%）
無耕耘区（秋耕なし）	131 b[4)]	8.3 b	0.06 b	8 c	0.15 b	7.3 b
10月1回耕耘区	53 a	1.7 a	0.03 a	6 ab	0.08 a	8.5 b
11月1回耕耘区	47 a	1.7 a	0.04 a	7 bc	0.10 a	7.9 b
10月2回耕耘区	48 a	1.0 a	0.02 a	5 a	0.07 a	5.1 a
10月11月2回耕耘区	48 a	1.0 a	0.02 a	5 ab	0.07 a	5.3 a

注．1）飼料用トウモロコシ栽培期間中の中耕前の2004年6月14日のデータを示す。
2）個体あたり地上部重は面積あたり地上部重を発生数で除して算出した。
3）調査個体に蔓化した個体は無かったため，草高を示した。
4）列内の同一英文字間はTukeyの方法で5％水準の有意差がないことを示す。

秋耕の処理内容にかかわらず有意な差は示されなかった。発生数が10月1回耕耘区と10月2回耕耘区で増加した理由を考察する。秋耕による根茎の断片化は新たな新株の発生源となるため，翌年のヒルガオ発生数の増加につながることが多い。これまでに著者らはヒルガオの根茎は10月中旬には耕深内に多く分布するが，11月中旬になると減少することを報告している（伏見ら　2003）。従って，翌年のヒルガオ発生数について10月1回耕耘区や10月2回耕耘区が11月1回耕耘区に比べて多くなることは10月中旬の耕耘では11月中旬の耕耘に比べて耕深の範囲に根茎量が多く，秋耕によって多量の根茎片が形成されるためと考えられる。秋耕によって根茎の効果的な細断化を期待する場合は，トウモロコシ収穫後，できるだけ速やかに秋耕を行う必要があると考える。

中耕前の6月14日のヒルガオの地上部の発生数，面積あたり地上部重，個体あたり地上部重，草高および個体あたり根茎重と根茎のＴＮＣ含有率を表12に示した。トウモロコシの要雑草防除期間の終わりにあたる中耕前の6月中旬ではヒルガオ発生数，面積あたりの地上部重および個体あたりの地上部重は秋耕によって減少したが，処理間に有意な差は認められなかった。なお，草高についても秋耕を行った場合は平均値で5～7cmで無耕耘区（秋耕なし）の8cmに比べて小さい傾向があった。個体あたりの根茎重は秋耕の処理内容に関わらず無耕耘区（秋耕なし）に比べて小さくなった。ヒルガオ根茎のTNC含有率は10月2回耕耘区と10月11月2回耕耘区で減少した。

中耕前の6月14日の飼料用トウモロコシに巻き付いたヒルガオの本数と草高および飼料用トウモロコシの草高を表13に示した。中耕前の6月中旬では無耕耘区（秋耕なし）ではヒルガオの蔓化によりトウモロコシの調査個体30本のうち8本への巻き付きが見られたが，秋耕を行うことにより処理内容に関わらず巻き付きは無くなった。無耕耘区（秋耕なし）では巻き付いたヒルガオの草高は15cmを示した。トウモロコシの草高は処理間に有意な差は認められず，完全除草区（秋耕なし）におけるトウモロコシの草高は平均値で22cmを示した。

表13　前年の秋耕が中耕前の飼料用トウモロコシに対するヒルガオの巻き付きに及ぼす影響[1)]

秋耕処理	ヒルガオ		飼料用トウモロコシ
	巻き付いた本数[2)]	草高（cm）	草高（cm）
無耕耘区（秋耕なし）	8	15	24 a[3)]
10月1回耕耘区	0	－	19 a
11月1回耕耘区	0	－	20 a
10月2回耕耘区	0	－	21 a
10月11月2回耕耘区	0	－	21 a
完全除草区（秋耕なし）	－		22 a

注．1）飼料用トウモロコシ栽培期間中の中耕前の2004年6月14日のデータを示す。
2）飼料用トウモロコシの調査本数30のうちヒルガオが巻き付いた本数を示す。
3）列内の同一英文字間はTukeyの方法で5％水準の有意差がないことを示す。

秋耕によって要防除期間にあたる飼料用トウモロコシ播種後の5月中旬から6月中旬のヒルガオの発生数および面積あたりの地上部重は減少した。原因として秋耕に伴う根茎の細断化によるトウモロコシ播種前のヒルガオの発生数の増加が考えられる。トウモロコシ播種前のヒルガオの発生数の増加は直接の雑草害に関与することはない一方，逆に発生源で

ある根茎上の腋芽が地上部への伸長することによってトウモロコシの播種前に腋芽数が減少すると考える。さらに５月中旬の根茎のＴＮＣ含有率は秋耕による減少は示されなかったが，トウモロコシの播種前の発生数の増加は地上部の発生のエネルギー源である根茎の貯蔵性炭水化物の消費を促進したと推察される（Sprague et al. 1950）。また，作物への巻き付きはヒルガオなどの蔓型の植物に特徴的に見られる被害であるが，秋耕は発生源となる根茎片を小さくすることで翌年の要防除期間中のヒルガオの個体あたりの地上部の生育を抑制する結果，蔓化を抑制し飼料用トウモロコシに対する巻き付きを防止したと考える。以上より，秋耕は飼料用トウモロコシ栽培における要防除期間のヒルガオの生育抑制に効果があると考えられた。

秋耕によって５月中旬および６月中旬のヒルガオの生育が抑制された理由をヒルガオの根茎サイズと草高の関係から考察する。ヒルガオの根茎の形態と各部の名称を図７に示した。また，本稿では根茎サイズの説明に根茎片の横走部の長さを用いた。秋耕の処理内容による根茎の個体あたりの乾物重および形態の関係を表14に示した。秋耕によって根茎が細断されると，処理内容に差が見られるが５月中旬で根茎片は４～６cm程度を示し，同時期の飼料用トウモロコシの播種に伴う耕起によって再び細断され，６月中旬には根茎片の横走部の長さは３～５cmを示した。無耕耘区（秋耕なし）では５月中旬の飼料用トウモロコシの播種に伴う耕起によってはじめて細断され，６月中旬に根茎片の横走部の長さは９cmを示した。６月中旬の根茎片の横走部の長さと草高の関係を図８に示した。根茎片の横走部の長さと草高には比例が示され，根茎片の横走部の長さが小さいほど草高も小さくなった。なお，図中には蔓化した個体は含まれていないが，飼料用トウモロコシに巻き付いた個体は根茎サイズが大きく，根茎片の横走部の長さで10cm前後であることが推察される。また，ヒルガオは草高が８cm以上では蔓化するため（図９），要雑草防除期間の５月中旬から６月中旬に草高を８cm以下に抑えることが節間伸長前の飼料用トウモロコシに対する巻き付き防止

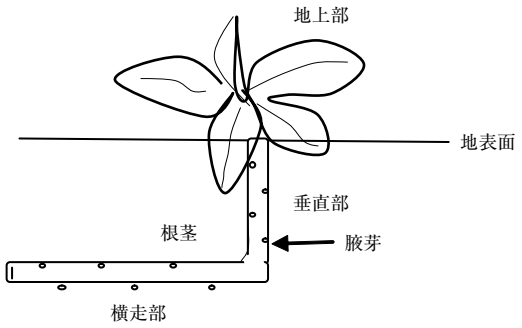

図７　ヒルガオ根茎の概念図

注．採取した根茎を縦と横に分けて，長さ，腋芽数，径をそれぞれ測定した。
　なお，根茎の断片は楕円である為，長径と短径の平均値を径とした。

表14　前年の秋耕が翌年のヒルガオ根茎の個体あたり乾物重と形態に及ぼす影響[1)]

調査月日	秋耕処理	個体あたり根茎重（乾物ｇ/個）	根茎の形態 垂直部 長さ（cm）	垂直部 腋芽数（個/根茎片）	垂直部 径（cm）	横走部 長さ（cm）	横走部 腋芽数（個/根茎片）	横走部 径（cm）
5月15日	無耕耘区（秋耕なし）	－		－			－	
	10月１回耕耘区	0.16 b[2)]	8.5 a	6.4 a	1.1 a	6.1 a	1.1 a	3.6 a
	11月１回耕耘区	0.16 b	4.2 b	2.8 c	1.3 a	5.4 ab	1.4 a	4.0 a
	10月２回耕耘区	0.11 ab	6.4 ab	5.8 ab	1.3 a	4.3 ab	0.8 a	3.9 a
	10月11月２回耕耘区	0.08 a	6.3 ab	4.4 bc	1.1 a	3.5 b	0.9 a	3.3 a
6月15日	無耕耘区（秋耕なし）	0.15 b	6.1 a	3.3 abc	1.7 a	8.6 a	2.4 a	3.2 a
	10月１回耕耘区	0.08 a	6.4 a	4.4 ab	1.3 a	4.6 b	0.5 b	3.3 a
	11月１回耕耘区	0.10 a	5.4 a	2.9 bc	1.9 a	4.3 b	0.6 b	4.1 a
	10月２回耕耘区	0.07 a	6.6 a	4.9 a	1.1 a	4.1 b	0.7 b	3.3 a
	10月11月２回耕耘区	0.07 a	4.1 a	2.3 c	1.1 a	3.5 b	0.5 b	3.8 a

注．1）2003年に秋耕処理，2004年に調査を実施した。
　根茎の地上部に繋がる部分を垂直部，その基部を横走部とした。腋芽数は根茎上の視認できるところを数え，径は根茎の長径と短径の平均値で示す。なお，５月15日の無耕起区は算出不能。
　2）列内の同一英文字間は Tukey の方法で５％水準の有意差がないことを示す。

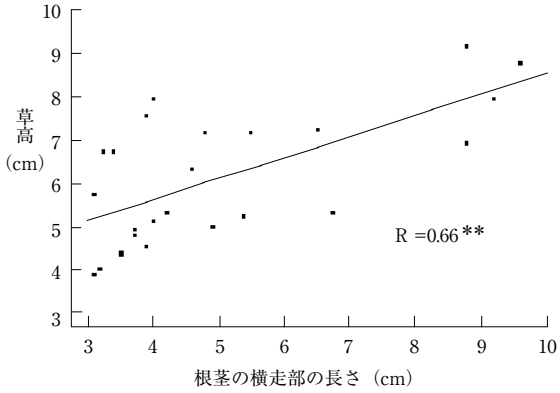

図８　６月中旬のヒルガオ根茎の横走部の長さと草高の関係
注．調査日は2004年６月14日

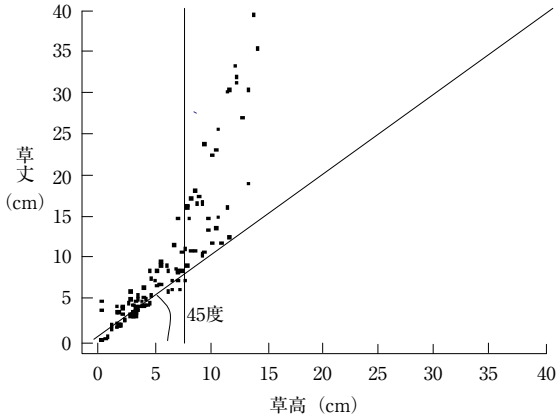

図９　ヒルガオの草高と草丈の関係
注．前年の秋耕および2001年５月中旬から１か月間隔の耕起によるヒルガオの地上部抑制の結果から草高と草丈の関係を解析した。表26を参照。

に有効と考える。

秋耕を行った10月中旬から11月中旬は越冬根茎を形成するため，基部に近い地表面付近の根茎の貯蔵性養分が耕深より深いところにある根茎の先端へ移動する期間であると考える（伏見ら　2003）。また，５月中旬の根茎に比べて，越冬前の根茎は水分含量が高く外力によって破壊されやすい状態と観察できた。なお，秋耕の直後やトウモロコシ播種に伴う耕起の直後に根茎片を圃場から採取することは困難であった。また，本試験では５月中旬の秋耕なしの越冬根茎については調査を行わなかったが，岩手県葛巻町のヒルガオの蔓延した飼料用トウモロコシ畑で，1997年５月中旬には分枝した部分を含めて根茎長70cm，腋芽数25，乾物重４ｇ，1998年５月中旬には分枝した部分を含めて根茎長81cm，腋芽数30，乾物重５ｇ，主軸だけでは根茎長50cm，腋芽数15，乾物重３ｇと示されている。本試験の無耕耘区（秋耕なし）においても土壌条件，気象条件および栽培条件による根茎サイズの違いは大きいと考えられるが，５月中旬の根茎は横走部の長さで50cm前後が推測される。

② 根茎の細断化によるヒルガオの生育抑制についてのSmith & Fretwellモデルによる理論根拠

本稿では根茎を細断することによって飼料用トウモロコシの要雑草防除期間のヒルガオの生育を抑制することを検討している。ここで論拠となるSmith & Fretwell（1974）モデルへの当てはめの妥当性を示す。Smith & Fretwellモデルは親個体が種子生産に投資できる貯蔵資源量に対する種子の大きさと数のトレードオフに関する基礎理論である（Eric et al. 1995，酒井　2001，酒井ら　1999，Smith et al. 1974）。本理論では種子の定着率はその大きさのみに依存して決まり，適応度を最大にする種子の大きさが，最適な種子の大きさと見なす（図10）。このモデルの種子を根茎に，種子の定着率を根茎の定着率に置き換えることで栄養繁殖を行うヒルガオについてもSmith & Fretwellモデルを当てはめることができると考える。なお，本試験では秋耕による根茎の細断が親個体の根茎の貯蔵資源量を巡る根茎片の大きさと根茎数にトレードオフを生じる。そして，根茎片１個からの地上部の発生本数が１本であることが，Smith & Fretwellモデルの種子に準ずる上で望ましい。本試験中に観察されたヒルガオの根茎片では横走部の長さ10cm以下の場合は，殆どすべての根茎片で先端の１個の腋芽が萌芽伸長した結果，１本の地上部を形成していた為，Smith & Fretwellモデルの種子を根茎に置き換えて論ずることに不都合は無いと考えられた。なお，多年生雑草の地下茎には種子と同様に休眠性を有するものがあり，覚醒にはクログワイの塊茎では30日間の長期低温処理が必要（小林　1984，鈴木ら　1983），ショクヨウガヤツリの塊茎では４℃で15日の低温処理が必要であることが知られているが（村岡ら　1996），これまでヒルガオの根茎の腋芽とその萌芽については，ヨモギ，スギナおよびセイタカアワダチソウと同様にヒルガオの腋芽は自然状態では頂芽優勢のため，各腋芽は休眠したままである一方，腋芽に本質的な休

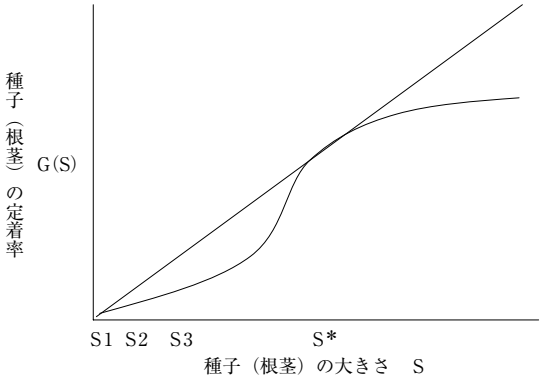

図10　種子（根茎）の大きさＳと種子（根茎）の定着率Ｇ(S）の関係

注．飼料用トウモロコシに対してはヒルガオの根茎の大きさがS1，S2で雑草害なし，S3で雑草害あり。

Smith & Fretwellのモデル（1974）

The optimal balance between size and number of offspring. American Naturalist. 108, 499-506. より作成。

$R_0 = S \times N$
（親個体はR_0の資源を用いて，大きさＳの種子をＮ個作る。）

種子の定着率はＳ字型をしている。

適応度：親個体が作った種子の内，次世代として定着する種子の総数
種子の定着率Ｇ(S)×生産種子数Ｎ

適応度を最大にする種子の大きさが最適な種子の大きさ。

算出式
$G(S)N = G(S)R_0/s$
R_0は一定資源，すなわち定数
したがって，G(S)/Sを最大にするS*が最適な種子の大きさ。
$G'(S^*) = G(S^*)/S^*$

図中では原点から引いた直線が関数G(S)に接するところ。

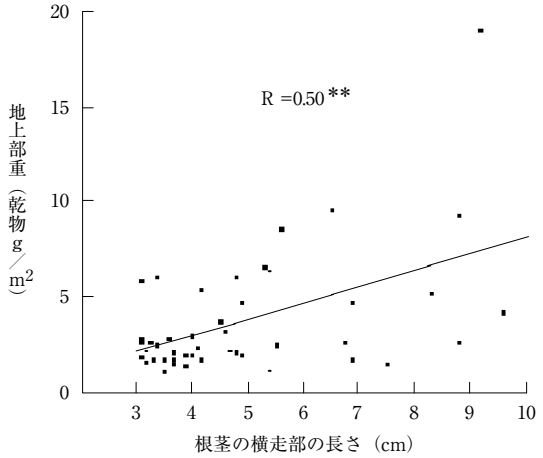

図11　ヒルガオの個体あたりの根茎サイズと面積あたりの地上部重の関係

注．根茎サイズを根茎の横走部の長さで示した。
2004年５月15日と同年６月15日のデータより作成した。
**P＜0.01

眠は無く，随時の堀上による切断でほぼ完全な萌芽を得ることが報告されている（深見ら　1981）。また，本試験でも観察されたように断片化された根茎片では先端に最も近い腋芽の萌芽，伸長が良いことが報告されている（深見ら　1981）。

Smith & Fretwellモデルは生物の適応度に拘わる理論であり，図10に示したs*へ向かって種子の大きさが収斂していくことが適応度を最大にすることを示している。s*以外では種子の大きさと数のトレードオフによる適応度の増加はない。したがって，種子サイズがs*より外れた状態で進化的年代を経ると生物は淘汰され絶滅することを意味する。本稿で検討しているヒルガオの場合は根茎サイズがs*より小さい場合に左記に述べたことからヒルガオの適応度は減少する。このように適応度と淘汰の考え方では根茎の細断化はヒルガオの生育を抑制する方向にしか働かないのである。なお，s*の根茎サイズについては飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオの越冬根茎が適当で，根茎の横走部の長さで50cm程度と考えられる。ただし，雑草防除の論拠は適応度と淘汰ではなく，該当世代のヒルガオと飼料用トウモロコシの競合についてである。s1，s2の根茎サイズでは飼料用トウモロコシの要防除期間内でヒルガオは抑制され防除が可能となるが，s3の根茎サイズではヒルガオは飼料用トウモロコシへ雑草害を与える結果となった（図10）。ここでは飼料用トウモロコシ畑でヒルガオを防除できる根茎サイズを示すと共に個体サイズと数のトレードオフによる適応度の変化を論ずる根拠としてSmith & Fretwellモデルを紹介し，秋耕による根茎の細断化は翌年のヒルガオの生育を抑制する方向にしか働かないことを示した。なお，ヒルガオの根茎サイズと面積あたりの地上部重には正の相関が示され（図11），根茎サイズが小さければ小さいほど面積あたりの地上部は減少を示すが，根茎サイズから地上部重を予測するには至らなかった。

③　ヒルガオの秋耕による制御と収量に与える影響

収穫日の９月14日における飼料用トウモロコシに巻き付いたヒルガオの本数と草高および飼料用トウモロコシの草高を表15に示した。10月２回耕耘区と

表15　前年の秋耕と栽培期間中の中耕の組み合わせが収穫日の飼料用トウモロコシに対するヒルガオの巻き付きに及ぼす影響[1)]

処理区名	ヒルガオ		飼料用トウモロコシ
	巻き付いた本数[2)]	草高(cm)	草高(cm)
無耕耘区(秋耕なし)・中耕あり	29	151 a[3)]	245 a
無耕耘区(秋耕なし)・中耕なし	30	172 a	234 a
10月1回耕耘区・中耕あり	9	21 cd	242 a
10月1回耕耘区・中耕なし	28	87 b	237 a
11月1回耕耘区・中耕あり	9	21 cd	255 a
11月1回耕耘区・中耕なし	13	53 bc	254 a
10月2回耕耘区・中耕あり	3	4 d	243 a
10月2回耕耘区・中耕なし	0	0 d	255 a
10月11月2回耕耘区・中耕あり	0	0 d	260 a
10月11月2回耕耘区・中耕なし	1	12 cd	255 a
完全除草区(秋耕なし)・中耕あり	−		246 a
完全除草区(秋耕なし)・中耕なし	−		246 a

注．1）収穫日2004年9月14日のデータを示す。
2）飼料用トウモロコシの調査本数30のうちヒルガオが巻き付いた本数を示す。
3）列内の同一英文字間はTukeyの方法で5％水準の有意差がないことを示す。

表16　前年の秋耕と栽培期間中の中耕の組み合わせがヒルガオの生育と飼料用トウモロコシ収量に及ぼす影響[1)]

