

被覆作物の雑草防除への応用

中国農業試験場畜産部 佐藤節郎

1. 被覆作物とは

土壌のエロージョン防止や雑草の抑制のために地表を覆う植生を被覆作物といい、「カバークロップ」、「リビングマルチ」とも呼ばれる。本来、リビングマルチやカバークロップは、土壌養分の供給のための「緑肥」の中のカテゴリーのひとつであり、必ずしも、雑草防除を目的としたものではなかった。Adrian Pieterは1927年に表した著書「Green Manuring, Principles and Practice」において、緑肥作物を、

- ①メインクロップ：土壌養分が少なく作物栽培が不可能な場で金銭的利益を期待しないで栽培するもの
- ②キャッチクロップ：作物収穫後に栽培するもの
- ③ウインターカバークロップ：肥料以外の目的（エロージョン防止等）で栽培するもの
- ④コンパニオンクロップ：作物と同時に播種し、作物の生育期または収穫後に畦間等で生育させるもの、に分類した。

狭義のカバークロップは③であると思われる。

- ④は、当時ヨーロッパで「リビングマルチ」と呼ばれていた概念と一致しており、狭義には「リビングマルチ」はPieterの定義したコンパニオンクロップに相当すると思われる。しかし、海外の論文では、③、④ともに一括してカバークロップと呼ばれることが多く、逆に双方とも

にリビングマルチと呼ばれることもある。1979年、コーネル大学のRobert Sweetが③、④を他の緑肥と区別して「リビングマルチ」の名を用い、以降、この名も定着してゆくが、緑肥との区別は明確になったものの、カバークロップとリビングマルチの違いは必ずしも明確ではないようである。②は狭義の緑肥であると思われる。我が国で、過去に、収穫後の水田にレンゲを栽培し、翌春の水稻播種前に耕起し肥料としてすき込むことにより肥料として利用した（飼料としても利用された）のはその好例である。しかし、緑肥としてのレンゲは雑草発生の抑制も期待できたと考えられる。

ここでは、便宜上、上記の②～④を被覆作物として、また、作物の播種に先立ち栽培するものを「カバークロップ」、作物と同時に播種するものを「リビングマルチ」として取り扱った。不耕起と部分耕起は区別せず、一括して部分耕起とした。

2. 被覆作物の歴史

1) 20世紀以前の被覆作物

被覆作物の利用は紀元前500年に中国で最初に記録されている。利用目的は緑肥であり、アズキ類の肥料効果が述べられている。我が国では明治中期以降に水田裏作にレンゲが家畜の飼料として、また、緑肥として北海道以外の地域

で広く栽培されたが、雑草抑制効果も期待できたと考えられる。レンゲは昭和30年代以降、徐々にイタリアンライグラスにその地位を取って変わられることになるが、草種が代わっても冬季の水田を放置しないことは雑草抑制のために重要であることには変わりがない。我が国では、被覆作物は緑肥として利用されてきたものの、カバークロップやリビングマルチとしての利用はあまり見られなかった。

欧米においても被覆作物の歴史は必ずしも古いものではない。欧州では「土壌保全」は「土壌養分の保全」を意味し、中世以降は休閑を組み入れた三圃式農業とその後に発展する輪作により土壌養分が維持された。輪作ではマメ類、牧草の栽培が奨励された。輪作では緑肥の視点はあったが、エロージョン防止や雑草抑制の視点があったかどうかは明確ではない。

米国では、開拓当初は、広大で肥沃な土地があったため、東部海岸に上陸した農民たちは、作付けを繰り返し土壌養分が枯渇すると、より肥沃な土地を求めて西部へと移住し、いわゆる土地の「使い捨て」を行っていた。従って、米国においては土壌保全はあまり省みられることはなく、緑肥、カバークロップ、リビングマルチのいずれの形で被覆作物は発展しなかった。

2) 20世紀以降の被覆作物

被覆作物が「カバークロップ」、「リビングマルチ」として本格的に研究、利用されるのは今世紀に入ってからである。18世紀に耕起の概念が一般化し、それに続き土壌学も大きく発展し、耕起と施肥を基本にした栽培法が広く普及した。作物栽培では、播種前のプラウ耕、施肥後のロータリー耕、雑草防除のための中期など多くの耕起が行われる。頻繁に耕起し、外観の優れた圃場を維持することは、我が国のみならず海外

でも美德とされていた。しかし、耕起には、①機械を稼働するための化石燃料を必要とする、②労力を要する、③土地条件や気候条件によってはエロージョンを招く、等の欠点もある。1900年代の前半に米国のグレートプレーンを襲ったダストボールと呼ばれる数年にわたる大干ばつは、耕起によるエロージョンの助長や土壌養水分の枯渇をもたらした。この災害は、米国農民に土壌管理の重要性を改めて認識させることになった。