処理区名	ヒルガオ	飼料用トウモロコシ
	(新鮮g/m^2)	(乾物kg/a)
無耕耘区(秋耕なし)・中耕あり	181 (62)[2)] b[3)]	122 (76)[4)] a
無耕耘区(秋耕なし)・中耕なし	290 (100) c	122 (76) a
10月1回耕耘区・中耕あり	13 (5) a	158 (98) b
10月1回耕耘区・中耕なし	49 (17) a	156 (97) b
11月1回耕耘区・中耕あり	4 (2) a	173 (107) b
11月1回耕耘区・中耕なし	37 (13) a	170 (106) b
10月2回耕耘区・中耕あり	0 (0) a	156 (97) b
10月2回耕耘区・中耕なし	0 (0) a	171 (106) b
10月11月2回耕耘区・中耕あり	0 (0) a	155 (96) b
10月11月2回耕耘区・中耕なし	4 (2) a	154 (95) b
完全除草区(秋耕なし)・中耕あり	−	161 (100) b
完全除草区(秋耕なし)・中耕なし	−	161 (100) b

注．1）収穫日2004年9月14日のデータを示す。
2）無処理区（秋耕なし）・中耕なしを100とした場合の各区の割合。
3）列内の同一英文字間はTukeyの方法で5％水準の有意差がないことを示す。
完全除草区（秋耕なし）・中耕なしを100とした場合の各区の割合。

10月11月2回耕耘区では中耕の有無に関わらずヒルガオの巻き付きはほとんど無くなった。10月1回耕耘区および11月1回耕耘区では中耕を組み合わせることによって中耕なしに比べて巻き付き本数やヒルガオの草高は減少したが，ヒルガオの巻き付きを無くすることは難しいと考えられた。トウモロコシの草高は処理間に有意な差は認められず，完全除草区（秋耕なし）・中耕なしにおけるトウモロコシの草高は平均値で246cmを示した。

秋耕と中耕を組み合わせた場合の収穫日9月14日におけるヒルガオの地上部の生育量と飼料用トウモロコシの収量を表16に示した。10月2回耕耘区と10月11月2回耕耘区では中耕の有無に関わらずヒルガオはほとんど消滅した。10月1回耕耘区と11月1回耕耘区では中耕の有無に関わらず残存した。飼料用トウモロコシの収量への影響は秋耕によって軽減した。収量は秋耕の処理内容および中耕の有無にかかわらず処理間に有意な差は示されなかった。

なお，本試験を行った飼料用トウモロコシ畑では，ヒルガオ以外の雑草に対して5月中旬の播種直後のアトラジン＋メトラクロールの土壌処理の残効性は処理後1か月継続し，要雑草防除期間にあたる5月中旬から6月中旬は一年生雑草および他の多年生雑草は一切発生しなかった。6月中旬以降はヒルガオ以外に一年生雑草等の発生は認められたが，収量への影響はほとんど無いと考えられた。とくに6月中旬以降に発生したヒルガオについては一年生雑草との競合に負け7月中旬にはほとんど観察できなくなった。

表17　秋耕と中耕の組み合わせがヒルガオの生育と飼料用トウモロコシ収量に及ぼす影響の分散分析結果[1)]

要因	自由度	ヒルガオ		飼料用トウモロコシ	
		分散比	寄与率(%)	分散比	寄与率(%)
秋耕	4	56.9**[2)]	82	5.7**	42
中耕	1	9.3**	3	0.1	0
秋耕*中耕	4	2.7*	4	0.2	2
誤差	30		11		56

注．1）収穫日2004年9月14日のヒルガオと飼料用トウモロコシのデータを解析した。
2）＊＊P<0.01，＊P<0.05

収穫日9月14日におけるヒルガオの地上部の生育量と飼料用トウモロコシの収量に与える前年の秋耕と栽培期間中の中耕の効果を知るための分散分析結果を表17に示した。秋耕効果は両項目において，中耕効果はヒルガオの生育量に，秋耕と中耕の交互作用はヒルガオの抑制に有意性が認められた。次に，

秋耕と中耕がヒルガオおよびトウモロコシの生育に及ぼす影響の比率を明らかにするため寄与率を求めた（田口ら　1979）。秋耕の影響はヒルガオの生育量，トウモロコシの収量いずれにおいても中耕のそれより大きい値を示した。このことから，ヒルガオの生育抑制とトウモロコシの収量確保には中耕よりも秋耕が大きく影響することが明らかになった。

以上のことからヒルガオが蔓延した圃場では，前年の２回の秋耕と慣行のアトラジン＋メトラクロール剤の土壌処理で飼料用トウモロコシ収量への影響はほとんどなくなり，ヒルガオはほぼ消滅することが明らかになった。なお，１回の秋耕では上記の除草剤処理と栽培期間中の中耕を組み合わせることで飼料用トウモロコシ収量への影響を無くし，ヒルガオを防除できることが明らかになった。従来の秋耕によるクログワイ，ミズガヤツリなどの多年生雑草の防除の研究の方向性は，栄養繁殖器官である塊茎などの土中分布をかえることで冬期の低温と乾燥を利用して，塊茎などを死滅させることおよび栄養繁殖器官の形成時期に耕起することで，塊茎などの形成を機械的に阻害することを目的として，耕起法や耕起時期の検討が行われていた（森田ら　1992，山岸ら　1980）。本研究の秋耕による根茎の細断化によるヒルガオの制御の研究の方向性は，秋耕によって栄養繁殖器官の形成を機械的に阻害することで対象雑草を防除する範疇に含まれると考えるが，耕起による根茎片の土中分布の変化や冬期間における死滅割合の増加を解明することはしなかった。そもそも，根茎片の死滅割合が少し増加したところで完全に死滅しなければ次年度の夏の間に大面積に蔓延して簡単には撲滅できないと考えられているからである。また，冬期の調査は圃場が積雪下であり困難であると共に，ヒルガオの根茎はその形態上，秋耕による土中分布の変化などの調査に適当ではなかった。しかしながら，秋耕による根茎の細断化によるヒルガオ防除は，根茎片の大きさと数のトレードオフに基づくSmith ＆ Fretwellモデルに，理論的な根拠を持ち，実際に飼料用トウモロコシを栽培し防除を検証し，飼料用トウモロコシに雑草害を与えない根茎サイズや発生密度を得ることができた。

秋期にヒルガオの繁殖器官である根茎が一旦充実，定着すると，通常の管理だけでは防除は難しい。しかし，ヒルガオが蔓延した圃場においても秋期に根茎をロータリーで細断化することによって慣行の飼料用等トウモロコシの栽培管理で防除できることが明らかになった。しかしながら，根茎の細断化に基づくヒルガオ制御の理論根拠としたSmith ＆ Fretwellモデルも生育範囲の拡大についての仮定はない。ここでは飼料用トウモロコシの栽培条件下における耕起作業によるヒルガオの人為的蔓延を検証する。飼料用トウモロコシの栽培条件下では５月中旬の飼料用トウモロコシの播種に伴う耕起および６月中旬の中耕によってヒルガオは生育範囲を拡大していると考える。ただし，新たな生育範囲に位置する根茎も既に秋耕および飼料用トウモロコシの播種に伴う耕起によって根茎サイズが飼料用トウモロコシに雑草害を与える根茎サイズ以下に細断されている場合は，収量に影響を与えることにはならないと推察できる。要するに，秋耕および中耕によるヒルガオの防除には必ず秋耕が必要であり，秋耕がない場合はヒルガオの生育範囲の拡大によって雑草害が拡大することがあり得ると考える。また，６月中旬以降は本試験でも観察されたように他の雑草との競合に負けることが多いと考える。なお，耕起に伴い根茎がロータリー等に付着し，別の圃場に拡散することが新たな発生源となることがあるが，これは作業後に作業機を洗浄するなどで防ぐことができると考える。

２）連年秋耕によるヒルガオの防除

本節の第１項では栽培前年の秋耕や栽培期間中の中耕によって飼料用トウモロコシの要雑草防除期間中のヒルガオを抑制し，収量減を抑制できることを明らかにした。また，Smith ＆ Fretwellモデルに基づくヒルガオ防除の理論的根拠も示したが，連年の秋耕および中耕とその組み合わせがヒルガオの発生に与える影響について検討はない。そこで，栽培前年の秋耕，栽培期間中の中耕および栽培後の秋耕を主要因とした分散分析によって翌年のヒルガオの発生を解析した。

（１）材料および方法

飼料用トウモロコシの播種時期にあたる2005年５月14日にヒルガオの地上部および地下部の現存量を調査した。調査区は全処理区で１平方メートルの方形，反復数５とし，地上部は処理区ごとに発生数および乾物重を測定した。地下部は代表的な５個体を調査区ごとに採取し，根茎の乾物重，腋芽数および形態を測定した。解析は主効果を栽培前年秋耕，栽

培期間中の中耕および栽培後秋耕とした完全実施要因の分散分析から有意な要因とその寄与率を求め，各測度に及ぼす各耕起の影響の比率を明らかにした（田口ら　1979）。計算には統計ソフトウェアJMP5.0.1 J（SAS Institute，2002）を用いた（SAS Institute Inc.2002）。

東北農業研究センター（盛岡市）の試験圃場において，2003年10月15日から2005年５月15日までに得られたデータを検討した。岩手県一戸町の飼料畑から採取した１個体由来のヒルガオが蔓延した試験圃場において，2003年の耕作期間中は休耕し，同年10月15日から栽培前年の秋耕を始めた。この時期にはヒルガオの地上部は全て枯死していた一方，地下部には１平方メートルあたり根茎の腋芽数で690～850個，乾物重で30～45g程度があった。栽培前年の秋耕の処理内容は2003年10月15日に１回耕起，11月15日に１回耕起，10月15日に２回耕起および10月15日と11月15日に各１回の４水準，反復数４からなるが，本解析ではまとめて栽培前年秋耕とした。中耕は飼料用トウモロコシの節間伸長前の2004年６月15日に１回耕起，栽培後秋耕は栽培前年秋耕で最もヒルガオの制御効果に優れた10月２回耕起に準じ，全処理区で2004年10月15日に２回耕起とした。秋耕および中耕の各耕起は慣行のロータリー耕を耕深10cmで行った。なお，供試圃場では飼料用トウモロコシの早生品種36B08（RM106）を，慣行栽培した。

（２）結果および考察

飼料用トウモロコシの栽培前年の秋耕，栽培期間中の中耕および栽培後の秋耕が，栽培翌年のヒルガオの地上部の発生数と地上部重および根茎の根茎重と腋芽数に及ぼす影響を表18に示した。「栽培前年秋耕あり・中耕あり・栽培後秋耕あり」および「栽培前年秋耕あり・中耕なし・栽培後秋耕あり」で，翌年の飼料用トウモロコシの播種時期にはヒルガオの地上部および根茎は殆ど認められなかった。上記処理が栽培翌年のヒルガオ根茎の個体あたり乾物重と形態に及ぼす影響を表19に示した。全調査項目において処理区間に有意な差は示されなかったが，秋耕，中耕を実施することで個体あたり根茎重と根茎サイズは小さくなる傾向が示された。「栽培前年秋耕あり・中耕なし・栽培後秋耕あり」でヒルガオの根茎がほとんど無くなったことは，農繁期における追加作業および中耕による飼料用トウモロコシの断根を回避できるため望ましい結果と考えられた。なお，本試験を行った東北地域などの１年１作地域では飼料用トウモロコシ播種時以外は耕起を行うことはほとんど無く，本試験の処理の中では「栽培前年秋耕なし・中耕なし・栽培後秋耕なし」が慣行栽培にあたると考える。本試験においても「栽培前年秋耕なし・中耕なし・栽培後秋耕なし」では多くの地上部の発生と地下部における根茎の定着が伺われた。なお，飼料用トウモロコシ栽培において秋耕が殆ど行われないことは，収穫後のサイレージ調整に伴う労働力不足に起因する畜産農家に特有な課題と考える。

ヒルガオの地上部の発生数と地上部重に対する各

表18　飼料用トウモロコシの栽培前年の秋耕，栽培期間中の中耕および栽培後の秋耕が栽培翌年のヒルガオの生育に及ぼす影響[1)]

処理区名[2)]	処理区数	地上部		根茎[3)]	
		発生数（本/m^2）	地上部重（乾物 g /m^2）	根茎重（乾物 g /m^2）	腋芽数（個/m^2）
栽培前年秋耕なし・中耕なし・栽培後秋耕なし	2	14 a4)	0.7 a	1.6 a	137 a
栽培前年秋耕なし・中耕あり・栽培後秋耕なし	2	6 b	0.4 ab	0.7 ab	59 b
栽培前年秋耕なし・中耕なし・栽培後秋耕あり	2	4 bc	0.2 b	0.6 ab	25 bc
栽培前年秋耕なし・中耕あり・栽培後秋耕あり	2	2 bc	0.1 b	0.2 b	12 bc
栽培前年秋耕あり・中耕なし・栽培後秋耕なし	4	2 bc	0.3 b	0.6 ab	42 bc
栽培前年秋耕あり・中耕あり・栽培後秋耕なし	4	2 bc	0.2 b	0.2 b	23 bc
栽培前年秋耕あり・中耕なし・栽培後秋耕あり	4	1 c	0.1 b	0.1 b	5 c
栽培前年秋耕あり・中耕あり・栽培後秋耕あり	4	0 c	0.0 b	0.0 b	0 c

注．1）調査日は2005年５月15日。
2）栽培前年秋耕ありは，本文参照。中耕は2004年６月15日に１回耕起を行った。栽培後の秋耕は2004年10月15日に２回耕起を行った。
3）根茎重と腋芽数は代表的な個体の各数値と地上部の発生数の積から算出した。
4）列内の同一英文字間は Tukey の方法で５％水準の有意差がないことを示す。

耕起の影響の分散分析結果を表20に，根茎の根茎重と腋芽数に対する各耕起の影響の分散分析結果を表21に示した。栽培前年秋耕，中耕および栽培後秋耕の３つの主要因は翌年のヒルガオの発生数，地上部重，根茎重および腋芽数のそれぞれに有意な減少を示した。さらに全測定項目において栽培前年秋耕と栽培後秋耕は，栽培期間中の中耕よりも寄与率は大きく，中耕よりも秋耕がヒルガオの防除に効果があ

表19　飼料用トウモロコシの栽培前年の秋耕，栽培期間中の中耕および栽培後の秋耕が栽培翌年のヒルガオ根茎の個体あたり乾物重と形態に及ぼす影響[1)]

処理区名[2)]	個体あたり根茎重（乾物g/個）	根茎の形態					
		垂直部			横走部		
		長さ（cm）	腋芽数（個/根茎片）	径（cm）	長さ（cm）	腋芽数（個/根茎片）	径（cm）
栽培前年秋耕なし・中耕なし・栽培後秋耕なし	0.12	4.9	4.2	2.1	8.9	6.1	4.6
栽培前年秋耕なし・中耕あり・栽培後秋耕なし	0.15	6.6	5.0	2.2	12.0	6.0	2.4
栽培前年秋耕なし・中耕なし・栽培後秋耕あり	0.14	3.8	3.6	1.7	6.1	2.7	3.6
栽培前年秋耕なし・中耕あり・栽培後秋耕あり	0.11	5.2	4.5	1.5	5.3	2.4	3.2
栽培前年秋耕あり・中耕なし・栽培後秋耕なし	0.08	3.6	2.9	1.3	5.3	3.0	1.4
栽培前年秋耕あり・中耕あり・栽培後秋耕なし	0.04	1.9	1.8	0.9	4.5	2.6	1.0
栽培前年秋耕あり・中耕なし・栽培後秋耕あり	0.04	1.3	1.3	0.6	2.3	0.7	1.5
栽培前年秋耕あり・中耕あり・栽培後秋耕あり	0.01	1.0	1.2	0.3	1.4	0.3	0.8
処理区間の平均値[3)]	0.08	3.5	3.0	1.3	5.7	3.0	2.3

注．1）調査日は2005年５月15日。
　　2）栽培前年秋耕ありは，本文参照。中耕は2004年６月15日に１回耕起を行った。栽培後の秋耕は2004年10月15日に２回耕起を行った。
　　3）全測定項目において処理区間に Tukey の方法で５％水準では有意差は無い。

表20　栽培前年秋耕，栽培期間中の中耕および栽培後秋耕を主要因とした翌年のヒルガオ地上部の生育に対する分散分析結果

要因	発生数			地上部重		
	自由度	分散比	寄与率（%）	自由度	分散比	寄与率（%）
栽培前年秋耕	1	46**[1)]	35	1	28**	31
中耕	1	14**	11	1	4*	5
栽培前年秋耕*中耕	1	11**	8	－[2)]		
栽培後秋耕	1	28**	21	1	28**	31
栽培前年秋耕*栽培後秋耕	1	14**	11	1	11**	13
誤差	18		14	19		20

注．1）**p<0.01，*p<0.05
　　2）－は有意な要因ではないことを示す。

表21　栽培前年秋耕，栽培期間中の中耕および栽培後秋耕を主要因とした翌年のヒルガオ根茎の生育に対する分散分析結果

要因	自由度	根茎重		自由度	腋芽数	
		分散比	寄与率（%）		分散比	寄与率（%）
栽培前年秋耕	1	38**[1)]	38	1	39**	31
中耕	1	11**	11	1	10*	8
栽培前年秋耕*中耕	1	6**	6	1	6	5
栽培後秋耕	1	19**	19	1	36**	28
栽培前年秋耕*栽培後秋耕	1	7**	7	1	17**	14
誤差	18		19	18		14

注．1）**p<0.01，*p<0.05

ることが示された。また，全測定項目で栽培前年秋耕は栽培後秋耕の寄与率よりも大きい傾向があり，飼料用トウモロコシ畑にヒルガオが発生した場合は収穫後，直ちに秋耕を行うことが防除に効果があることが示された。なお，交互作用としては栽培前年秋耕と中耕および栽培前年秋耕と栽培後秋耕の組み合わせに全測定項目で有意な減少が示されたが，主要因を全て実施した場合には全測定項目で有意な減少は示されなかった。

既に表18で示したように「栽培前年秋耕あり・中耕あり・栽培後秋耕あり」では，翌年の飼料用トウモロコシの播種時期にはヒルガオの地上部および根茎は殆ど認められないことから，栽培前年秋耕と中耕および栽培前年秋耕と栽培後秋耕の組み合わせでヒルガオの根絶への効果は十分大きいと考えられた。したがって，年間の耕起回数を１回より多くすることで飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオの発生を防ぐことができることが示された。第１章で暖地の関東以西ではなく寒冷地の東北地域の飼料用トウモロコシ畑でヒルガオが発生した理由として，東北地域が１年１作地域であり，年間の圃場の耕起回数が飼料用トウモロコシの播種時の１回だけに限られることが多いためであることを指摘したが，本節の結果から，東北地域にヒルガオが発生した理由を裏付けることができた。近年，国内では春先の作業集中の軽減や窒素流出防止の観点から，寒冷地，暖地を問わず飼料用トウモロコシに不耕起栽培の導入が散見されるが（小林ら　2000），不耕起栽培の進展した米国では既に1995年には年間の耕起回数が減ることに起因するヒルガオ類などの多年生雑草の蔓延が報告されている（竹内　1988，竹内　1989）。わが国への不耕起栽培の導入にあたっては，ヒルガオを含めた多年生雑草の発生動向に留意すべきことと考える。

２．除草剤による防除

国内では飼料作物は家畜の飼料として中間生産物として扱われることおよび市民の食の安全に対する意識向上から，更なる除草剤の導入は難しいが，本節ではヒルガオに対する土壌処理と茎葉処理の体系化による防除を検討した。本試験では試験前年に秋耕を行った上で，慣行の土壌処理剤としてアトラジン＋メトラクロールおよび茎葉処理剤として，ベンタゾンあるいはハロスルフロンメチルを処理した。

１）土壌処理剤と茎葉処理剤による体系処理

（１）材料および方法

秋耕が飼料用トウモロコシの要雑草防除期間のヒルガオの生育抑制に繋がることが判明しているため，本試験においても栽培前年に秋耕を行った。飼料用トウモロコシ播種直後2004年５月18日に土壌処理としてアトラジン＋メトラクロール剤を規定量の上限にあたる有効成分量6・10ｇa.i.ａ$^{-2}$を処理した。茎葉処理として飼料用トウモロコシの節間伸長が始まる前の同年６月14日にベンタゾンあるいはハロスルフロンメチルを処理した。処理量は両剤とも規定量の中間にあたるベンタゾンは有効成分量５ｇa.i. ａ$^{-2}$ ハロスルフロンメチルは有効成分量0.3ｇa.i. ａ$^{-2}$ とした。除草剤散布は背負式自動噴霧器（タンク容量10ℓ）で行った。飼料用トウモロコシの節間伸長の途中の2004年７月14日と７月28日に巻き付き調査，収穫適期にあたる同年９月14日に巻き付き調査および収量調査をそれぞれ行った。栽培終了後の秋耕は全処理区で2004年10月15日に２回耕起とし，翌年の2005年５月14日にヒルガオの発生の有無を最終調査した。試験の材料および方法は本章１第１項の試験に準じた。

（２）結果および考察

両剤とも処理後５日目頃からヒルガオの葉に萎縮のような薬害が認められた。処理１か月後の７月14日ではヒルガオの葉はほぼ全て褐茶色で枯死していた。ただし，同時期では茎は枯死が見られたがトウモロコシに巻き付いた状態で残存していた（表22）。処理１.5か月後の７月28日では巻き付いていた茎も風雨によって落ち，ヒルガオのトウモロコへの巻き付きは両剤および秋耕の処理内容に関わらず殆ど見られなかった（表23）。したがって，茎葉処理剤の処理１.5か月後にはヒルガオは消滅し，飼料用トウモロコシに対する巻き付きによる生育阻害は無くなると考えらえた。本試験ではベンタゾン，ハロスルフロンメチルともに高い除草効果が得られ，飼料用トウモロコシへの薬害も認められず，９月中旬には完全除草区とほぼ同じ収量を確保できた（表24）。秋耕による根茎の細断化によって６月中旬のヒルガオの地上部の生育量が異なるため，茎葉処理剤の効果の発現は異なると考える。そこで，秋耕と慣行の飼料用トウモロコシの播種時期の土壌処理は行ったが，６月中旬に茎葉処理および中耕を行わなかった場合の７月14日における巻き付き調査の結果（表25）

と茎葉処理１か月後の結果（表22）を比較したところ，秋耕を行った場合は秋耕の処理内容に関わらず，両茎葉処理剤によって無耕耘区（秋耕なし）に比べてヒルガオの巻き付き本数が著しく減少した。秋耕によって翌年の６月中旬の個体あたりの地上部重が小さくなったヒルガオは茎葉処理剤によって枯死，脱落し易くなったと考えられる。秋耕による根茎サイズを小さくすることはヒルガオの生育を抑制することで両茎葉処理剤の効果発現を大きくすることが伺われた。翌年の５月14日の調査では全処理区でヒ

表22　前年の秋耕と栽培期間中の除草剤茎葉処理を組み合わせた場合の飼料用トウモロコシとヒルガオの競合（2004年７月14日調査）

秋耕処理	ベンタゾン			ハロスルフロン		
	トウモロコシ	ヒルガオ		トウモロコシ	ヒルガオ	
	草高（cm）	本数[1]	草高（cm）	草高（cm）	本数	草高（cm）
無耕耘区（秋耕なし）	152 a[2]	18	13 b	148 a	15	9 b
10月１回耕耘区	155 a	2	1 a	155 a	1	0 a
11月１回耕耘区	174 a	6	5 a	165 a	3	3 ab
10月２回耕耘区	161 a	1	0 a	160 a	3	2 a
10月11月２回耕耘区	167 a	4	2 a	164 a	1	1 a
完全除草区（秋耕なし）	151 a		−	151 a		−

注．1）30本の飼料用トウモロコシに対して巻き付いた本数を示した。
　　2）列内の同一英文字間は５％水準で有意差がないことを示す（Tukey 法）。

表23　前年の秋耕と栽培期間中の除草剤茎葉処理を組み合わせた場合の飼料用トウモロコシとヒルガオの競合（2004年７月28日調査）

秋耕処理	ベンタゾン			ハロスルフロン		
	トウモロコシ	ヒルガオ		トウモロコシ	ヒルガオ	
	草高（cm）	本数[1]	草高（cm）	草高（cm）	本数	草高（cm）
無耕耘区（秋耕なし）	243 a[2]	0	0 a	224 a	3	5 a
10月１回耕耘区	237 a	0	0 a	231 a	1	2 a
11月１回耕耘区	247 a	0	0 a	237 a	2	1 a
10月２回耕耘区	235 a	0	0 a	235 a	2	1 a
10月11月２回耕耘区	244 a	0	0 a	240 a	0	0 a
完全除草区（秋耕なし）	239 a		−	239 a		−

注．1）30本の飼料用トウモロコシに対して巻き付いた本数を示した。
　　2）列内の同一英文字間は５％水準で有意差がないことを示す（Tukey 法）。

表24　前年の秋耕と栽培期間中の除草剤茎葉処理を組み合わせた場合の飼料用トウモロコシ収量とヒルガオ地上部重[1]

秋耕処理	ベンタゾン		ハロスルフロン	
	トウモロコシ（乾物kg/a）	ヒルガオ（新鮮g/m^2）	トウモロコシ（乾物kg/a）	ヒルガオ（新鮮g/m^2）
無耕耘区（秋耕なし）	145（0.90）[2] a[3]	0 a	154（0.96）a	2 a
10月１回耕耘区	156（0.97）a	0 a	174（1.08）a	1 a
11月１回耕耘区	153（0.95）a	1 a	164（1.02）a	1 a
10月２回耕耘区	159（0.99）a	0 a	160（0.99）a	1 a
10月11月２回耕耘区	151（0.94）a	0 a	166（1.03）a	0 a
完全除草区（秋耕なし）	161（1.00）a	−	161（1.00）a	−

注．1）収穫適期にあたる黄熟中期の2004年９月14日に調査。
　　2）完全除草区（秋耕なし）を1.00とした場合の各区の比率。
　　3）列内の同一英文字間は5%水準で有意差がないことを示す（Tukey 法）。

表25　前年に秋耕を行った場合の飼料用トウモロコシとヒルガオの競合（2004年７月14日調査）

秋耕処理	トウモロコシ	ヒルガオ	
	草高（cm）	本数[1)]	草高（cm）
無耕耘区（秋耕なし）	149 a[2)]	30	60 d
10月１回耕耘区	157 a	29	35 c
11月１回耕耘区	164 a	16	17 b
10月２回耕耘区	162 a	4	1 a
10月11月２回耕耘区	162 a	11	16 b
完全除草区（秋耕なし）	151 a	－	

注．1）30本の飼料用トウモロコシに対して巻き付いた本数を示した。
2）同一英文字間は５％水準で有意差がないことを示す（Tukey法）。

ルガオの発生は無かった。

本試験ではベンタゾン，ハロスルフロンメチルともに高い除草効果が得られたが，これまでの本草種への除草剤の効果に関する結果は必ずしも一致していない（原　1998，細谷　1998）。千葉県では土壌処理剤をペンディメタリンとして茎葉処理剤をハロスルフロンメチル，フルチアセットメチル，ブロスルフロンのいずれかと組み合わせた場合は効果が認められている一方，ベンタゾンとの組み合わせでは効果は少ない（細谷　1998）。また，長野県では土壌処理剤をアトラジン・メトラクロールとして茎葉処理剤をニコスルフロン，フルチアセットメチル，ハロスルフロンメチル，プロスルフロンのいずれかと組み合わせた場合は効果が認められたが，ベンタゾン，ペンディメタリンとの体系処理ではイネ科雑草との競合によって効果が不明瞭であったという報告がある（原　1998）。なお，千葉県，長野県ともに土壌処理と茎葉処理の体系処理を行っても茎葉処理後10日程で，全ての組み合わせで再生が示されている。一方，両報告をまとめた見解としては，土壌処理剤と茎葉処理剤の体系処理としてペンディメタリン，ベンタゾンおよびニコスルフロンの各剤に効果を認める一方，ハロスルフロンメチル，フルチアセットメチル，ブロスルフロンでは効果は小さいとされた（悴田　1998）。なお，当時はペンディメタリン，ベンタゾンおよびニコスルフロンは登録済みの剤で，ハロスルフロンメチル，フルチアセットメチル，ブロスルフロンは登録申請中あるいは試験中の剤であった。こうした理由として，剤処理後の再生に対する見解の相違が除草剤の効果の判定の違いに繋がったと考えるが，直立茎をもつ普通の広葉植物とは異なりヒルガオは茎が蔓化しているため散布条件によって除草剤の葉から茎への移行速度にばらつきが生ずる結果，剤の効果が不安定になることが剤の効果を左右すると推察された。

本章ではヒルガオを慣行の飼料用トウモロコシの栽培管理に機械的防除あるいは化学的防除を組み合わせ防除した。慣行栽培に追加の雑草防除法を加えた例では，ショクヨウガヤツリに報告がある（児嶋ら　1998，児嶋ら　2000）。ショクヨウガヤツリは田畑共通に発生し，飼料用トウモロコシ畑にも発生する多年生の強害雑草であるが，九州の早期水稲栽培田において８月中旬の稲刈取り後15日後，30日後の連続耕耘，あるいは稲刈り後のグリホサート剤の処理で繁殖源である塊茎の形成を阻止し防除に繋がると報告されている。なお，水田の多年生雑草ではクログワイではＣＮＰ・ダイムロンとベンチオカーブ・シンメトリン・ＭＣＰＢの体系処理さらに冬期間の反転耕を組み合わせることによって防除効果が高まることが1980年初めに報告されている（山岸ら　1980）。

多年生雑草が蔓延した場合はグリホサート系などの非選択性除草剤の処理が普通に考えられるが，飼料用トウモロコシ播種前における茎葉処理は東北地域などの寒冷地では作付期間の短縮に繋がるため避けることが賢明と考える（White 1977）。非選択性除草剤の処理の例としては千葉県で９月中旬の飼料用トウモロコシ収穫後に再生したコヒルガオに対して10月中旬に，グリホサート，トリクロピル，ＭＤＢＡを散布したところ，処理後74日後の12月下旬の地下部調査では地下部の減少の効果があり，さらに翌年の6月中旬ではヒルガオの発生は被度，密度ともに抑制され，とくにグリホサートは効果が大きかったという報告がある（細谷　1998）。寒冷地では飼料用トウモロコシの収穫後にヒルガオの再生は無いが，関東以西では次の作付けを考慮した上で，収穫後に再生したヒルガオに非選択性除草剤を処理することは，次年度における本草種の制御に有効であると考える。また，北米における飼料用畑のシバムギの防除は1970年代には夏期の耕耘から作物栽培中あるいは栽培前の非選択性除草剤の処理に代わってきたが，非選択性除草剤の防除効果は耕耘をはじめとする作物栽培体系によって大きく異なることが指摘されており（Kevin et al. 1994，William et al. 1994），ヒルガオにおいても作物栽培体系によって

非選択性除草剤の防除効果は異なると考える。

３．摘　　要

① 本章では飼料用トウモロコシの慣行栽培に栽培の前年に秋耕を付加することでヒルガオを防除できることを明らかにし，防除に至る要因の解明をヒルガオの根茎サイズから検討した。また，秋耕と茎葉処理剤を組み合わせたヒルガオ防除について検討した。

② ２回の秋耕と慣行のアトラジン＋メトラクロール剤の土壌処理で飼料用トウモロコシ収量への影響はほとんどなくなり，ヒルガオはほぼ消滅することが明らかになった。

③ １回の秋耕では上記の除草剤処理と栽培期間中の中耕を組み合わせることで飼料用トウモロコシ収量への影響を無くし，ヒルガオを防除できることが明らかになった。

④ Smith & Fretwellモデルが支持するように，秋耕による根茎の細断化による個体あたり根茎重の減少と面積あたり発生数の増加は，ヒルガオの面積あたりの地上部重を減少させる方向に動くため，飼料用トウモロコシの栽培期間中，とくに要雑草防除期中におけるヒルガオの制御に効果が深められた。

⑤ 栽培後に秋耕を加え主要因の栽培前年秋耕，栽培期間中の中耕および栽培後秋耕による次年度のヒルガオの抑制効果を分散分析で検討した結果，３つの主要因は翌年の面積あたりのヒルガオの発生数，地上部重，根茎重および腋芽数のそれぞれに有意な減少効果を示した。「栽培前年秋耕あり・中耕あり・栽培後秋耕あり」および「栽培前年秋耕あり・中耕なし・栽培後秋耕あり」で，翌年の飼料用トウモロコシの播種時期にはヒルガオの地上部および根茎は殆ど認められなかった。さらに，全測定項目において栽培前年秋耕と栽培後秋耕は，栽培期間中の中耕よりも寄与率は大きく，中耕よりも秋耕がヒルガオの防除に効果があることが示された。また，全測定項目で栽培前年秋耕は栽培後秋耕の寄与率よりも大きい傾向があり，飼料用トウモロコシ畑にヒルガオが発生した場合は収穫後，直ちに秋耕を行うことが防除に効果があることが示された。

⑥ 土壌処理剤アトラジン＋メトラクロールと茎葉処理剤ベンタゾンあるいはハロスルフロンメチルの体系処理でヒルガオに対して高い除草効果が得られ，飼料用トウモロコシへの薬害も認められず，収量を確保できた。なお，秋耕によって６月中旬のヒルガオの個体あたりの地上部重が小さくなることから両茎葉処理剤とも剤の効果発現が大きくなる傾向があった。

Ⅳ　耕作放棄された飼料畑，飼料用転換畑における制御

2004年のわが国の農地面積は471万haであるが，今後10年に30万ha減少し，2015年には441万haになると予想される。そして，面積減少の内訳は26万haが耕作放棄地，４万haが宅地等に転用と算出されている。これに対し，2005年３月に閣議決定された「新たな食料・農業・農村基本計画」では，今後の耕作放棄地の発生防止・解消に向けた施策の強化や農業への新規参入の促進を図るとともに，優良農地を確保するための計画的な土地利用を推進することが唱われている（農林水産省　2005）。とくに，耕作放棄地に対して公共団体などによる耕作管理が可能となる画期的な仕組み作りを同基本計画では唱えているが，業務の実態は雑草管理から始まるといっても過言ではない。不作付地や耕作放棄地は一定の面積を有する圃場であり，雑草が蔓延した場合は住宅地の空き地や畦畔のように除草剤で一括に処理するということは容易ではない。本章では耕作放棄された飼料畑や飼料用転換畑でヒルガオが蔓延した場合の制御として，耕起および刈取りと湛水による制御を検討した。

１．耕起による制御

１）生育期間中１か月間隔の耕起

ヒルガオの元来の生育地である宅地の周辺，道ばた，畦畔，空き地などの非農耕地と農耕地の最も大きな違いは耕起に起因する土壌の攪乱である。予め前年の10月中旬および11月中旬に秋耕した後，５月中旬からの１か月間隔で耕起を連続処理することでヒルガオの制御を検討した。なお，５月中旬から７月中旬はヒルガオの地上部の生育盛期であるとともに飼料用トウモロコシ栽培における要防除期間を含むため，秋耕が５月中旬から７月中旬のヒルガオの生育に及ぼす影響をとくに詳細に検討した。

（１）材料および方法

2000年４月中旬から同年10月中旬まで１個体由来のヒルガオを繁茂させて供試圃場とした。2000年の秋耕の時期と回数は10月の１回耕起（10月耕起区），

11月の１回耕起（11月耕起区）および10月と11月の２回耕起（２回耕起区）とした。ロータリー，耕深10cmで秋耕した。無耕起区では秋耕は実施しなかった。各区１平方メートルで反復数は５とした。2001年５月15日，６月15日，７月15日，８月15日，９月15日，10月15日および2002年５月15日に地上部および地下部を調査した。各調査日の終了後，全調査区においてロータリー耕深10cmで耕起した。地上部は地上部重，発生数，草高，草丈を，地下部については根茎を垂直部と横走部に分けてそれぞれの長さ，径および腋芽数を計測した後（図７），まとめて根茎重および貯蔵性炭水化物を全非構造糖（ＴＮＣ，Total Nonstructural Carbohydrate）として測定した（田村　1980，Yamamoto et al. 1985）。なお，地下部の根茎の調査は代表的な５個体について行った。また，イネ科およびカヤツリグサ科雑草の発生を抑制するため，５月15日，６月15日，７月15日の耕起後毎にメトラクロール剤を有効成分量6.0 g a.i. a $^{-2}$散布した。

（２）結果および考察

2002年５月15日のヒルガオの地上部における全調査項目の数値は2001年５月15日に比べて，無耕起区（秋耕なし）を含めて著しく小さくなった。また，飼料用トウモロコシの要雑草防除期間の終わりにあたる６月15日において２回耕起区ではヒルガオの発生数は増加した一方，個体あたり地上部重の減少によって，面積あたりの地上部重は最も小さくなった（表26）。2002年５月15日の本草種の面積あたりの根茎重および腋芽数は2001年５月15日に比べて，無耕起区（秋耕なし）を含めて数値は著しく小さく，本

表26　前年の秋耕および５月中旬からの１か月間隔の耕起によるヒルガオの地上部の生育抑制

調査月日	秋耕処理	発生数 (本/m^2)	地上部重 (乾物 g /m^2)	個体重[1] (乾物 g /個)	草高 (cm)	草丈 (cm)
2001年5月15日	無耕起区	21 a[2]	6.8 b	0.31 c	9 c	11 b
	10月耕起区	86 b	2.6 a	0.03 a	3 a	4 a
	11月耕起区	38 a	5.4 ab	0.14 b	8 b	10 b
	２回耕起区	105 b	3.0 a	0.03 a	3 a	4 a
6月15日	無耕起区	93 a	32.3 b	0.35 b	11 c	23 b
	10月耕起区	164 b	22.4 b	0.13 a	8 b	11 a
	11月耕起区	104 a	26.3 b	0.26 b	12 c	21 b
	２回耕起区	137 b	11.4 a	0.08 a	5 a	7 a
7月15日	無耕起区	65 ab	18.1 b	0.27 b	12 b	31 b
	10月耕起区	83 b	13.1 ab	0.15 a	9 ab	18 a
	11月耕起区	48 a	6.2 a	0.13 a	9 a	20 a
	２回耕起区	65 ab	3.8 a	0.06 a	8 a	16 a
8月15日	無耕起区	66 a	3.1 a	0.04 a	7 a	9 a
	10月耕起区	68 a	3.1 a	0.04 a	7 ab	7 a
	11月耕起区	35 b	1.6 ab	0.05 a	7 a	8 a
	２回耕起区	32 b	0.8 b	0.02 a	4 b	5 a
9月15日	無耕起区	15 b	0.2 ab	0.02 a	4 a	5 a
	10月耕起区	28 a	1.3	0.04 a	4 a	5 a
	11月耕起区	7 b	0.0 b	0.01 a	3 a	3 a
	２回耕起区	9 b	0.1 b	0.01 a	3 a	4 a
10月15日	無耕起区	2 a	0.0 a	0.00 a	1 ab	1 a
	10月耕起区	2 a	0.0 a	0.00 a	1 a	1 a
	11月耕起区	0 a	0.0 a	0.00 a	0 b	0 a
	２回耕起区	0 a	0.0 a	0.00 a	0 ab	0 a
2002年5月15日	無耕起区	3 a	0.2 b	0.08 a	1 a	4 ab
	10月耕起区	10 a	0.4 ab	0.04 a	3 a	4 a
	11月耕起区	4 a	0.1 b	0.02 a	2 a	3 b
	２回耕起区	9 a	0.8 a	0.08 a	3 a	5 a

注．1）地上部重を発生数で除して個体重とした。
　　2）列内の同一英文字間は Tukey の方法で５％水準の有意差がないことを示す。

草種の発生源となる根茎はほとんど消滅した。なお，６月15日の地下部の根茎においても，面積あたりの根茎重は２回耕起区で最も少なく，面積あたり腋芽数およびＴＮＣ含有率も抑制された（表27）。

個体あたりの根茎重や根茎片の横走部の長さに及ぼす耕起の連続処理の影響を見ると，無耕起区（秋耕なし）と秋耕の処理区に有意差が無くなったのは2001年９月15日以降で，2001年５月15日から１か月間隔の耕起を行っているにも関わらず2000年の秋耕の有無がヒルガオの根茎サイズに対して2001年９月中旬頃まで影響することが示された（表28）。なお，耕起回数が１回の10月耕起区と11月耕起区では10月耕起区で根茎片のサイズが小さく，秋耕による根茎の細断化の効果が耕起の時期によって異なったが，主な原因は11月上中旬になると耕深の範囲に根茎が少なくなるため，11月耕起区では耕起による根茎の切断効果が小さいためと考える（伏見　2003）。次に，秋耕が根茎サイズ，とくにヒルガオの個体あたり根茎重の生育抑制に及ぼす影響を，繰り返し測定分散分析を用いて（Cole et al. 1966），秋耕の効果，除草期間の効果に分けて検討した。なお，除草期間は飼料用トウモロコシの要雑草防除期間に相当する５月15日から６月15日と６月15日から７月15日の両期間にわけて検討した。秋耕の効果，除草期間の効果および両交互作用にそれぞれ有意性が認められた（表29）。ここで両効果の交互作用が示されたため，個体あたり根茎重の減少に寄与する効果が大きい除草期間を，Key factor/key stage分析で検討したところ（山村　2001），個体あたりの根茎重の抑制は５月15日から６月15日の期間が，６月15日から７月15日の期間よりも大きいことが明らかになった（表30）。