このようなエロージョンと土壌養分の枯渇に対処する耕種として2つの動きがあった。一方は部分耕栽培であり、他方はそれに続くカバークロップの利用であった。

耕起を抑制しようという動きを加速させたのは、1943年に刊行されたEdward Faulknerの著書「Plowman's Folly」である。彼の理論は、「作物栽培では土壌の攪乱を最小限にすべきであり、耕起の少ない栽培は自然のエコシステムに近い」というものである。また、1940年代の除草剤の発明により雑草防除のための中耕は減少することになった。部分耕栽培では収穫後の残株は圃場に放置し、播種期にのみ播種幅で耕起をするというものであった。雑草防除の観点からみると、この栽培法はスタッブルマルチに相当するが、特に雑草防除を意識したものではなかったようである。さらに米国の不耕起栽培はカバークロップと組み合わせられて発展してゆく。すなわち、作物を収穫した後に耕起しカバークロップを播種、生育させ(主に秋～翌春)、続いて部分耕起により目的とする作物を播種する(主に翌春)方法である。

しかし、部分耕栽培やカバークロップの普及は決して速やかではなかった。世界的に見れば1950～1960年代は食料の増産を目指した時期

であると同時に、化石燃料の使用が推奨された時期でもあり、これらの要求に対し多収である耕起栽培が適していたからである。しかし、1970年代前半のアラブ諸国の原油禁輸政策により化石燃料が高騰し、情勢は一変する。大量の化石燃料の消費を伴う全面耕起から部分耕起への動きが加速する。同時に、部分耕起栽培とカバークロップの組み合わせがエロージョン防止効果と栽培コスト低減の観点から注目され研究が進む。その中でカバークロップのもつ雑草防除効果も研究対象となってきたと思われる。

3. 被覆作物による雑草防除

ここでは、主にトウモロコシ（食糧用及び飼料用）栽培におけるカバークロップ及びリピングマルチの雑草防除について述べる。

1) カバークロップによる雑草防除

カバークロップを利用した雑草防除に関する研究は米国で発達してきたが、我が国ではあまり研究されていない。これは、①カバークロップの概念自体が新しいこと、②カバークロップは畑地の概念であり、水田を中心とした我が国の農業にはなじまなかったこと、③豊富な森林と水田により適正な水の涵養がなされていたためエロージョンが少なかったこと、④頻繁な耕起をもとに外観に優れた圃場を維持することが美德とされてきたこと、等が原因であると考えられる。

前述した通り、カバークロップはエロージョンの防止、雑草防除等の目的で主に米国で研究されてきた。トウモロコシ栽培におけるカバークロップは、前年の秋にクローバ、ベッチ、ライグラス、麦類を播種し、これらの植生で事前に圃場を被覆し、翌春に部分耕起によりトウモロコシを播種するものが主である。この場合作

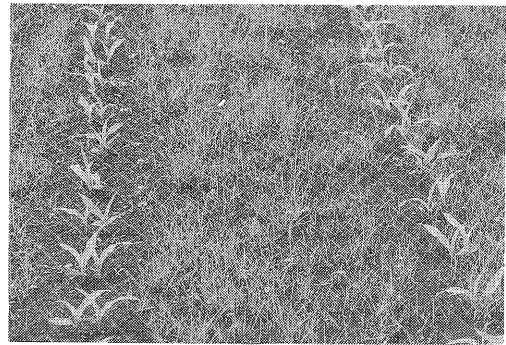


写真-1 トウモロコシの畦間に出土したリピングマルチ

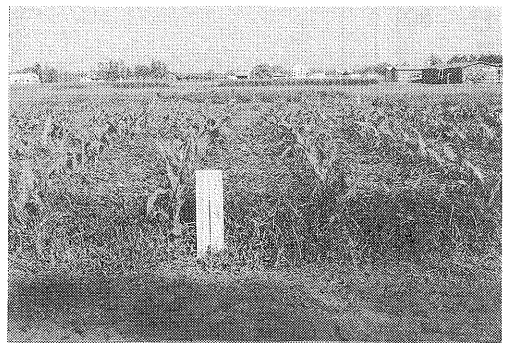


写真-2 雑草を完全に被覆したリピングマルチ

物を播種する前に除草剤を茎葉散布したり、作物の生育初期に中耕を行い、カバークロップの再生を抑制することが多い。茎葉処理にはグリホサートのような非選択制除草剤が利用されるほかに、低濃度の選択制除草剤を散布しカバークロップの植生を一時的に休眠状態にした後に播種する方法もあり、これは‘sleeping sod’と称されている。また、カバークロップとして利用したベッチ等のマメ科植物を、作物の生育期中耕により土中に混和することにより競合を緩和し、かつ、窒素を供給する方法もある。しかし、我が国の飼料作物栽培では、省力と低コストが強く求められている。従って、カバークロップの生長を抑制するために除草剤を散布したり中耕を行うことは、省力やコストの面から必ずしも適当とは思われない。さらに、米国において有益な研究が行われてきているものの、