以上のことから，ヒルガオが蔓延した耕作放棄地では５月中旬以降，１か月間隔で耕起を行うことで翌年にはヒルガオはほぼ消滅することが明らかになった。秋耕を行わない場合でも５月中旬からの１か月間隔の耕起で８月中旬以降にヒルガオの発生はほとんど無くなり，翌年にはヒルガオはほぼ消滅した。しかし，前年の秋耕は翌年の根茎サイズに影響するとともに５月中旬から６月中旬までのヒルガオの生育抑制に影響が大きいことが示された。とくに，10月と11月に繰り返し耕起をおこなった２回耕起区では，５月中旬から６月中旬の本草種の地上部および根茎の生育を面積あたり個体あたりともに抑制することが示された。なお，５月中旬から６月中旬は飼料用トウモロコシ栽培では要防除期間にあたるが，本試験で得られた結果は，３章１節で示した秋耕は要防除期間中のヒルガオの生育抑制に効果があることを理論付けていると考える。また，ヒルガオの根茎サイズと面積あたりの地上部重には正の相関が示され，根茎サイズが小さければ小さいほど面積あたりの地上部は減少を示した（図12）。本試験においてもSmith & Fretwellモデル（Smith et al. 1974）が示すように秋耕による個体あたり根茎重の減少と発生数の増加のトレードオフが示すヒルガオの生育の関係は地上部，地下部ともに減少させる方向に動いた。

表27　前年の秋耕および５月中旬からの１か月間隔の耕起によるヒルガオの根茎の生育抑制[1)]

調査月日	秋耕処理	根茎重（乾物 g/m^2）	腋芽数（個/m^2）	TNC含有率（乾物%）
2001年5月15日	無耕起区	−	−	9.6 a
	10月耕起区	21.9 a[2)]	485 a	6.5 a
	11月耕起区	34.1 a	426 a	6.4 a
	２回耕起区	16.5 a	486 a	5.6 a
6月15日	無耕起区	43.1 b	894 ab	8.7 ab
	10月耕起区	29.2 b	980 b	8.5 ab
	11月耕起区	30.2 b	677 a	11.5 b
	２回耕起区	7.7 a	659 a	5.2 a
7月15日	無耕起区	28.1 b	583 b	6.9 bc
	10月耕起区	12.7 ab	370 a	5.6 ab
	11月耕起区	14.3 ab	341 a	8.5 c
	２回耕起区	6.9 a	311 a	3.7 a
8月15日	無耕起区	13.0 a	373 a	8.9 a
	10月耕起区	5.5 b	335 a	9.5 a
	11月耕起区	2.8 b	150 ab	5.2 ab
	２回耕起区	0.8 b	81 b	2.0 b
9月15日	無耕起区	1.2 a	60 b	10.9 a
	10月耕起区	1.8 a	119	4.3 b
	11月耕起区	0.2 b	28 b	3.8 b
	２回耕起区	0.1 b	29 b	1.5 b
10月15日	無耕起区	0.1 a	3 a	2.2 a
	10月耕起区	0.0 a	2 a	1.1 a
	11月耕起区	0.0 a	0 a	0.0 a
	２回耕起区	0.0 a	0 a	0.1 a
2002年5月15日	無耕起区	0.1 a	18 a	6.6 a
	10月耕起区	0.8 a	33 a	5.7 a
	11月耕起区	0.4 a	19 a	2.1 a
	２回耕起区	1.4 a	53 a	5.8 a

注．1）根茎重と腋芽数は代表的な個体の各数値と地上部の発生数の積から算出した。
2）なお，５月15日の無耕起区は算出不能。
列内の同一英文字間はTukeyの方法で５%水準の有意差がないことを示す。

表28　前年の秋耕と５月中旬からの１か月間隔の耕起がヒルガオ根茎の個体あたり乾物重と形態に及ぼす影響[1)]

調査月日	秋耕処理	個体あたり根茎重	根茎の形態					
			垂直部			横走部		
		（乾物 g /個）	長さ（cm）	腋芽数（個/根茎片）	径（cm）	長さ（cm）	腋芽数（個/根茎片）	径（cm）
2001年5月15日	無耕起区（秋耕なし）	−		−			−	
	10月耕起区	0.26 b[2)]	5.9 b	3.6 b	1.2 a	5.6 b	2.3 b	3.9 a
	11月耕起区	0.88 a	11.2 a	4.7 a	1.1 a	22.8 a	7.1 a	4.4 a
	10月11月耕起区	0.16 b	3.7 b	3.8 ab	1.2 a	4.3 b	0.8 b	4.0 a
6月15日	無耕起区（秋耕なし）	0.48 a	10.9 a	3.7 a	1.3 a	19.6 a	7.2 a	3.3 a
	10月耕起区	0.18 bc	9.6 a	4.0 a	1.2 a	6.6 bc	2.0 bc	3.4 a
	11月耕起区	0.30 ab	9.4 a	4.1 a	1.1 a	10.5 b	2.6 b	3.4 a
	10月11月耕起区	0.06 c	8.1 a	4.1 a	1.0 a	3.0 c	0.7 c	3.5
7月15日	無耕起区（秋耕なし）	0.43 a	12.7 a	4.4 a	1.3 a	17.7 a	5.1 a	3.8 a
	10月耕起区	0.15 b	6.2 b	3.0 ab	1.3 a	5.7 b	1.5 b	3.6 a
	11月耕起区	0.33 ab	9.0 ab	4.3 ab	1.2 a	12.9 ab	3.6 ab	3.5 a
	10月11月耕起区	0.11 b	6.1 b	2.8 b	1.2 a	5.9 b	2.2 ab	3.7 a
8月15日	無耕起区（秋耕なし）	0.18 a	6.1 ab	2.4 a	1.2 a	11.9 a	3.6 a	2.1 a
	10月耕起区	0.08 b	6.2 ab	3.2 a	1.1 a	4.3 b	2.5 a	1.4 a
	11月耕起区	0.08 b	8.5 a	3.4 a	1.1 a	7.3 b	0.9 a	2.0 a
	10月11月耕起区	0.02 b	3.2 b	1.7 a	1.1 a	3.1 b	1.6 a	1.5 a
9月15日	無耕起区（秋耕なし）	0.07 a	5.6 a	2.7 a	1.2 a	5.9 a	1.8 a	1.9 b
	10月耕起区	0.07 ab	6.1 a	3.5 a	1.2 a	5.1 a	0.9 a	2.9 a
	11月耕起区	0.03 ab	4.6 a	2.9 a	1.1 a	5.3 a	1.5 a	2.1 ab
	10月11月耕起区	0.01 b	4.6 a	2.4 a	1.2 a	3.1 a	1.4 a	2.2 ab
10月15日	無耕起区（秋耕なし）	0.02 a	0.8 ab	0.5 b	1.1 a	5.1 ab	1.6 ab	1.6 a
	10月耕起区	0.01 a	3.9 a	2.8 a	1.2 a	6.3 a	1.9 a	1.9 a
	11月耕起区	0.00 a	0.0 b	0.0 b	0.0 a	0.0 b	0.0 b	0.0 b
	10月11月耕起区	0.01 a	0.9 ab	0.4 b	1.1 a	1.0 ab	0.0 b	0.6 ab
2002年5月15日	無耕起区（秋耕なし）	0.03 a	6.1 a	4.9 a	1.1 a	3.4 a	1.9 a	2.2 ab
	10月耕起区	0.07 a	6.7 a	4.1 a	1.2 a	4.2 a	0.6 a	3.4 a
	11月耕起区	0.06 a	5.3 a	2.6 a	1.1 a	3.8 a	1.0 a	1.8 b
	10月11月耕起区	0.11 a	7.7 a	4.4 a	1.2 a	6.3 a	1.3 a	2.3 ab

注．1）根茎の地上部に繋がる部分を垂直部，その基部を横走部とした。腋芽数は根茎上の視認できるところを数え，径は根茎の長径と短径の平均。
　なお，５月15日の無耕起区は算出不能。
2）列内の同一英文字間は Tukey の方法で５％水準の有意差がないことを示す。

表29　秋耕がヒルガオの個体あたりの根茎重に及ぼす影響についての繰り返し測定分散分析表[1)]

要因	*F*	*P*
秋耕処理	4.79	0.030
除草期間	11.10	0.006
秋耕処理法×除草期間	9.03	0.004

注．1）各区代表的な５個体のデータを用いた。

表30　秋耕がヒルガオの個体あたりの根茎重に及ぼす影響についての Key factor/key stage 分析結果表

要因	除草期間		合計	*F*	*P*
	5/15〜6/15[1)]	6/15〜7/15			
秋耕処理	18.6	0.1	18.7	0.33	0.18
誤差	10.6	12.1	22.7		
合計	29.2	12.2			

注．1）飼料用トウモロコシの要雑草防除期間

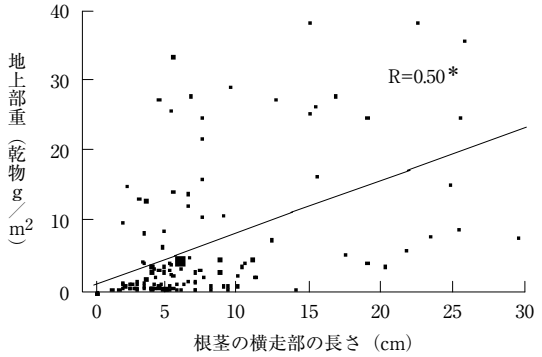

図12　ヒルガオの個体あたりの根茎サイズと面積あたりの地上部重の関係

注．根茎サイズを根茎の横走部の長さで示した。
2001年５月15日，６月15日，７月15日，８月15日，９月15日，10月15日および2002年５月15日のデータより作成した。
**P＜0.01

なお，耕作放棄地ということを考慮すれば年内に何度も耕起を行うことは実際には難しい為，例えば，ヒルガオでは当年の生育初期から栄養繁殖器官である根茎を伸長させるため，秋耕を行っても翌年５月中旬に１回のロータリー耕を行うだけであれば，８月中旬迄のヒルガオの生育盛期を考慮すると生育範囲の拡大を伴う蔓延に繋がることが十分に推察される。したがって，人手が限られる耕作放棄地では不十分な耕起による生育地の拡大を伴うヒルガオの蔓延が多いと考える。

２．刈取りによる制御

飼料畑におけるヒルガオの蔓延は，農作業の耕起によって，栄養繁殖器官である根茎が細断，拡散され，多数の新株が根茎から発生することが原因である（伏見　2000，笠原　1952）。このような根茎の断片化による蔓延を考慮すると，地上部の刈取り等によって予め根茎の節数を減らすこと，および根茎の貯蔵養分量を低下させておくことが効果的な制御技術の確立には重要と考える。刈取りによる本草種に対する根茎の成長制御は，恒温器における試験で，ヒルガオはヨメナおよびセイタカアワダチソウに比べて根茎の成長抑制が小さいことが示唆されているに過ぎない（佐藤ら　1986）。さらに，生育期間を通じた刈取りによるヒルガオの根茎の成長の制御に関する知見は見あたらない。そこで，生育期間中の地上部の刈取りがヒルガオの根茎の成長に及ぼす影響を調査した。とくに根茎の乾物重と腋芽数および貯蔵性炭水化物の含有率と刈取りの関係について検討した。

１）年１回の刈取りの影響

（１）材料および方法

東北農業試験場（盛岡市）で後述する試験１と試験２を実施した。試験１では1994年４月15日，試験２では1995年４月15日に，口径27cm，面積1/2,000aで容積13リットルのポリエチレン製ポットに場内の黒ボク土壌を１ポット当たり11kg充填し，複合肥料（6-9-6）を12.5ｇ混和した後，10cmのヒルガオの根茎を４個，20cmの根茎を１個，計５個を深さ５cmに植え付けた。供試根茎は，岩手県一戸町の飼料用トウモロコシ畑において1993年10月下旬に採取した１個体由来のものを場内の栽培試験圃場で増殖させ用いた。根茎の植え付けたポットは周囲の温度の影響を避けるため試験期間中は両試験とも１ポット毎に屋外の１立方メートル（１ｍ×ｍ×１ｍ）コンクリート枠試験圃に埋設した。なお，茎が巻き付くための支柱（長さ３ｍ，直径２㎝）をポットの両端に２本設置した。追肥は行わず，灌水は適宜行った。なお，根茎の植え付け量および根茎サイズはヒルガオの蔓延した飼料用トウモロコシ畑における根茎の現存量とその状態より算出した。また，供試根茎は頂芽を有する根茎で揃えることができないため，側芽のみで構成されている根茎を用いた。このようにして，1994年に植え付けた供試根茎は１ポット当たり新鮮重で10～13ｇ，腋芽数では20～30個，1995年に植え付けた供試根茎は１ポット当たり新鮮重で11～14g，腋芽数では19～33個となった。

1994年には年１回の刈取り処理を生育時期別に行い，地上部の再生と根茎の成長に及ぼす影響を調査した。５月15日の処理は初期生育時，６月15日と７月15日は地上部の生育が旺盛な時期，８月15日と９月15日は地上部の旺盛な生育の終了時の刈取りといえる。試験は５反復，刈取りは地際で行った。

10月15日に地上部および地下部を調査した。葉，茎，花および蕾の乾物をまとめて地上部重とした。地下部は堀あげて水洗した後，根茎の乾物重と腋芽数を調査した。さらに根茎の貯蔵性炭水化物を測定し，全非構造性糖（ＴＮＣ，Total Nonstructural Carbohydrate）で表した。ＴＮＣは，根茎の粉砕後酵素法で加水分解し，細胞壁（構造性糖）との分離および除蛋白を行い，フェノール硫酸法で測定した（Yamamoto et al. 1985，田村　1980）。

（２）結果および考察

ヒルガオの供試根茎からの萌芽は植え付け後15日

表31　年１回の刈取りがヒルガオの生育に及ぼす影響[1)]

刈取り日	年間の地上部生育量	根茎		
	地上部重（乾物g/ポット）	根茎重（乾物g/ポット）	腋芽数（個/ポット）	TNC含有率（%）
無処理区	57.0 a[2)]	153.9 a	2,312 a	16.5 a
5月15日	44.1 a	82.1 b	1,225 b	17.0 a
6月15日	50.2 a	80.6 b	1,295 b	16.0 a
7月15日	45.6 a	95.1 b	1,425 b	19.1 a
8月15日	45.3 a	70.3 b	1,067 b	15.9 a
9月15日	37.1 a	99.7 b	1,400 b	17.2 a

注．1）1994年に試験を実施した。数値は５ポットの平均値を示す。
　　2）同一英文字間は５％水準で有意差のないことを示す（Tukeyの方法）。

表32　刈取り回数がヒルガオの生育に及ぼす影響[1)]

刈取り回数	年間の地上部生育量	根茎		
	地上部重（乾物g/ポット）	根茎重（乾物g/ポット）	腋芽数（個/ポット）	TNC含有率（%）
無処理区	43.4 a[2)]	186.0 a	2,656 a	25.5 a
2回	83.3 b	46.5 b	1,156 b	20.5 a
5回	52.5 a	6.0 c	325 c	11.6 b
8回	50.3 a	0.3 c	24 c	－ ＊

注．1）1995年に試験を実施した。数値は５ポットの平均値を示す。
　　2）同一英文字間は５％水準で有意差のないことを示す（Tukeyの方法）。

であった。

年１回の刈取りが，年間の地上部の乾物生育量，根茎の乾物重と腋芽数およびＴＮＣ含有率に及ぼす影響を表31に示した。年間の地上部の乾物生育量は無処理区と刈取り区に有意な差は認められなかった。刈取り時期に関わらず，根茎の乾物重と腋芽数は無処理区と比べ有意に減少したが，再生にエネルギー源となるＴＮＣ含有率は無処理区と有意な差は認められなかった。このように，年１回の刈取り区の根茎の乾物重，腋芽数は無処理区に比べて有意に減少したが，植え付け時よりは大幅に増加していた。またＴＮＣ含有率は無処理区と差が認められなかった。これらのことから，年１回の刈取りではヒルガオの抑制は難しいと考えられた。

２）刈取り回数の影響

（１）材料および方法

1995年には８回，５回および２回の刈取りを行い地上部の再生と根茎の成長に及ぼす刈取り回数の影響を調査した。８回刈取りは５月15日，30日，６月15日，30日，７月15日，30日，８月15日および８月30日に行った。５回刈取りは５月15日，６月15日，７月15日，８月15日および９月15日に行った。２回刈取りは６月15日と８月15日に行った。各刈取り区とも10月15日に地上部と根茎の乾物重を調査した。反復数および調査方法は試験１と同じである。

（２）結果および考察

ヒルガオの供試根茎からの萌芽は植え付け後17日であった。

刈取り回数が地上部の年間の乾物生育量，根茎の乾物重と腋芽数およびＴＮＣ含有率に及ぼす影響を表32に示した。年間の地上部の乾物生育量は２回刈取り区が最も大きく，無処理区と５回および８回刈取り区には有意な差は認められなかった。２回刈取り区では無処理区と比べて根茎の乾物重と腋芽数は有意に減少したが，根茎のＴＮＣ含有率に有意な差は認められなかった。５回および８回刈取り区では無処理区および２回刈取り区と比べて根茎の乾物重，腋芽数およびＴＮＣ含有率は著しく抑制された。８回刈取り区では根茎の乾物重が少なく，ＴＮＣ含有率は測定できなかったが，植物の地下茎や根における貯蔵性炭水化物の含有率は一定の期間における刈取り回数と負の相関を示すことが示されている（Sprague et al. 1950）。このことから，８回刈取り区では５回刈取り区と比べて地上部の再生に根茎の貯蔵性炭水化物が多く利用されるため，ＴＮＣ含有率は低くなっていたものと考える。本試験は年内の試験であり，翌春の発生等については調査していない。しかし，８回刈取り区の根茎の乾物重と腋芽数および推定できるＴＮＣ含有率の低下から，年内の８回以上の刈取りは，ヒルガオの根茎の生育を強く抑制できると考える。

両試験の結果をふまえて防除の観点から刈取りによる根茎の成長の抑制を考察する。１回刈取り区と２回刈取り区では根茎の生育抑制が小さく，慣行で行われる飼料畑の播種期あるいは生育期における除草剤の１回処理では防除が難しいことの一端を表している。５回刈取り区では根茎の生育抑制の効果が認められたが腋芽数は多く十分ではない。８回の刈取り区は根茎の生育抑制の効果が期待できるが，農繁期に連続刈取りをしてヒルガオを防除することは

労働力確保の上で実現の可能性は皆無である。とくに，耕作放棄地では積極的な雑草管理を望むことは難しい。しかし，最近では人力に頼らず牛の採食行動によって雑草管理を行うことが高齢化の進む農村を対象に多いに検討されている。2005年３月に農林水産省より公表された「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」において，休耕水田，野草地および耕作放棄地を放牧利用することを推進の軸とした自給飼料の生産拡大が唱えられている（農林水産省生産局　2005a)。すなわち，ヒルガオが耕作放棄した飼料畑などで蔓延した場合，他の雑草管理を含めて人力による刈取りの代替として牛の採餌行動を利用した放牧が地上部の刈取りによる雑草防除に活用できると考える。雑草の放牧利用に対して毒性を持つ植物を除いては草種の配慮は必要としない。ヒルガオについては利尿効果のあるケンフェロール配糖体を含むが家畜に対して毒性の報告は見当たらない。現在，ヒルガオに限らず雑草が蔓延した耕作放棄地等を牛や山羊の餌場として活用することは飼料確保および耕地機能の維持に繋がり好ましいことと考えられ，耕作放棄地を利用した放牧事例は年々増加している（萬田　1998, 的場ら　2002)。一方，耕作地では飼料用トウモロコシ畑における除草期間は機械の作業効率から４月中旬から６月下旬までに限られるため，作付け中の圃場で刈取りを行うことは難しいが，本草種が蔓延した圃場が，輪作等によって１年間の休耕地化ができる場合には，根茎の成長抑制を考慮した地上部の多回刈りあるいは牛の採食行動による防除は可能と考える。

３．湛水による制御

現在，わが国の自給飼料増産の事業にも見られるように水田を転換畑として活用し，飼料作物を生産することが奨励されている（飯田　1984)。これまでに著者らは飼料畑において蔓延したヒルガオに対して対策を講じてきたが（伏見　1998)，飼料作物の生産拡大に伴いヒルガオの繁茂が転換畑においても懸念される。転換畑は本来，水田であり湛水化が比較的容易である。そこで，湛水化によるヒルガオの根茎の成長抑制による制御が期待できる。これまでの土壌水分と生育に関わる知見は，本草種は乾燥した畑土壌条件を生育地として好む一方，土壌水分に対する適応性も大きいことが観察されるに留まっている（竹松ら　1987)。本草種の生育と湛水条件の関係を湛水化による根茎の成長抑制として検討した例はない。さらに，地上部の発生前および発生後では，土壌水分が根茎の成長抑制に及ぼす影響が異なることも考えられる。そこで，土壌水分がヒルガオの発生前と発生後の根茎の成長抑制に及ぼす影響を検討した。

１）発生前の処理

（１）材料および方法

東北農業試験場（岩手県盛岡市，現東北農業研究センター）で，1/2,000ａのポリエチレン製ポット（内径27cm×高さ27cm）を用いて，ヒルガオが発生する前から土壌水分処理を開始する発生前試験を1998年に，発生した後から処理を開始する発生後試験を1997年に行った。土壌水分の程度と処理期間が根茎の成長抑制に及ぼす影響を検討するため，両試験とも土壌水分の程度は滞水面をポットの地際表面から上に５cmとした湛水，下に20cmとした過湿および滞水面を設けずに適宜灌水した対照の３水準を設け，処理期間は１か月および２か月の２水準とした。各処理５反復とした。1998年４月15日に場内の黒ボク土11kgを充填したポットに化成肥料（N－P_2O_5－K_2O ＝ 6－9－6%）を現物で12.5ｇ混和した後，ヒルガオが蔓延したトウモロコシ畑を模して根茎を植え付けた。根茎は長さ10cmおよび20cmをそれぞれ４および１本，計５本を深さ５cmに埋めた。ヒルガオの蔓の巻き付きを支持するためポットの両端に支柱を立てた。植え付けた根茎量は１ポット当たり新鮮重で８～11ｇ，腋芽数は18～25個であった。なお，根茎は1993年10月に岩手県一戸町の飼料用トウモロコシ圃場から１個体由来のものを採取し，場内の圃場で増殖させたものを供試した。滞水面を自動調節できる150cm×180cm×30cmの角形水槽にヒルガオを植え付けたポットを配置し，土壌水分を３水準に保った。処理期間は１か月処理では４月15日から５月15日まで，２か月処理では４月15日から６月15日までとした。

処理終了後に水槽の水を排水し，それぞれ試験終了日の８月15日まで対照区と同様に管理し，この期間をヒルガオ生育の回復期間とした。処理終了時と試験終了時に地上部，根茎および根の乾物重量を，さらに根茎については腋芽数および全非構造性炭水化物（ＴＮＣ，Total Nonstructural Carbohydrate）含有率を測定した（田村　1980, Yamamoto et al. 1985)。

（２）結果および考察

試験終了時の８月15日における各処理区の根茎の

乾物重と腋芽数およびＴＮＣ含有率を表33に示した。湛水・２か月区では根茎は腐敗し，腋芽も認められず，痕跡となり，根茎の生育抑制の効果は大きかった。湛水・１か月区でも各測定値は小さくなったが，根茎の生育抑制の効果は不十分であった。過湿・１か月区と過湿・２か月区では根茎重は対照区と比べて少なくなったが，腋芽数およびＴＮＣ含有率は対照区と比べて両区とも有意差はなく根茎の生育抑制の効果は小さかった。

根茎重と腋芽数について土壌水分処理の効果と期間処理の効果を知るために分散分析結果を表34に示した。土壌水分効果では両項目において，期間効果では根茎重に有意性が認められた。次に，土壌水分効果と期間効果の各効果が根茎の生育に及ぼす影響の比率を明らかにするために寄与率（田口ら　1979）を求めた。土壌水分効果による寄与率は根茎の乾物重および腋芽数のいずれにおいても期間効果のそれより大きい値を示した。このことから，地上部の発生前から土壌水分処理を始める場合，根茎の生育抑制には処理期間よりも土壌水分の程度が大きく影響することが明らかになった。

発生前試験の湛水区の処理期間および回復期間における器官別生育量を表35に示した。湛水・２か月区では処理期間中に地上部および根の発生は無く，根茎の乾物重，腋芽数およびＴＮＣ含有率は全て減少した。さらに，同区では処理終了時の６月15日には根茎の腐敗が観察され，回復期間中にも地上部および根の発生は無く，８月15日には根茎は痕跡となった。湛水・１か月区では全調査項目について処理期間中の生育は抑制されたが，処理終了後に回復した。

表33　ヒルガオの地上部発生前からの土壌水分処理による根茎の生育抑制[1)]

土壌水分処理	根茎重（乾物g/ポット）	腋芽数（個/ポット）	TNC含有率（%）
湛水・１か月区	10.00 c[2)]	214 b	11.2 b
湛水・２か月区	0.00 c	0 b	痕跡
過湿・１か月区	41.70 b	1,106 a	28.2 a
過湿・２か月区	36.70 b	1,042 a	25.4 a
対照区	53.30 a	1,385 a	25 a

注．1）各処理は1998年４月15日から開始した。試験終了日1998年８月15日のデータを示す。
2）同一添文字を付した値の間は５％水準で有意差がないことを示す（Tukey の方法）。

表34　地上部発生前からの土壌水分処理によるヒルガオ根茎の生育に対する分散分析結果

要因	自由度	根茎重		腋芽数	
		分散比	寄与率(%)	分散比	寄与率(%)
土壌水分効果	2	231.05**[1)]	91	134.30**	87
期間効果	2	5.36*	2	2.76	1
交互作用	4	0.04	0	0.81	0
誤差	36		7		12

注．1）**P＜0.01，*P＜0.05

表35　発生前試験の湛水区におけるポット当たりの器官別生育量の推移[1)]

調査月日	土壌水分処理	地上部	根茎			根
		地上部重（乾物g/ポット）	根茎重（乾物g/ポット）	腋芽数（個/ポット）	TNC含有率（%）	根重（乾物g/ポット）
4月15日	処理開始時	0	1.3	22	16.6	0
5月15日	湛水・１か月区[2)]	0.0　(0.0)[4)]	1.5　(0.2)	16　(－6)*	7.4　(－9.2)*	0.0 (0.0)*
	湛水・２か月区[3)]	－[5)]	－	－	－	－
	対照区	4.3	1.1	53	12.0	0.2
6月15日	湛水・１か月区	－	－	－	－	－
	湛水・２か月区	0.0　(0.0)	0.1 (－1.2)*	5 (－17)*	5.8 (－10.8)*	0.0 (0.0)*
	対照区	14.0	3.6	132	19.2	3.0
8月15日	湛水・１か月区	24.0 (24.0)*	10.0　(8.5)*	214　(198)*	18.7　(11.3)*	2.7 (2.7)*
	湛水・２か月区	0.0 (50.0)*	0.0 (－0.1)*	0　(－5)*	－　(－5.8)*	0.0 (0.0)*
	対照区	43.1	53.3	1,385	24.7	8.8

注．1）試験は1998年に実施した。
2）湛水・１か月区の処理期間は４月15日から５月15日、回復期間は５月15日から８月15日。
3）湛水・２か月区の処理期間は４月15日から６月15日、回復期間は６月15日から８月15日。
4）（　）内の数値は処理および回復の期間前後の増減を示し，対照区の対応する期間の増減と比べて５％水準で*は有意差有りを示す。
5）サンプル少量のため測定不能。

なお，対照区では処理開始時に比べ５月15日には根茎のＴＮＣ含有率は減少したが，これは地上部発生のため根茎の炭水化物がエネルギー源として利用されたためと考える。地上部の発生前からの湛水では地上部から根への通導による酸素の供給はないため，湛水区では根圏土壌は急速な酸素不足を経て嫌気状態となったと考える。そして，嫌気性微生物の活動が促され，次に嫌気性微生物の活動に起因する還元性のマンガン，鉄，硫化水素といった生育阻害物の発生が誘導されたと考えられる。とくに５月中旬以降は地温の上昇によって根圏土壌では生育阻害物や病原菌が増加したと推測される（縄田　1995，Russell 1981）。したがって，湛水・２か月区では処理期間中に生育阻害物に対する根茎の抵抗性が低下したため，６月15日までに根茎は腐敗したと考える。

表36　ヒルガオの地上部発生後からの土壌水分処理による根茎の生育抑制[1)]

土壌水分処理	根茎重（乾物g/ポット）	腋芽数（個/ポット）	TNC含有率（%）
湛水・１か月区	15.1 cd[2)]	650 bc	13.9 b
湛水・２か月区	4.8 d	369 c	2.5 c
過湿・１か月区	22.6 bc	772 b	14.4 b
過湿・２か月区	31.9 b	1,234 a	15.9 b
対照区	44.8 a	1,497 a	21.0 a

注．1）各処理は1997年４月15日から開始した。試験終了日1997年８月15日のデータを示す。
2）同一添文字を付した値の間は５％水準で有意差がないことを示す（Tukey の方法）。

２）発生後の処理

（１）材料および方法

1997年４月15日に発生前試験と同様にヒルガオを植え付けたが根茎量は１ポット当たり新鮮重で18～23g，腋芽数は19～22個であった。処理開始時の５月15日における地上部の草高は12±3cmで巻き付きは無かった。処理期間は１か月処理では５月15日から６月15日まで，２か月処理では５月15日から７月15日までとした。排水後，それぞれ８月15日までを回復期間とした。処理期間中の処理条件，回復期間中の管理条件，測定項目は発生前試験と同様である。試験を行った両年の気象は平年並に推移し，本草種の生育に及ぼした年次間の影響は小さいと考えられた。

（２）結果および考察

試験終了時の８月15日における各処理区の根茎重と腋芽数およびＴＮＣ含有率を表36に示した。湛水・２か月区で最も根茎の生育は抑制されたが，発生前試験と比べて腋芽数が多い等，根茎の制御の効果は不十分であった。湿潤区では処理期間に関わらず，根茎の生育抑制の効果は小さかった。

発生後試験の湛水区の処理期間および回復期間における器官別生育量を表37に示した。湛水・１か月区，湛水・２か月区ともに処理期間中には根重は減少したが，地上部重，根茎重，腋芽数およびＴＮＣ含有率は抑制されず，処理終了後に各器官は回復した。発生後試験では処理開始前に既に地上部が発生しているため，処理期間中に地上部から根茎に酸素

表37　発生後試験の湛水区におけるポット当たりの器官別生育量の推移[1)]

調査月日	土壌水分処理	地上部	根茎			根
		地上部重（乾物g/ポット）	根茎重（乾物g/ポット）	腋芽数（個/ポット）	TNC含有率（%）	根重（乾物g/ポット）
5月15日	処理開始時	10.6	4.0	65	14.8	2.4
6月15日	湛水・１か月区[2)]	9.9（－0.7）＊[4)]	3.9（－0.1）＊	79（14）＊	12.4（－2.4）	0.7（－1.7）＊
	湛水・２か月区[3)]	－	－	－	－	－
	対照区	18.9	5.8	152	15.6	2.5
7月15日	湛水・１か月区	－	－	－	－	－
	湛水・２か月区	11.7（1.1）＊	3.3（－0.7）＊	72（7）＊	12.4（－2.4）＊	0.4（－2.0）＊
	対照区	41.0	11.6	318	16.4	5.9
8月15日	湛水・１か月区	20.4（10.5）＊	15.1（11.2）＊	650（571）＊	13.9（1.5）＊	11.4（10.7）＊
	湛水・２か月区	16.2（4.5）＊	4.8（1.5）＊	339（267）＊	2.5（－9.9）＊	2.9（2.5）
	対照区	34.2	44.8	1,497	21.0	8.3

注．1）試験は1997年に実施した。
2）湛水・１か月区の処理期間は５月15日から６月15日，回復期間は６月15日から８月15日。
3）湛水・２か月区の処理期間は５月15日から７月15日，回復期間は７月15日から８月15日。
4）（　）内の数値は処理および回復の期間前後の増減を示し，対照区の対応する期間の増減と比べて５％水準で＊は有意差有りを示す。

の供給が行われた為と推測される（縄田　1995）。また，根では湛水条件への適応が生じたことも考えられる（田瀬ら　1994）。したがって，発生後試験の湛水では処理期間中は根茎の生育は停滞するが，２か月の湛水でも根茎は腐敗には至らず，排水後に回復したと考える。

従来，田畑輪換は雑草の制御のみならず，土壌の理化性の改善，土壌伝染性病害虫の制御などから効果の高い耕種的防除技術のひとつとして報告されている（草薙ら　1994）。雑草制御では，畑から田に転換した場合は水田雑草より畑雑草が優占し，畑から田に転換した場合は畑雑草より水田雑草が優占する。転換による土壌水分の変化が種子や多年生雑草の栄養繁殖器官に影響をあたえることになるが，転換畑でヒルガオの根茎の成長を抑制し消滅させるには地上部の発生前から２か月の湛水処理を行うことが必要であることが明らかになった。なお，本試験は１か月単位の処理であり，より厳密な湛水期間の検討が必要である。実際に転換畑を４月中旬から６月中旬まで湛水化した場合は，当該年度には飼料作物として耐湿性を有する栽培ヒエ，ハトムギ，オオクサキビおよび飼料イネ等の飼料作物の作付けを行うことが適当（飯田　1984）と考えられる。その後，ヒルガオの発生が減り土壌水分の影響が少なくなった翌年から，再び飼料用トウモロコシ等を栽培することが合理的と考える。なお，当初は転換畑の有する湛水化機能を利用してヒルガオを防除する目論見であったが，普通畑では秋耕，中耕などの耕起によって根茎の生育を制御しヒルガオを防除できることが判明したことから，転換畑においても飼料用トウモロコシの栽培管理に秋耕や中耕を組み込むことでヒルガオの防除は可能と考える。

本節では耕作放棄地化された飼料用転換畑におけるヒルガオの雑草管理に係る基礎知見を示したが，本章第２節で示したような「耕作放棄地を利用した放牧」などの土地活用が望ましい雑草管理であるとともに耕作放棄地の有効利用の形態の一つと考える。しかし，該当する農地は個人財産であることが多く，土地活用は個人の問題である。その一方，中山間地における耕作放棄地では耕作管理者が不在であることも多く，その土地利用は地域社会の問題となりつつある。そこで，2005年３月に閣議決定された「新たな食料・農業・農村基本計画」では，市町村や公共団体の調整機能としての役割が提言されている。具体的には，①地域の主体的な取組による耕作放棄地の発生防止・解消に向けて，市町村が中心となってその利用の増進を図る計画を策定し，明確な方針の下に，総合的な耕作放棄地対策に取り組むこと等を促進する。②農業委員会による指導の強化を促進するとともに，この計画に即した指導に従わない所有者の耕作放棄地について，都道府県知事の裁定により利用権が設定される仕組みを導入する。③市町村が耕作放棄地の所有者に緊急的な管理を行わせ，所有者が不明等の場合は自ら管理を行うことができる仕組み等を導入する等である。なお，農耕地としては，耕作放棄地の増加と共に転用も進んだ結果，戦後の食料難時代には人口7,000万人に対し農耕地は600万ha存在したが，現在は人口13,000万人に対して農耕地は471万haとなった（農林水産省2005）。今後も選択的輸入拡大で食料確保は進むと考えるが，耕作放棄地の増大に示されるようなわが国の中山間地域の過疎化や地域社会の消滅は，農林業など第一次産業への影響だけではなく，わが国の産業構造全体に悪影響を及ぼすと考えられ，早急な対応が望まれる。

４．摘　　要

① 本章では耕作放棄された飼料畑や飼料用転換畑においてヒルガオが蔓延した場合の制御を検討した。耕作放棄された飼料畑における制御として生育期間中の５月中旬からの１か月間隔の耕起および生育期間中の刈取りを検討した。飼料用転換畑における制御として土壌水分による制御をヒルガオの発生前と発生後に分けて検討した。

② 耕作放棄された飼料畑では５月中旬以降，１か月間隔で耕起を行うことで翌年にはヒルガオは根茎を含めてほぼ絶滅したが，年内を見ると８月中旬以降ヒルガオの発生はほとんど無くなることが明らかになった。

③ 秋耕によって５月中旬から６月中旬のヒルガオの生育が効果的に抑制できることが明らかになった。なお，５月中旬から６月中旬はヒルガオの地上部の生育盛期の一部にあたると共に飼料用トウモロコシ栽培では要防除期間に相当する。

④ 耕作放棄された飼料畑では５月中旬から８月下旬までの隔週で同期間中８回の刈取りで根茎の生育抑制の効果が期待できた。

⑤ 耕作放棄された転換畑でヒルガオの根茎の成長を抑制し消滅させるには地上部の発生前から２か

月の湛水処理を行うことが必要であることが明らかになった。

V　総合考察

本研究では飼料用トウモロコシ畑に蔓延が報告されたヒルガオについて，その栄養繁殖器官である根茎の生育特性を解明し，収穫後の秋耕が防除に繋がったことを報告した。1965年頃までは国内の作物栽培において飼料作物に関わらず秋耕，中耕などの耕耘が雑草防除に機械的防除として果たす役割は大きかった。しかし，近年の雑草防除は除草剤の利用による化学的防除が大勢であり，年間の作付け回数の減少と相まって，秋耕などが雑草の機械的防除に果たす役割は小さくなったと考える。本章第１節では米国で近年に普及した耕耘回数を減らした不耕起栽培で生じた雑草防除の問題点と国内の1965年以降の雑草防除の問題の変遷を参考に，秋耕など耕耘による雑草の機械的防除の重要性を考察した。さらに，国内の畑および水田の作付体系の現状と秋耕の実施の有無を概観した。本章第２節では研究結果に基づいて東北地域の飼料用トウモロコシ畑における秋耕によるヒルガオ防除を試案として提案した。

１．雑草の機械的防除の重要性

１）耕起回数の減少と多年生雑草の蔓延

近年，世界の主要穀物であるトウモロコシ，ダイズ，ムギは米国を中心に播種面積の拡大，作業時間および耕作に対する所要エネルギーの削減および農耕地の土壌浸食を防ぐことを目的に遺伝子組み換え作物を不耕起栽培で生産することが主流となりつつある（Anastasios et al. 2005，Martin et al. 2002，坂井　1988，坂井　1989）。国内ではムギ，ダイズの二毛作および飼料用イネにおける乾田および湛水の直播において技術開発が進み（小林ら　2002，長野間　1998，Sharma et al. 1988），農水省を中心に積極的に普及が促進されている。しかしながら，不耕起栽培は年間の圃場の耕起回数の減少に繋がるため，先進地の米国においても雑草防除の観点からは問題が多く（Froud-Williams et al. 1981），とくに多年生雑草の*Apocynum cannabinum* L.，*Cirsium arvense* L.，セイヨウタンポポ，セイヨウヒルガオ，シバムギ，*Hordeum jubatum* L. およびワルナスビの増加が指摘されている（Douglas 1995）。一方，国内で飼料用トウモロコシを不耕起栽培で連作した研究では，数年で一年生雑草が多くなると共に多年生雑草の発生によって，除草剤による防除が難しくなり，６年が収量確保から見た場合の継続限界であるという知見が得られている（坂井ら　1992）。また，不耕起栽培では雑草防除の観点からは単一作物の連作は難しく，トウモロコシ－ムギ類－ダイズ，ダイズ－ムギ類－トウモロコシのように２年間に３作などの作物のローテーションが求められる（Douglas 1995，竹内　1988，竹内　1989）。なお，導入が不利となる報告はスケールメリットが期待できる米国の大規模経営農家にも報告が多いが（Barber 1971，Dickey et al. 1983，Hakimi et al. 1976，Imholte et al. 1987），不耕起栽培によって雑草害による収量減を抑制することができず，除草剤費がコスト高に繋がるというパターンが多い（Allen et al. 1976，Derksen et al. 1996，Malhi et al. 1988）。すなわち，耕起作業の省略による作業時間の縮減や栽培面積規模の拡大による生産コストの削減を上回る損失が雑草害により生じていることが示されている。雑草防除の観点からは従来の耕起作業は雑草の機械的防除としての役割は大きく，除草剤費の低減として農家経営に寄与していることが示唆される。また，国内の飼料用トウモロコシ栽培では不耕起栽培の導入は経営規模に見合わないため，ほとんど見られないが，北海道の十勝地域の一部に1995年頃から米国に本社をおく外資系種苗会社による導入が見られ，同社の広報誌によると作業時間を補うためという理由が示されている。なお，不耕起栽培の進んだ米国では全州で除草剤の多用による除草剤抵抗性雑草の発生が問題となっている（Doug et al. 2002，Theodore et al. 1997）。

上記のように米国などでは耕起回数の減少と除草剤の多用を要する不耕起栽培では多年生雑草が発生し問題として挙がっているが，国内では1955年頃から多年生雑草が問題となっていることは第２章で紹介した。なお，1960年頃から従来の除草機による機械的防除が除草剤による化学的防除に置き換えられていくことによって，田畑を問わず多年生雑草の多発が見られると予想はされていた（中沢　1969）。しかしながら，過去50年から現在にわたり多年生雑草の問題は解決されていない。とくに水田では1975年頃から各種の多年生雑草が増加し現在も対処が難しく，原因は同一あるいは類似の除草剤の連用，稲作技術の変化として稚苗，中苗の機械移植により移植時期の早期化，雑草の機械的防除に関わる知見と