我が国ではトウモロコシの部分耕起栽培技術が十分に確立していないため、米国で行われているカバークロップによる雑草防除法は必ずしも有効ではない。しかし、飼料用トウモロコシ栽培において省力性の面から部分耕起栽培に取り

トウモロコシを播種し、同時にハリビュを防除するためイタリアンライグラスをリビングマルチとして播種し、そのハリビュ抑制効果をアトラジン+アラクロールの土壌処理と比較したものである。図-1にトウモロコシ収穫時のハリビュ

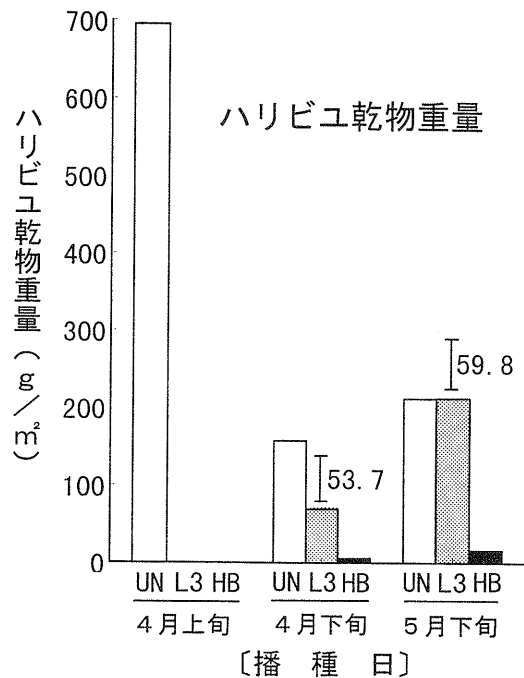
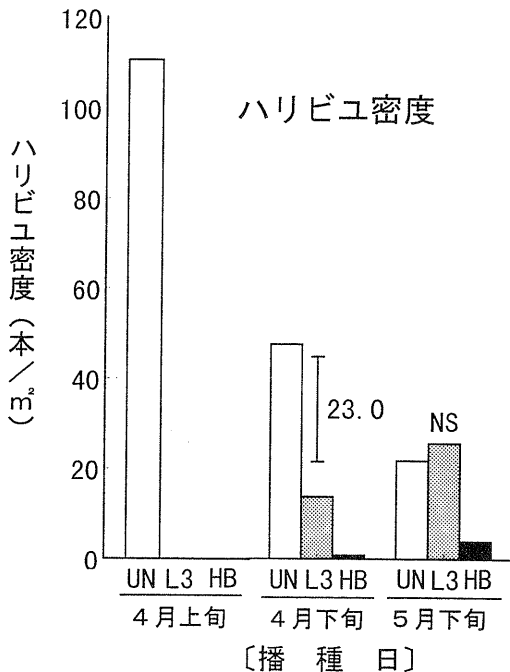


図-1 トウモロコシ収穫時のハリビュの生長 (UN(□):対照区, L3(▨):播種量300g/aのイタリアンライグラスリビングマルチ区, HB(■):除草区)

組む動きがあり、雑草防除と関連させて研究が発達することも期待される。

2) リビングマルチによる雑草防除

カバークロップによる雑草防除技術の早急な確立は困難であるが、春播トウモロコシと同時に寒地型牧草を播種する「リビングマルチ」を利用すれば、牧草は春の低温下で雑草と競合し、かつ、初夏の高温でトウモロコシと競合することなく枯死すると思われるので、有効な雑草防除法となる可能性がある。このような研究例は少ないが、以下に筆者らが九州農業試験場（熊本県西合志町）において行った研究を簡潔に示す。