しては除草剤利用による中耕除草回数の著しい減少，水田の耕起がプラウ耕からロータリー耕に変わったことおよび水田の一毛作化により秋冬期の土壌攪乱がなくなったことが指摘されている（草薙　1984）。また，除草剤の連用に起因する雑草群落の変化は畑地などより強力な除草剤の施用が行われる果樹園，非農耕地において発現している（伊藤ら　1984）。なお，化学的防除が大勢を占める理由としては，当該の栽培期間の雑草抑制期間が機械的防除に比べ化学的防除は長期にわたり，例えば土壌処理剤で処理後２週間～１か月，除草剤によってはそれ以上に雑草の発生を抑制することが挙げられる。

２）秋耕など耕耘による雑草の機械的防除の効果

第１項で示したように近年の米国における不耕起栽培の普及および国内の1955年頃からの除草法の変遷の知見から多年生雑草の蔓延は，除草剤の多用や年間の耕起回数の減少によって雑草防除に占める機械的防除の比率が小さくなったためと考えられた。そこで，機械的雑草防除法であるプラウやロータリーなどの機具を利用した耕耘が作物生産と発生雑草に与える影響を検討した。

栽培管理の一環としての砕土，整地を目的とした耕耘と主に除草を目的とした中耕があるが，耕耘は反転耕（プラウ耕）と攪拌法（ロータリー耕）によって実施される。耕深の違いよりプラウ耕は深耕，ロータリー耕は浅耕と呼ばれることも多い。また作物栽培期間以外に行われる秋耕と春耕についてはプラウ耕またはロータリー耕が，栽培期間内の中耕についてはロータリー耕によって行われる。なお，近年では農耕地における耕耘はプラウ耕よりも作業能率や砕土精度が高いロータリー耕が中心となっており（農業機会学会　1996），秋耕，春耕においてもロータリー耕が多用される。なお，耕耘機具の農家所有は，耕耘と砕土を同時に行えるロータリーは地域や経営規模に関わらず所有されているが，プラウの所有は大規模農家に限られ，とくに都府県では大型の畜産農家や集団経営の一部に限られる。

雑草防除の観点から時期別の耕耘とその組み合わせを見ると，秋耕ではプラウ耕による反転耕が雑草発生の減少に効果的とする実証が多く，プラウで12～30cmの深さで耕起して地表面を反転すると，地表面付近の雑草種子や塊茎は出芽可能層より深く埋没するため，雑草発生数が著しく減少する（中沢　1969，佐藤ら　1965）。また，秋期に反転耕を行うことによって多年生雑草の栄養繁殖器官を土壌表面に露出させ，冬期の低温と乾燥で死滅させる（手島　1950）。これに対しロータリー耕は，一般に雑草発生抑制効果は少なく，むしろ発生を促進するという報告があり，この現象を利用して，秋に浅く攪拌耕を行って夏雑草の発生を促し，冬の寒さで枯らすことができる。秋耕と春耕の組み合わせについてはプラウ秋耕＋プラウ春耕がプラウ秋耕＋ロータリー春耕に比べて，雑草，特にイネ科（カヤツリグサを含む）の発生を著しく抑制できる。これはプラウ秋耕＋プラウ春耕はプラウ秋耕＋ロータリー春耕に比べ種子の密度が希薄になることに原因があると推察される（佐藤ら　1965）。作物の栽培期間中の中耕はロータリー耕で行われるが，作業時期により除去される対象となる草種は異なるので，次期の群落形成もその時期と効果により異なる。全般的には発芽時期に幅のあるメヒシバなどの草種，処理後の土壌の乾燥に対して抵抗力をもつもの，あるいは損傷に対して抵抗力をもつものが相対的に優占する傾向を見せる。中耕を行う時期は作物とともに雑草も生育盛期であることが多く，雑草防除からは対象雑草の再生力が問題となる。笠原の地上茎の再生試験によると挿苗株の素質にもよるが，畑地の夏季一年生雑草の再生力はツユクサで100%，メヒシバ，ケイヌビエは50～80%，エノキグサ，コニシキソウでは発茎するが発根は無く，タデ類は一般に再生力は無い一方，多年生雑草の再生力は草種に関わらず強いと報告している（笠原　1952）。半沢は傷害に対する抵抗力の強いもの，すなわち再生力が強い雑草として多年生雑草のエゾノキツネアザミ，ジシバリを挙げている（半沢　1910）。また，中耕除草された雑草が枯死するか否かは土壌水分に大きく左右され，土壌水分が少ないほど，雑草の引抜き，断根，埋没による殺草効果が高くなるとともに，草種によって切断後の茎葉からの水分消失速度が異なっており，これが乾燥に対する耐性と大きく結びついていることも明らかにされている（中沢　1969）。

秋耕および中耕と雑草の発生に関する総括は本試験を行った北東北に近い栽培条件を示す北海道の一年生雑草の生理生態から得られた渡邉の知見が詳しい（渡邉　1978，渡邉ら　1981）。それによると，秋耕については，①除草を回避した雑草あるいは晩生発生雑草の結実を防止する。②下層の環境休眠種子を表層化し，低温発芽性雑草の発生を即して冬期

間に夏季一年生草を枯死させる。③新種子を土中に埋没させ，土中生存期間の短いイネ科雑草の死滅を促進するなどとした。中耕については，①発生中の幼植物に対して除草効果を発揮する一方，下層の雑草種子を表層に出し，それらの発芽・発生を助長する。②雑草防除とかかわりなく春の地温上昇，降雨後の土壌への通気促進効果がある。③作物栽植下における多年生雑草の定着を防止する等を挙げている。なお，収穫後の秋耕と融雪後の春耕による除草効果を比べると，当作については播種前に整地作業が行われる作物では秋耕と春耕の効果の差はないように思われるが，秋耕によって発生した雑草は作物の播種作業に付随して除去され，土中の種子密度が低下するため，年次を重ねると秋耕の効果は春耕に比べて大きくなることを示唆するとともに，多年生雑草の増殖防止には経験的観察として春耕に比べて秋耕が大きいことを述べている。

3）国内の畑および水田における作付体系の変遷と秋耕の組み込み

さて，秋耕や中耕などの耕耘が多年生雑草などの雑草防除に効果があることを第2項で示したが，とくに秋耕については作物の作付体系によって実施の有無が決まることが多い。そこで，国内の畑および水田の土地利用の現状について概略を説明する。なお，畑については畜産農家と耕種農家にわけて示した。

近年では畜産農家の畑で栽培される飼料作物は中間生産物であるため「捨て作り」のような実態も見られるが，関東以北では北海道の十勝地域まで夏作の飼料用トウモロコシの単作となる一方（八槻ら 1989），関東以西では夏作の飼料用トウモロコシ，ソルガムと冬作のイタリアンライグラス，麦作などの組み合わせとなる（桑原ら　1988，眞田　1993）。耕種農家の畑については，北海道では根菜類およびコムギ，エンバクなどのイネ科の比重が多く網走地方まで拡がっている冬期休閑型の一方，都府県ではムギなどのイネ科作物を含まない作付体系が多く，東海以北では冬期休閑型，関東以西では夏期，または冬期休閑型の土地利用が大半を占めている（大久保　1982）。都府県の畑の土地利用については1955年以降の野菜栽培技術の急速な進歩が作型を分化し，生育期間の短い春夏作，夏秋作，秋冬作野菜が急増し，マルチ栽培がこれに対応した一方，土地利用を時系列で見た場合では土地利用率が著しく低下し，化学肥料の大量利用とイネ科作物の不作付けによる有機物不足により，地力の低下が指摘されている（大久保　1982）。左記のように畑作では関東以南の畜産農家を除き，裏作を行っているところは事例に留まるのが現状と考える。水田については高米価政策により地域を問わずイネ単作が多い一方，1970年以降の転作や田畑輪換の施策誘導によって事例的に畑的作付けへの移行を模索しているのが実態と考える。なお，耕地の作付体系は時代性があり，各時代の経済情勢，政策，技術革新などの影響を強く受けているが（大久保　1982），耕種農家において水田，畑を問わずムギの裏作がほとんど無くなったことは1960年の貿易の自由化によるムギ価格の相対的低下に起因する。左記のことから作付体系に基づく秋耕は関東以西の畜産農家では実施されていることが示唆されるが，耕種農家の畑では作付け体系から裏作がほとんど無くなった結果，秋耕の実施は少なく，田においても秋耕の実施は人手不足等からも少なくなっていると考える。以上の国内の田畑の作付け実態を考慮すると，現在の除草剤の利用に過度に依存した化学的防除に起因すると考えられる多年生雑草をはじめとする難防除雑草は，現行の栽培体系に秋耕を組み合わせることによって防除できると考える。しかし，裏作の無い地域では畜産農家，耕種農家を問わず秋耕を雑草の機械的防除として意図的に作業体系に組み込む必要がある。

2．秋耕による東北地域の飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオ防除の試案

はじめに戦後の東北地域の雑草防除法の変遷について畑作を中心に示すと，現在の化学防除が普及する1955年より以前の東北地域の除草法は東北の中部を境にして，北東北では寒地乾燥気象に適応した機械除草による作業能率を重視した方法，南東北では暖地湿潤気象に適応した作業能率よりも人力の鎌除草に代表されるような作業効果を重視した方法が展開したことが報告され，除草法の違いによって北東北では広葉雑草の発生が多く，南東北ではメヒシバが優占したなどの雑草種の地域差が示された（中山 1975）。しかし，除草剤による化学的防除法の普及は発生する雑草の構成にも影響を与えたとみられ，大勢を除草剤に依存する現在では防除法に地域差は無く，作物の栽培体系ごとの発生草種の違いも小さくなったと考える。なお，飼料用トウモロコシ栽培も全国的な畑雑草防除の傾向と同じく1965年頃から数年で，東北地域においても要雑草防除期間中の

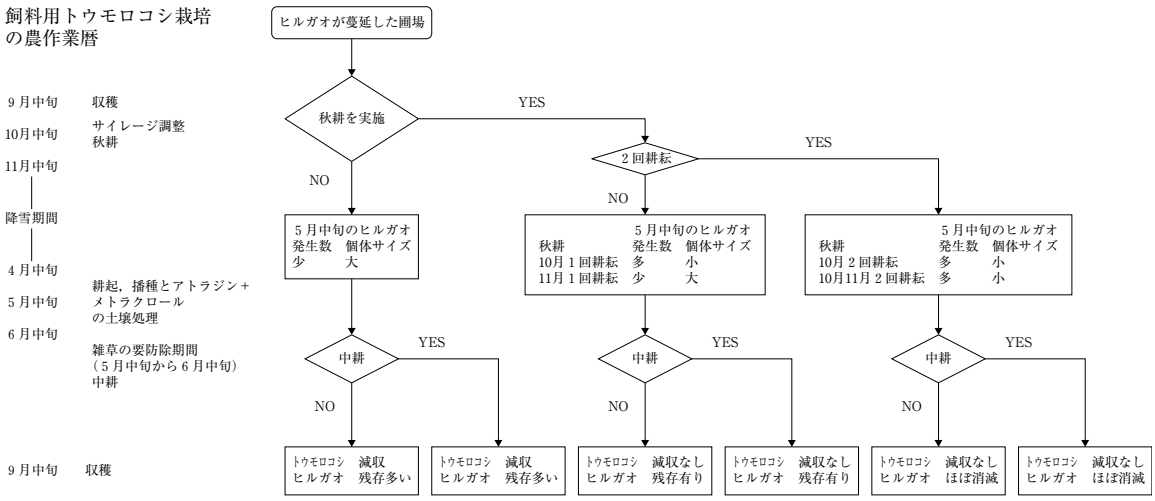

図13　東北地域などの飼料用トウモロコシ畑（1年1作地域）における秋耕によるヒルガオ防除フローチャート

ホー除草や中耕除草などは播種後の土壌処理剤に完全に代替された（飯田　1988）。

さて，以上のように秋耕の実施の衰退と秋耕の雑草防除の機械的防除に果たす役割を挙げてきたが，本研究を実施した東北地域における飼料用トウモロコシ畑におけるヒルガオ防除の体系の試案をここに提示する。

本研究で得られた結果をまとめて東北地域に蔓延したヒルガオの秋耕による防除のフローチャートを図13に示した。図13によると，ヒルガオが蔓延した飼料畑において10月2回耕耘あるいは10月11月2回耕耘と現行のアトラジン＋メトラクロール剤の土壌処理を組み合わせることで翌年の飼料用トウモロコシの減収は無くなり，ヒルガオはほぼ消滅する。また，10月1回耕耘あるいは11月1回耕耘の1回の秋耕ではアトラジン＋メトラクロール剤および栽培期間中の中耕を組み合わせることによって飼料用トウモロコシの減収は無くなる。秋耕および中耕によるヒルガオの機械的防除には必ず1回以上の秋耕が必要である。前年の秋耕によるヒルガオ根茎の細断化が，翌年において面積あたりの発生数の増加と個体サイズの減少が生じるが，第3章で紹介したSmith & Fretwellモデルが支持するように発生数の増加と個体サイズの減少というトレードオフのヒルガオの生育に対する結果は，面積あたりの地上部重を減少させる方向に働く。とくに飼料用トウモロコシの栽培期間中の5月中旬から6月中旬の要雑草防除期中におけるヒルガオの生育抑制に効果があったことが，収量減を防ぎヒルガオ防除に繋がる。なお，従来の飼料用トウモロコシに係る除草体系は除草剤播種後土壌処理に続く，播種後約20日間の要雑草防除期間中の中耕・培土が基本である（草薙ら　1994，野口　1983）。しかし，本試験を行った盛岡市近郊の農家を含め国内の大部分の農家では飼料用トウモロコシの除草に関わる栽培管理は播種時におこなうアトラジン＋メトラクロール剤の散布は実施されるが，要雑草防除期間中に中耕や茎葉処理剤および秋耕などによる雑草管理を行うことはほとんどない。本研究で示されたように要雑草防除期間中の中耕は秋耕の有無や回数に関わらずトウモロコシ収量およびヒルガオの残存に及ぼす影響は小さいため，慣行のように実施しなくても良いが，収穫後の秋耕はこれらに及ぼす影響は大きいため，ヒルガオ防除として実施することは必須である。

次に実際の飼料用トウモロコシ栽培に秋耕を組み込むため，盛岡市のアメダスデータおよび近郊の栽培暦より秋耕の実施期間を検討する。気象状況については盛岡市の1951年から1993年に至るアメダスデータの平均値によると，霜終日は5月4日，霜初日は10月15日であり，普通作物を含め作物栽培期間は5月上旬から10月中旬である（表38，図14，図15）。なお，盛岡市近郊の初雪日は11月10日であり，圃場作業の限界日は11月上旬と考える。なお，雪終日は4月16日であり，雪日数で157日となる（表38，図15）。

次に，飼料用トウモロコシの栽培暦より秋耕の期間を検討した。飼料用トウモロコシの種子の大部分

表38　盛岡市における霜雪に関する暦日と飼料用トウモロコシ栽培の農作業暦[1)]

霜雪および農作業に関する暦日		日数		
雪終日	4月16日	208	30	
霜終日	5月4日			
播種日	5月16日		131	
絹糸抽出日	8月4日			
黄熟期	9月24日			
霜初日	10月15日		47	
雪初日	11月10日			
雪日数		157		

注．1）飼料用トウモロコシの栽培に関する暦日データは岩手県畜産試験場および東北農業研究センターにおける1992年～1999年におけ栽培試験の結果。
2）霜雪に関する暦日データは1951年～1993年を財団法人気象業務支援センターから入手した。

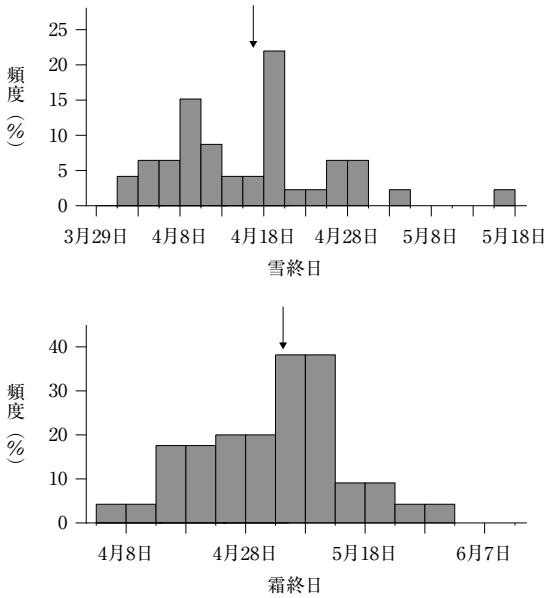

図14　盛岡市における春期の雪終および霜終の暦日の頻度分布
注．矢印は平均値を示す。
財団法人気象業務支援センター（1951年～1993年）のデータより作成。

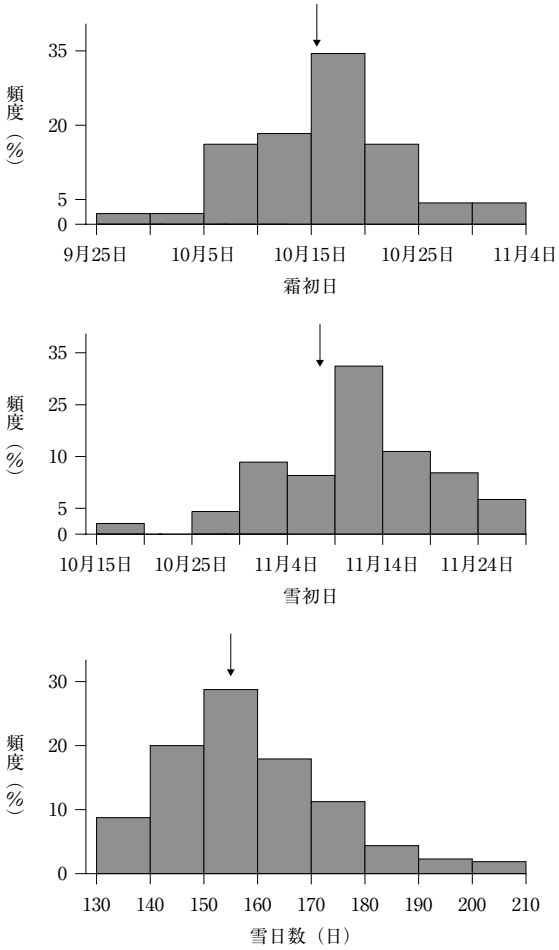

図15　盛岡市における秋期の霜初および雪初の暦日と雪日数の頻度分布
注．矢印は平均値を示す。
財団法人気象業務支援センター（1951年～1993年）のデータより作成。

は外資系種苗会社からF_1種子として国内へ供給されるが，市販品種は100前後と多く，早晩性も栽培日数で80日から130日と幅広いため，秋耕の実施には品種毎の収穫適期を考慮する必要があった。東北農業研究センター畜産草地部飼料生産研究室による東北地域トウモロコシ品種評価協定試験の結果によると，盛岡市近郊の岩手県畜産試験場などの1992年から1999年の栽培試験の平均暦日を見ると，全ての早晩性を含めた品種の結果として５月16日に播種，８月４日に絹糸の抽出，９月24日に収穫適期の黄熟期を迎え，栽培期間としては131日が平均日数で，とくに収穫適期は８月26日から10月30日迄となった（表38，図16）。品種間差による収穫時期の幅を考慮しても，11月中旬の初雪日までにヒルガオ防除に係る秋耕の実施は作業日程として確保できると考える。なお，本試験では飼料用トウモロコシの収穫後のサイレージ調整のための期間を考慮し，10月中旬と11月中旬に秋耕を行った。しかし，９月中旬以降の耕起深の範囲の根茎量の推移より収穫後できるだけ早く秋耕を行うことが望ましい一方，霜が降りると圃場の乾燥のため２～３日は機械作業が延期されることから，秋耕は黄熟期の９月24日～霜初日の10月15日迄に，収穫後速やかに実施することが望まし

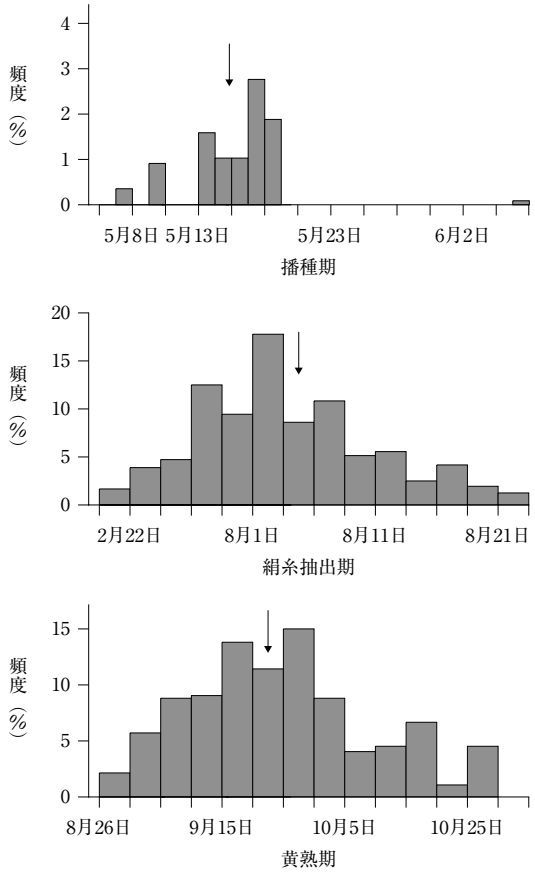

図16　盛岡市における飼料用トウモロコシの播種期，絹糸抽出期および黄熟期の暦日の頻度分布

注．矢印は平均値を示す。
東北農業研究センターと岩手県畜産試験場の1992年～1999年の８か年のデータから作成。東北地域トウモロコシ品種評価協定試験に基づくデータである。

いと考える。実際の畜産農家レベルでは秋耕の作業日の推定はサイレージ調整のための必要日数が飼料生産規模，機械装備などにより異なるため難しいが，寒冷地向け飼料用トウモロコシでは早生品種の育成と現場への導入が速やかに進んだため（大同　2000），北東北でも収穫時期が９月の中・下旬と早くなり（伏見ら　1996），秋耕を行う期間は確保され易い現状である。さらに，最近，生研機構で開発されたワンマン作業が可能となる細断型ロールベーラー収穫調整技術の導入が進むと従来の組作業から解放されるため（志藤ら　2002），農家ごとに作業予定が明確になり，秋耕は現行に比べて実施し易くなると考える。

以上のように，前年の収穫後できるだけ速やかに秋耕を行うことが当年のヒルガオ防除に繋がるという試案は，慣行の飼料用トウモロコシ栽培に秋耕を付加することのみによるが，飼料用トウモロコシ播種時に用いるロータリーが利用できるため，新たな機械導入の必要が無いことおよび作業日の確保が十分に可能であること等を特徴として持つ。なお，収穫後，秋耕を行うことはヒルガオ防除に繋がるというばかりではなく，飼料用トウモロコシの収穫後の株もとの腐熟を促進させることからも重要な作業といえよう。秋耕による防除が不十分な場合は中耕を組み合わせることで防除できるが，中耕には飼料用トウモロコシの草高よりも車高の高い専用機が必要となる。また，中耕は飼料用トウモロコシの根を切断することが多いため台風などで倒伏を招きやすいことおよび倒伏した飼料用トウモロコシがあると収穫時に土砂が混入しやすくサイレージの品質が低下することが示されている（飯田　1988）。したがって，できるだけ秋耕によってヒルガオを防除することが望ましいと考える。なお，本研究を実施した北東北では飼料用トウモロコシの１年１作体系が確立しているが，９月中旬の飼料用トウモロコシを収穫後，ライムギ（*Secale cereale* L.）あるいはコムギ（*Triticum aestivum* L.）とライムギの属間雑種のライコムギ（× *Triticosecale* Wittmack）を播種し，翌年の５月中旬に収穫した後，直ちに極早生の飼料用トウモロコシを播種し収量を確保することは技術的には可能である（萩野ら　1999，野口ら　1989，魚住ら　2005）。飼料用トウモロコシとライムギなどの２毛作の導入は北東北における圃場の生産性の向上とともに年間の圃場の耕起回数の増加に繋がるため普及を期待したい。

さて，2005年３月に閣議決定された「新たな食料・農業・農村基本計画」において，農業生産の重要な基盤となる農地については，農業従事者の減少・高齢化が進む中で地域における農地利用の中心的な受け皿となる担い手の育成・確保が進んでいないこと，低・未利用地の活用の観点からも期待されていた畜産と耕種の連携による飼料作物の生産が進まなかったこと等により，効率的な農地利用が実現しておらず，逆に不作付地・耕作放棄地が増加していることが指摘されている（農林水産省　2005）。畜産分野では1991年の牛肉自由化から始まった国際競争の中で，利益追求型の飼養頭数の大規模化などに対応できる担い手は確保されたが，農地活用の問題として農地に依存しない飼料確保や手抜き栽培が拡大したことは否めない。その一方，耕種分野では

稲作経営に対する高米価生産調整政策のため，市場原理が働かず担い手不足と農地活用の問題が共に解決されないのは周知のとおりである。本研究で示した秋耕による多年生雑草のヒルガオの防除法の試案は農業の担い手であれば畜産分野，耕種分野を問わず，誰でも取り組める簡単な技術であるとして提案した。そして除草剤の利用は従来の慣行利用の範囲とし，飼料用トウモロコシ収穫後の秋耕によってヒルガオの根茎を細断化することで防除した。秋耕は裏作を伴うのが圃場の生産性向上の観点から望ましいが，秋耕は雑草の機械的防除につながり，除草剤利用に偏向した現在の雑草管理体系に起因する多年生雑草の発生やコスト高にも対処できる技術として示した。

本研究では慣行の飼料用トウモロコシ栽培における雑草の化学的防除に秋耕という機械的防除を組み合わせて多年生雑草のヒルガオを防除した。最後に今後のわが国の農耕地における雑草防除の方向性を示してみると，従来の除草剤を利用した化学的防除による減収阻止と労働量の低減の目的に加え，近年では食の安全・安心に対する消費者の意識向上に配慮することが重要であると考える。雑草防除は除草剤による化学的防除，耕耘などの機械的防除，リビングマルチなど生物学的防除などに大別されるが，とくに遺伝子組み替えによる除草剤抵抗性作物の生産が見込めない現状では，化学的防除に機械的防除あるいは生物学的防除を組み合わせて対処することが今後の雑草防除の方向性であると考える。なお，農業に携わる担い手不足の解消が農政の大きな関心事であるが（農林水産省　2005c），わが国は石油をはじめ資源を持たず，さらに人口減少社会である。このような社会では高次産業に依存した社会基盤の発展が望ましく，今後も農業への若年層の就労は最小限で推移し，バイテク産業などの高付加価値の生産分野を除いた従来の農業生産では現在よりもさらに高齢者が従事すると考える。また，建設業など異業種からの農業分野への人材の参入も考えられるが，雑草防除に限らず農業技術一般において関わる技術は高齢者や初心者にも負担なく実施できることが重要であると考える。

要　　約

元来，ヒルガオの生育地は住宅地の周辺から道ばた，畦畔，空き地など非農耕地が主である。本草種は梅雨明けから晩夏に可憐なピンク色の花を咲かせる蔓性の多年生植物であり，江戸時代には観賞用に栽培されたこともあり，近年まで農耕地の雑草として認識されることは少なかった。しかし，1995年に東北地域の飼料用トウモロコシ畑で多年生雑草としてのヒルガオの蔓延が報告された。

農耕地で植物が雑草化するには地理的条件のみならず除草剤や栽培条件などの人為的な条件に適応した場合に限られる。従来から人為的行為によって制御されている農耕地には省力栽培と揶揄される飼料用トウモロコシ畑にさえヒルガオの侵入する余地は無かったと推察される。しかしながら，1990年の牛肉自由化が始まって５年，わが国の畜産は酪農経営，肉用牛経営を問わず飼養頭数の大規模化によって利益を追求する現在の我が国の畜産経営のスタイルが軌道に乗りだした時期と同じく，飼料用トウモロコシ畑にヒルガオが発生した。すなわち飼養頭数の規模拡大によって利潤を追求する経営方針のため，飼料作物の栽培管理に手間をかける意欲が沸いてこない畜産農家の飼料畑にヒルガオが適応し雑草化したと推察できた。

本草種の元来の生育地である住宅地の周辺から道ばた，畦畔，空き地などの非農耕地と飼料用トウモロコシ畑などの農耕地の人為的行為の違いを検証したところ耕起の有無がヒルガオの発生要因の一つとして考えられた。また，畜産農家では飼料用トウモロコシ収穫後はサイレージ調整に忙しいため秋耕が蔑ろにされる傾向にあった。そこで，ヒルガオの栄養繁殖器官である根茎の成長を解明し，飼料用トウモロコシの栽培暦を考慮のうえ秋耕による根茎の細断化によるヒルガオ防除に成功した。さらに今後，わが国では耕作放棄地が増大することが危惧される為，耕作放棄された飼料畑あるいは飼料用転換畑におけるヒルガオの制御について知見を得た。また，飼料用トウモロコシに蔓延したヒルガオの秋耕による防除について作業日数の確保から実行性を検討し，担い手にとって取り組みが簡単であるところを示した。それらの研究成果の概要は以下のとおりである。

１．飼料用トウモロコシ畑に蔓延したヒルガオの生態的弱点を把握する目的で，ヒルガオの栄養繁殖器官である根茎の乾物生産を主に調査した。

①　ヒルガオは１年目では遺伝的に同一であると共に根茎によって結びついた同一個体として成

長しパッチを形成するが，２年目では株基部の枯死により遺伝的には同一であるが，生理的，体制的には独立した個体として成長し，パッチを形成することが判明した。

② ヒルガオは１年目，２年目ともに４月中旬から10月中旬の生育期間中，常に光合成産物を高い割合で根茎の先端方向に分配し，外側に生育範囲を拡大することが明らかになった。

③ ヒルガオの地上部の旺盛な生育は植え付け後２か月間であり，６月下旬頃から８月中旬頃に地上部の旺盛な生育は終了した。

④ 根茎の器官別乾物重の比率は植え付け後２か月頃の６月中旬から増加し，試験終了時には70%を示した。地下部栄養繁殖器官の根茎の旺盛な生育は６月下旬頃から試験終了時の10月中旬まで行われた。

⑤ ９月中旬から11月上旬までに地表面から15cm以内の根茎の貯蔵性炭水化物含有率は減少し，それ以降は12月中旬までの各調査日でほとんど検出できなかった。11月上，中旬になると秋耕を行う耕深の範囲に充実した根茎が少ないことが明らかになった。

⑥ 10月中旬から１月中旬迄に根茎の乾物重と腋芽数は減少し，翌年の発生に関わる越冬根茎の乾物重と腋芽数は１月中旬にはほぼ一定になることが明らかになった。なお，腋芽重では10月中旬から増加し４月中旬には10月中旬の２倍を示し，根茎の乾物率も同期間中に増大した。

⑦ ヒルガオの蔓延した飼料用トウモロコシ畑で越冬根茎を５月中旬に採種したところ根茎の主軸部分について乾物重は2.7ｇ，腋芽数は15，根茎長は50cmを各測定項目の平均値として示した。

２．飼料用トウモロコシの慣行栽培に栽培の前年に秋耕を付加することでヒルガオを防除できることを明らかにし，防除に至る要因の解明をヒルガオの根茎サイズから考察した。また，除草剤による防除として秋耕に土壌処理と茎葉処理を組み合わせたヒルガオ防除について検討した。

① ２回の秋耕と慣行のアトラジン・メトラクロール剤の土壌処理で飼料用トウモロコシ収量への影響はほとんどなくなり，ヒルガオはほぼ消滅することが明らかになった。

② １回の秋耕では上記の除草剤処理と栽培期間中の中耕を組み合わせることで飼料用トウモロコシ収量への影響を無くし，ヒルガオを防除できることが明らかになった。

③ Smith & Fretwellモデルが支持するように，秋耕による根茎の細断化による個体あたり根茎重の減少と面積あたり発生数の増加は，ヒルガオの面積あたりの地上部重を減少させる方向に動くため，飼料用トウモロコシの栽培期間中におけるヒルガオの制御に効果があった。

④ 栽培後に秋耕を加え主要因の栽培前年秋耕，栽培期間中の中耕および栽培後秋耕による次年度のヒルガオの抑制効果を分散分析で検討した結果，３つの主要因は翌年の面積あたりのヒルガオの発生数，地上部重，根茎重および腋芽数のそれぞれに有意な減少効果を示した。「栽培前年秋耕あり・中耕あり・栽培後秋耕あり」および「栽培前年秋耕あり・中耕なし・栽培後秋耕あり」で，翌年の飼料用トウモロコシの播種時期にはヒルガオの地上部および根茎は殆ど認められなかった。さらに，全測定項目において栽培前年秋耕と栽培後秋耕は，栽培期間中の中耕よりも寄与率は大きく，中耕よりも秋耕がヒルガオの防除に効果があることが示された。また，全測定項目で栽培前年秋耕は栽培後秋耕の寄与率よりも大きい傾向があり，飼料用トウモロコシ畑にヒルガオが発生した場合は収穫後，直ちに秋耕を行うことが防除に効果があることが示された。

⑤ 土壌処理剤アトラジン・メトラクロールと茎葉処理剤ベンタゾンあるいはハロスルフロンメチルの体系処理でヒルガオに対して高い除草効果が得られ，飼料用トウモロコシへの薬害も認められず，収量を確保できた。なお，秋耕によって６月中旬のヒルガオの個体あたりの地上部重が小さくなることによって両茎葉処理剤とも剤の効果発現が大きくなることが推察できた。

３．耕作放棄された飼料畑や飼料用転換畑においてヒルガオが蔓延した場合の制御を検討した。飼料畑における制御として生育期間中の５月中旬からの１か月間隔の耕起および生育期間中の刈取りを検討した。飼料用転換畑における制御として転換畑が本来有する湛水機能が利用できることを考慮し，土壌水分によるヒルガオの制御を発生前と発生後に分けて検討した。

① 耕作放棄された飼料畑では５月中旬以降，１か月間隔で耕起を行うことで翌年にはヒルガオは根茎を含めてほぼ絶滅したが，年内を見ると８月中旬以降ヒルガオの発生はほとんど無くなることが明らかになった。

② 秋耕によって５月中旬から６月中旬のヒルガオの生育が効果的に抑制できることが明らかになった。なお，５月中旬から６月中旬はヒルガオの地上部の生育盛期の一部にあたると共に飼料用トウモロコシ栽培では要防除期間に相当する。

③ 耕作放棄された飼料畑では５月中旬から８月下旬までの隔週で同期間中８回の刈取りで根茎の生育抑制の効果が期待できた。

④ 耕作放棄された転換畑でヒルガオの根茎の成長を抑制し消滅させるには地上部の発生前から２か月の湛水処理を行うことが必要であることが明らかになった。

４．本研究を実施した東北農業研究センターが所在する岩手県盛岡市の気象条件と飼料用トウモロコシの栽培暦を紹介し，栽培前年に秋耕を付加することが東北地域の気象および栽培条件に合った実用的なヒルガオ防除法であることを示した。

① 盛岡市近郊の岩手県畜産試験場などの1992年から1999年の飼料用トウモロコシの栽培暦を見ると，全ての早晩性を含めた品種の結果として５月16日に播種，８月４日に絹糸の抽出，９月24日に収穫適期の黄熟期を迎え，栽培期間としては131日が平均の日数であった。なお，霜終日は５月４日，霜初日は10月15日であり，普通作物を含め作物栽培期間は５月上旬から10月中旬迄に限られる。積雪状況としては雪初日で11月10日，雪終日は４月16日，したがって，雪日数は157日に及ぶ。

② 本研究では飼料用トウモロコシの収穫後のサイレージ調整のための期間を考慮し，10月中旬と11月中旬に秋耕を行った。しかし，９月中旬以降の耕起深の範囲の根茎量の減少と霜の発生を考慮すると収穫後できるだけ早く秋耕を行うことが望ましい。とくに，霜が降りると圃場の乾燥のため２～３日は機械作業が延期されることより，秋の耕起は黄熟期の９月24日から霜初日の10月15日迄に実施することが望ましいと考えられた。

③ 前年の収穫後できるだけ速やかに秋耕を行うことが当年のヒルガオ防除に繋がるという試案は，慣行の飼料用トウモロコシ栽培に秋耕を付加することのみによるが，作業日の確保が十分に可能であることおよび飼料用トウモロコシ播種時に用いるロータリーが利用できるため，新たな機械導入が必要無いことの２点を特徴として持つ。

引用文献

1）阿部　弘．1966．桑園における雑草の競争．雑草研究　5：35-39.

2）Allen, F. W.; Brent, W. B.; Clay, D. S.; Monty, G. S.; Steve, A. 1997. Economic evaluation of field bindweed（*Convolvulus arvensis*）control. Weed Sci. 45 : 288-295.

3）Allen, R. R.; Musick, T. J.; Wiese. A. F. 1976. Limited tillage of furrow irrigated winter wheat. Trans. ASAE 19 : 234-236. 241.

4）Anastasios, S. L.; Constantinos, A. T.; Kico, V. D. 2005. Tillage effects on corn emergence, silage yield, and labor and fuel inputs in double cropping with wheat. Crop Sci. 45 : 2523-2528.

5）Anderson, W. P. 1999. Perennial Weeds. Iowa. Iowa State University Press. 219p.

6）Baker, H. G. 1974. The evolution of weeds. Annual Review of Ecology and Systematics 5 : 1-24.

7）Barber, S. A. 1971. Effect of tillage practice on corn（*Zea mays* L.）root distribution and morphology. Agronomy J. 63 : 724-726.

8）Benvenuti, S.; Dinelli, G.; Bonetti, A.; Catizone. P. 2005. Germination ecology, emergence and host detection in *Cuscuta campestris*. Weed Res. 45 : 270-278.

9）Cole, J. W. L.; Grizzle, J. E. 1966. Applications of multivariate analysis of variance to repeated measurements experiments. Biometrics 22 : 810-828.

10）大同久明．2000．トウモロコシ，ソルガムの有望品種．酪農ジャーナル 53 : 6-29.

11）DeGennaro, F. P.; Weller, S. C. 1984a. Growth and reproductive characteristics of field bind-

weed（*Convolvulus arvensis*）biotypes. Weed Sci. 32 : 525-528.

12）DeGennaro, F. P.; Weller, S. C. 1984b. Differential susceptibility of field bindweed（*Convolvulus arvensis*）biotypes to glyphosate. Weed Sci. 32 : 472-476.

13）Derksen, D. A.; Blackshaw, R. E.; Boyetchko, S. M. 1996. Sustainability, conservation tillage and weeds in Canada. Can. J. Plant Sci. 76 : 651-659.

14）Dickey, E. C.; Peterson, T. R.; Gilley, J. R.; Mielke, L. N.; 1983. Yield comparisons between continuous no till and tillage rotations. Trans. ASAE 26 : 1682-1686.

15）Doug, A. D.; Randy, L. A.; Robert, E. B.; Bruce, M. 2002. Weed dynamics and management strategies for cropping systems in the Northern Great Plains. Agronomy J. 94 : 174-185.

16）Douglas, D. B. 1995. Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. Crop Sci. 35 : 1247-1258.

17）遠藤敏夫，門馬信二，阿部　勇．1978．野菜畑における耕起および施肥が雑草の発生に及ぼす影響．東北農業研究 21 : 239-240.

18）榎本　敬，中川恭二郎．1977．セイタカアワダチソウに関する生態学的研究 第1報 種子および地下茎からの生長．雑草研究 22 : 202-208.

19）Eric, L. C.; Jerry, F. D. 1995. A trade off invariant life history rule for optimal offspring size. Nature 376 : 418-419.

20）Firbank, L. G.; Watkinson, A. R. 1985. On the analysis of competition within two-species mixtures of plants. J. of Applied Ecology 22 : 503-517.

21）Froud-Williams, R. J.; Chancellor, R. J.; Drennan, DSH. 1981. Potential changes in weed floras associated with reduced cultivation systems for cereal production in temperate regions. Weed Res. 21 : 99-109.

22）深見順一，上杉康彦，石塚皓造，冨沢長次郎．1981．農薬実験法．ソフトサイエンス．p.7-10.

23）古谷雅樹．1982．植物生理学　7成長．朝倉書店．p. 8 -18.

24）伏見昭秀．1998．ヒルガオ類（強害植物の蔓延防止技術の開発，研究成果326）．農林水産技術会議事務局編集兼発行．p.89-93.

25）伏見昭秀．2003．飼料畑に蔓延したヒルガオの生態と秋耕による制御．農業および園芸　78 : 58-63.

26）伏見昭秀．2002．輸入粗飼料と侵入雑草．東北草地研究会誌 15 : 25-30.

27）伏見昭秀．2000．ヒルガオの生態と防除．植調 34 : 15-20.

28）伏見昭秀，的場和弘，田村良文．1998．ヒルガオ（*Calystegia japonica* Choisy）の乾物生産特性と根茎の成長．雑草研究 43 : 312-316.

29）伏見昭秀，的場和弘，田村良文．1994．飼料用トウモロコシの黄熟期予測モデル　第1報　播種時期による比較．東北農業研究 47 : 217-218.

30）伏見昭秀，的場和弘，田村良文．1996．飼料用トウモロコシの黄熟期予測モデル　第2報　年次差による比較．東北農業研究 49 : 123-124.

31）伏見昭秀，魚住　順，田中　治，出口　新．2003. 秋耕がヒルガオ根茎の形態に及ぼす影響．雑草研究 48（別）: 94-95.

32）萩野耕司，桂　　勇．1984．サイレージ用トウモロコシの生育と気象反応．1．草丈の伸長と気温の関係．東北農業研究 35 : 163-164.

33）萩野耕司，関村　栄，桂　勇，太田　顕，高橋鴻七郎．1999．北東北の転換畑におけるトウモロコシを主体とした飼料作物周年栽培技術．東北農試研報 95 : 27-36.

34）Hakimi, A. H.; S. M. Chakrabarti. 1976. The profitability of selected cultivations and their influence on growth and yield of silage corn. J. Agric. Eng. Res. 21 : 15-19.

35）Hanspeter, A. P.; Hans-Ulich A.; Daniel, G.; Michael, P. G.; Genevieve, D. 1997. Towards the management of field bindweed（*Convolvulus arvensis*）and hedge bindweed（*Calystegia sepium*）with fungal pathogens and cover crops. Integrated Pest Management Reviews. 2 : 61-69.

36）原　拓夫．1998．Ⅱ　除草剤利用による実用的防除技術　ヒルガオ（飼料畑等における強害外来雑草被害防止と緊急対策技術の確立）．群馬県勢多郡．群馬県畜産試験場編集兼発行．

p.157-160.
37）細谷 肇．1998．Ⅱ 除草剤利用による実用的防除技術 コヒルガオ（飼料畑等における強害外来雑草被害防止と緊急対策技術の確立）．群馬県勢多郡．群馬県畜産試験場編集兼発行．p.137-139.
38）飯田克美．1984．作物編 第３章 飼料作物（転換畑を主体とする高度畑作技術の確立に関する総合的開発研究）．農林水産技術会議事務局編集兼発行．p.424-565.
39）飯田克美．1988．牧草・飼料作物の栽培と雑草防除．植調 21 : 2-9.
40）Imholte, A. A.; Carter, P. R. 1987. Planting date and tillage effects on corn following corn. Agronomy J. 79 : 746-751.
41）稲垣栄洋．2002．雑草の成功戦略．NTT出版株式会社．p.1-29.
42）井上克弘，吉田稔．1978．岩手山・秋田駒ヶ岳起源の火山灰の層序と分布．土肥要旨集24:123
43）石井龍一 ．2005．環境保全型農業辞典．丸善株式会社．p.406-412.
44）Itoh, K.; Miyahara, M. 1984. Inheritance of paraquat resistance in *Erigeron philadelphicus* L. Weed Res.（Japan）29 : 301-307.
45）Ito, M.; Takagi, K.; Yoshino, M. 2005. Rhizome dynamics in *Calystegia japonica* Choisy and *Calystegia hederacea* Wall. in relation to overwintering. Weed Biol. Manag. 5 : 137-142.
46）伊藤操子．1993．雑草学総論．養賢堂．p.92-94.
47）伊藤操子．2001．地下拡大型多年生雑草の生態と制御．植調 35 : 56-65.
48）伊藤操子，森田亜貴．1999．地下で拡がる多年生雑草たち．京都，京都大学大学院農学研究科雑草学分野．p.42-45.
49）梶井 功．2004．食料・農業・農村基本計画（日本農業年報）変更の論点と方向．農林統計協会．283p.
50）笠原安夫．1952．耕地雑草の発生に関する実験的研究 第２報 １年生及び多年生雑草の再生力について．農学研究 40 : 61-68.
51）笠原安夫 ．1947a．本邦雑草の種類及地理的分布の研究 第１報 水田雑草の種類．農学研究 37 : 8-10.
52）笠原安夫．1947b．本邦雑草の種類及地理的分布の研究 第２報 畑地雑草の種類．農学研究 37 : 74-77.
53）笠原安夫．1951a．本邦雑草の種類及地理的分布の研究 第３報 畑地雑草の地理的分布と発生度．農学研究 39 : 91-106.
54）笠原安夫．1951b．本邦雑草の種類及地理的分布の研究 第４報 水田雑草の地理的分布と発生度．農学研究 39 : 143-154.
55）笠原安夫．1985．日本雑草図説．養賢堂．p.144-149.
56）樫野亜貴，伊藤操子．1995．根茎をもつ雑草種の構造的特徴．雑草研究 40（別）: 62-63.
57）河野昭一，高田壮則，大原 雅．1992．植物の個体群生態学．東海大学出版会．p.118-132.
58）Kevin, C.; Stephen, D. M.; Clarence, J. S. 1994. Effect of tillage and glyphosate on control of quackgrass（*Elytrigia repens*）．Weed Tech. 8 : 450-456.
59）Kim, S. T.; M. G. Ching. 1995. Genetic and clonal structure in Korean populations of *Calystegia japonica*（Convolvulaceae）．Botanical Bulletin of Academia Sinica 36 : 135-141.
60）木村元治．2003．飼料をめぐる情勢と今後の飼料政策の展開方向．グラス＆シード 9 : 4-8.
61）北岡政弘，植木邦和．1984．ヨモギの生育過程にともなう物質分配および地下茎における炭水化物含量の推移．雑草研究 29 : 33-36.
62）小林良次，舘野宏司，佐藤健次，佐藤節郎．2000．ミニマムティレッジ及び慣行耕耘飼料畑における乾物収量及び可給態窒素の変化．九州農業研究 62 : 137.
63）小林央往．1984．水田多年生雑草クログワイの生態と変異．雑草研究 29 : 95-109.
64）小林良次，佐藤健次，服部育男．2002．湛水直播栽培における播種様式と播種後の水管理が飼料イネの収量性に及ぼす影響．九州農業研究 64 : 130.
65）児嶋 清，井手眞一，川名義明，住吉 正．1998．早期水稲収穫後におけるショクヨウガヤツリの塊茎形成の抑制．雑草研究 43（別）: 116-117.
66）児嶋 清，川名義明，住吉 正，大段秀記．2000．早期水稲栽培田における多年生雑草ショクヨウガヤツリの塊茎密度低減化技術．九州沖縄農業研究センター研究成果情報 16（上巻）: 15-16.

67）草薙得一，近内誠登，芝山秀次郎．1994．雑草管理ハンドブック．朝倉書店．p.354-365.

68）草薙得一．1984．水田多年生雑草の繁殖特性の解明と防除に関する研究．雑草研究　29：255-265.

69）桑原政司，井上眞一，富永雅也．1988．転換畑における高栄養飼料作物の多収生産と調製技術（第３報）１．飼料作物の周年多収栽培技術．徳島畜試験報　29：10-28.

70）Lovett, D. J.; Eaton, G. W. 1982. Demographic aspects of flower and fruit production in bean plants（*Phaseolus vulgaris* L.）. Am. J. Bot. 69：1156-1164.

71）Malhi, S. S.; Mumey, G. O.; Sullivan, P. A.; Harker, K. N. 1988. An economic comparison of barley production under zero and conventional tillage. Soil and Till. Res. 11：159-66.

72）萬田富治．1998．遊休土地資源の畜産的利用．畜産コンサルタント　398：10-15.

73）Martin, A. L.; Krishna, N. R.; Robert, M. Z. 2002. Weed management in conservation crop production systems. Weed Biol. Manag. 2：123-132.

74）的場和弘，橘　雅明，田村良文，伊藤一幸，伏見昭秀．1996．東北における強害帰化雑草の分布状況．東北農業研究　49：119-120.

75）的場和弘，野中喘生，長　祐司，川嶋浩樹．2002．山羊は遊休棚田の雑草管理の担い手．農業技術　57：26-31.

76）森田弘彦，中山壮一．1992．暖地水田でのショクヨウガヤツリ（*Cyperus esculentus* L.）の発生と生育．雑草研究　37：267-275.

77）茂木　発，伊藤操子．1996．コヒルガオおよびセイヨウヒルガオにおける 2, 4-D およびグリホサートの移行性について．雑草研究　41（別）：24-25.

78）村岡哲郎，岡本浩一郎，土田邦夫，則武晃二．1996．飼料畑におけるショクヨウガヤツリ（*Cyperus esculentus*）の生態と防除に関する研究　第1報 塊茎の萌芽特性および除草剤に対する感受性．雑草研究　41（別）：68-69.

79）長野間宏．1998．不耕起乾田直播を組み合わせた稲・麦・大豆の水田輪作．農林水産技術研究ジャーナル　21（４）：21-26.

80）中川恭二郎．1965．多年生雑草の個生態．雑草研究　4：42-48.

81）中山兼徳．1975．畑作雑草防除の実態と問題点．雑草研究　19：1-6.

82）中沢秋雄．1969．畑雑草群落の耕種操作による変化．雑草研究　8：1-9.

83）半沢　洵．1910．雑草学．六盟館．322p.

84）縄田栄治．1995．湛水害の発生機構とその対策．農業および園芸　70：451-454.

85）Neal, E. H.; Kassim, A.; Dallas, E. P.; Thomas, M. L. 2003. Efficacy of glyphosate, glufosinate, and imazethapyr on selected weed species. Weed Sci. 51：110-117.

86）野口勝可．1983．畑作物と雑草の光競合に関する生態学的研究．農業研究センター研究報告　1：37-103.

87）野口勝可，松尾和之，奈良正雄．1983．寒冷地畑作における雑草の増殖防止技術の確立に関する研究　1. 主要畑雑草の生育特性．雑草研究　28（別）：125-126.

88）野口勝可，松尾和之，奈良正雄．1985．寒冷地畑作における雑草の増殖防止技術の確立に関する研究　3．トウモロコシ栽培下における雑草の種子生産特性．雑草研究　30（別）：97-98.

89）野口勝可，松尾和之，奈良正雄．1986．寒冷地畑作における雑草の増殖防止技術の確立に関する研究　4．バレイショ，ソバ，ダイコン栽培下における雑草の種子生産特性．雑草研究　31（別）：51-52.

90）野口勝可，松尾和之，奈良正雄．1989．寒冷地畑作における雑草の増殖防止技術の確立に関する研究　5．輪作による畑雑草の増殖防止．雑草研究　34（別）：179-180.

91）農業機械学会．1996．生物生産機械ハンドブック．コロナ社．p.416-417.

92）農林水産省．2005a．酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針．農林水産省生産局畜産部．
URL:http://www.maff.go.jp/lin/index.html

93）農林水産省．2005b．飼料作物関係資料．農林水産省生産局畜産部畜産振興課．

94）農林水産省．2005c．食料・農業・農村基本計画．農林水産省　食料・農業・農村政策推進本部．
URL:http://www.maff.go.jp/kihon.html

95）小笠原勝．1996．多年生雑草制御の方向．（近内誠登，雑草科学の基礎）．日本雑草学会．p.245-248.

96）大久保隆弘．1982．第１章序論（農林水産技術会議事務局，農林水産研究文献解題　水田の土地利用の変遷　作付方式・作付体系編 No 9）．農林統計協会．p.2-12.

97）Paul, E. B.; Sara, S. R.; Raghavan, S. 1998. Integrated pest management. Distribution of field bindweed and hedge bindweed in the USA. J. Prod. Agric. 11 : 377-381.

98）Porter, J. R. 1983a. A modular approach to analysis of plant growth. 1. Theory and principles. New Phytol. 94 : 183-190.

99）Porter, J. R. 1983b. A modular approach to analysis of plant growth. 2. Methods and results. New Phytol. 94 : 191-200.

100）Rene, W.; Verburg, R. K.; Marinus, J. 1996. The effect of plant size on vegetative reproduction in a pseudo-annual. plant. Ecology 125 : 185-192.

101）酒井聡樹．2001．種子（卵）生産における大きさと数のトレードオフ　羊羹なのか，アイスクリームなのか．生物科学 52 : 35-39.

102）酒井聡樹，高田壮則，近　雅博．1999．生き物の進化ゲーム．共立出版株式会社．p.13-24.

103）坂井直樹．1988．不耕起栽培の研究状況（Ⅰ）作物収量への影響．農作業研究 23 : 179-188.

104）坂井直樹．1989．不耕起栽培の研究状況（Ⅱ）土壌の変化と作業性．農作業研究 24 : 1-9.

105）坂井直樹，春原　亘，米川智司，角田公正．1992．不耕起栽培の評価　第６報　11年間連続不耕起圃場の更新．農作業研究 27 : 132-138.

106）眞田康治．1993．九州地域におけるソルゴー型ソルガム品種の特性　九州地域ソルゴー型ソルガム協定試験結果について．日草九支報 23 : 48-53.

107）SAS Institute Inc. 2002．JMP入門ガイドバージョン5　日本語版．SASインスティチュートジャパン訳兼発行．159p.

108）Sasa, S.; Daniel, F. A.; Richard, G. O. 2003. Classification of Convolvulaceae: A phylogenetic Approach. Systematic Botany 28 : 791-806.

109）佐藤光政，宇佐美洋三．1986．地下茎で繁殖するセイタカアワダチソウ，ヨメナ，ヒルガオの刈取り後の再生．雑草研究 31(別) : 187-188.

110）佐藤清美，中川西弘之．1965．農事試研報 9 : 93-122.

111）Russell, R. S.（田中典幸訳）．1981．作物の根系と土壌．農村漁村文化協会．p.257-264.

112）Sharma, P. K.; De Dattas, K.; Redulla, C. A. 1988. Tillage effects on soil physical properties and wetland rice yield. Agronomy J. 80 : 34-39.

113）渋谷信介，三浦励一，伊藤操子．1996．ヒルガオおよびコヒルガオのクローン識別のためのマルチローカスＤＮＡフィンガープリンティングの適用．雑草研究 41(別) : 256-257.

114）志藤博克，山名伸樹．2002．試作細断型ロールベーラを基軸とした長大型作物収穫調整技術の開発．日草誌 47 : 610-614.

115）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.

116）清水矩宏，森田弘彦，廣田伸七．2001．日本帰化植物写真図鑑．全国農村教育協会．p.234-251.

117）Smith, C. C.; Fretwell, S. D. 1974. The optimal balance between size and number of ofspring. American Naturalist 108 : 499-506.

118）Sprague, V. G.; Sullivan, J. T. 1950. Reserve carbohydrates in orchardgrass clipped periodically. Plant Physiol. 25 : 92-102.

119）杉原進，石井和夫，近藤熙．1979．畑地に対する牛ふん厩肥の連年多量施用．東北農業試験場研究報告 60 : 17-40.

120）悴田勇也．1998．Ⅱ　除草剤利用による実用的防除技術　（飼料畑等における強害外来雑草被害防止と緊急対策技術の確立）．群馬県勢多郡．群馬県畜産試験場編集兼発行．p.108-114.

121）鈴木計司，大塚一雄，小川信太郎．1983．栽培環境の差異がクログワイの塊茎形成に及ぼす影響．雑草研究 28(別) : 173-174.

122）田口玄一，横山巽子．1979．経営工学シリーズ18　実験計画法．日本規格協会．p.72-73.

123）高木圭子，伊藤操子．1998．ヒルガオ及びコヒルガオの変異について．雑草研究 43(別) : 86-87.

124）竹松哲夫，一前宣正．1987．世界の雑草Ⅰ－合弁花類－．全国農村教育協会．p.579-584.

125) 竹内安智．1988．アメリカにおけるミニマムティルと雑草防除（1）．植調 22 : 17-25.
126) 竹内安智．1989．アメリカにおけるミニマムティルと雑草防除（2）．植調 22:20-28.
127) 田村太郎．1980．栽培植物分析測定法．養賢堂．p.299-302.
128) 田瀬和浩，小林　真．1994．イタリアンライグラス（*Lolium multiflorum* Lam.）を中心としたLolium属品種・系統の耐湿性の評価．日草誌 40 : 75-84.
129) 手島寅雄．1950．栽培学（耕種編）．要賢堂．p.243-263.
130) Theodore, M. W.; Harold, D. C. 1997. Changes in the weed species composition of the southern united states: 1974 to 1995. Weed Tech. 11 : 308-317.
131) Triplett, G. B. Jr.; Van Doren, D. M. Jr.（In M. D'Itri ed）1985. A stems approach to conservation tillage. Chelsea MI. Lewis Publishers Inc.
132) 魚住　順，出口　新，田中　治，河本英憲．2005．北東北地域における飼料用麦類の二期作体系．東北農業研究 58 : 97-98.
133) 丑丸敦史．2000．第3章　花の性：両性花植物における自家和合性と自動的自家受粉の進化．（種生物学会，花生態学の最前線）．文一総合出版．p.75-95.
134) Ushimaru, A.; Kikuzawa, K. 1999. Variation of breeding system, floral rewards, and reproductively success in clonal Calystegia species（Convolvulaceae）Am. J. Bot. 86 : 436-446.
135) Uva, R. H.; Neal, J. C.; Ditomaso, J. M. 1997. Weeds of the Northwest. New York. Cornell University Press.
136) Valery, M. D. 2004. Chemistry and biodiversity of the biologically active natural glycosides. Chemistry and Biodiversity 1 : 673-781.
137) 渡邉　泰．1978．北海道における畑作雑草に関する生理・生態学的研究．北海道農業試験場研究報告 123 : 17-78.
138) 渡邉　泰，西入恵二．1981．耕起時期，中耕・除草体系の差異が雑草の発生およびダイズ，サイトウの収量に及ぼす影響．北海道農試研報 132 : 17-32.
139) Watson, M. A. 1984. Developmental constraints: effect on population growth and patterns of resource allocation in a clonal plant. Am. Nat. 123 : 411-426.
140) White, R. P. 1977. Effects of planting dates on forage corn yields and maturity on Prince Edward Island. Can. J. Plant Sci. 57 : 563-569.
141) William, S. C.; Edward, L. W.; Nathan, L. H. 1994. Effectiveness of herbicides and tillage on quackgrass（*Elytrigia repens*）control in corn（*Zea mays*）. Weed Tech. 8 : 324-330.
142) 山岸　淳，武市義雄．1980．水田多年雑草に関する研究　第Ⅸ報　クログワイの耕種操作による防除法．千葉県農業試験場研究報告 19 : 109-117.
143) Yamamoto, S.; Kondo, T.; Mino, Y. 1980. Extraction of total nonstructural carbohydrates from forage plants containing starch by α amylase. 1980. J. Japan. Grassland Sci. 26 : 305-310.
144) 山村光司．2001．Key-factor/ key stage分析法による経時的測定のデータ解析．植物防疫 55 : 47-51.
145) 八槻三千代，草薙睦雄，大島健太郎．1989．サイレージ用トウモロコシの晩播適応品種の選定と播種晩限の検討．秋田畜試研報 3 : 55-58.

図版説明

図版１　ヒルガオの花弁

元来，ヒルガオの生育地は住宅地の周辺から道ばた，畦畔，空き地など非農耕地が主である。本草種は梅雨明けから晩夏に可憐なピンク色の花を咲かせる蔓性の多年生植物である。自家不和性が発達しているため,種子を付けることは希である。1995年６月20日岩手県葛巻町で撮影。

図版２　ヒルガオの根茎からの萌芽

ヒルガオの農耕地における繁茂は地下部の根茎による栄養繁殖によるところが大きい。１節からでも容易に萌芽する。1995年４月20日葛巻町で撮影。

図版３　ヒルガオの蔓延

絡みつかれた飼料用トウモロコシはヒルガオの支柱となり，収量は減少する。1995年８月20日葛巻町で撮影。

図版４　春先のヒルガオの発生

４月中旬のヒルガオの萌芽。秋耕が無い場合は，飼料用トウモロコシの株元が残存している。1995年４月20日葛巻町で撮影。

図版５　ヒルガオの萌芽

図版５～図版９はヒルガオの生育調査の記録である。

長さ20cm，腋芽数10の根茎を４月15日に植え付け，２週間後の地上部。1996年５月１日東北農試圃場で撮影。

図版６　1996年９月15日に撮影した地上部と地下部

生育１年目の生育終了の時期にあたるが，ヒルガオは地下部の根茎において植え付けた根茎を基部として樹状にすべて繋がっていた。９月中旬以降，翌春の４月中旬からの萌芽までの期間に根茎では先端に向かって充実が進む。１月中旬には越冬根茎の乾物重と腋芽数はほぼ一定になる。白枠は１平方メートルの方形枠。

図版７　1997年６月15日に撮影した地上部

飼料用トウモロコシの要雑草防除期間の終わりにあたる６月中旬であるが，２年目のヒルガオは根茎による繋がりは無く，生理的，体制的には独立している。

図版８　1997年８月15日の地上部

枯死が進んでいる。土壌中における有害微生物の発生や無機栄養供給力の低下が示唆される。青枠は１平方メートルの方形枠。

図版９　1997年８月15日の地下部

地上部を採取後，カーペットスプレーヤーで根茎を洗い出した。腋芽数で55,000を示した。白枠は１平方メートルの方形枠。

図版１

図版２

図版３

図版４

図版７

図版５

図版８

図版６

図版９