本試験では、4月上旬、下旬及び5月下旬に

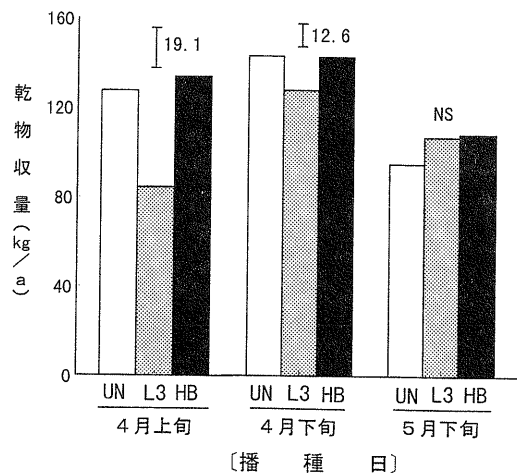


図-2 トウモロコシ収量 (UN(□):対照区, L3(▨):播種量300g/aのイタリアンライグラスリビングマルチ区, HB(■):除草区)

の生長を図-2にトウモロコシ収量を示した。

4月上旬播種トウモロコシにおいては、イタリアンライグラスリビングマルチは強い競合力によりトウモロコシ生育期のハリビユを十分に抑制した。しかし、その抑制効果は、トウモロコシの播種日を遅らせるのに伴って低下し、5月下旬播種トウモロコシにおいては、播種したイタリアンライグラスが出芽後の高温で枯死しリビングマルチとして機能しなかったため、ハリビユ抑制効果は全く認められなかった。一方、除草剤区では、播種日にかかわらず、トウモロコシ収穫時にハリビユはほとんど認められず、密度、乾物重ともに無処理区より有意に小となった(図-1)。リビングマルチはトウモロコシ収量にも影響を与えた。ハリビユ抑制効果が高い4月上旬播種トウモロコシでは対照区比で34%も減少したが、4月下旬播種では11%の減収にとどまった。一方、除草剤区では播種日にかかわらず、トウモロコシ収量は無処理区とほぼ同等であった(図-2)。

4月播種トウモロコシにおいて、リビングマルチ区の収量が無処理区より小となったことは、トウモロコシを早期に播種した場合、トウモロコシ生育期の低温下でイタリアンライグラスがハリビユより強い競合力をもつことを示している。一方、アトラジン+アラクロールの土壌処理は、農家圃場で防除効果がないことが多いのにもかかわらず、ハリビユを十分に防除できた。スラリーや未熟堆肥を連続的に投与している圃場において本土壌処理剤の効果が認めれないことが多く、これらの有機質肥料の連年施用にともなう土壌の吸着力の変化が、除草剤の効果の低下を引き起こしていると思われる。

イタリアンライグラスリビングマルチは、利用の時期と場を考慮すれば利用が可能であると

思われる。すなわち、若干の収量低下とハリビユによる軽微な汚染を受け入れることができれば、九州地域の4月下旬播種トウモロコシにおいて利用できる。また、スラリーや未熟堆肥の投入により除草剤の効果が発揮されない圃場では十分に有効な手法である。

4. 今後の被覆作物による雑草防除研究

従来、我が国では被覆作物の研究は必ずしも十分とはいえなかった。しかし、低投入持続型農業が注目されている昨今、雑草防除の観点から種々にこれらの研究が展開しつつある。被覆作物が技術として定着してゆくために解決すべき問題点を以下に記してみた。

1) 作物との競合の緩和

作物の生育初期にカバークロップの再生力やリビングマルチの生育が旺盛であれば、競合により作物の初期生育が阻害され、収量も低下する。競合はカバークロップやリビングマルチを普及する上で最大の問題であり、雑草防除効果と同様に注意を払わなくてはならない。リビングマルチに適する草種・品種は作物の生育期に速やかに枯死するものが望ましい。Westonはイネ科9種、すなわち、ライムギ、オオムギ、コムギ、オートムギ、トールフェスク、レッドフェスク、シロクロバ、イタリアンライグラス、ペレニアルライグラスをカバークロップとして利用し、翌春に播種したダイズ等豆類、トウモロコシ、キュウりの出芽と初期生育に与える影響を調査し、麦類はフェスクやペレニアルライグラス等の永年性牧草に比べ競合力が小さいのでカバークロップとして適していることを示している。また、筆者らが行った試験では、イタリアンライグラスリビングマルチのトウモロコシとの競合力は播種時期により大きく異なった。

小林らは、冬作物であるエンバクまたはイタリアンライグラスを収穫後、部分耕起でトウモロコシを栽培し、4月播種トウモロコシは、エンバク跡では競合が見られないのに対し、イタリアンライグラス跡では再生草との競合が認められることを示している。彼らの試験は省力を目的としたものであるため、雑草の発生についてのデータは不十分であるが、我が国の飼料作物栽培に部分耕起の応用が可能であることを示したものである。今後は、作物の播種時期とカバークロップの再生やりピングマルチの初期生育との関係を明確にする必要がある。

一方、カバークロップが土壤水分と窒素を競合するのを避けるためには、深根性でかつ空中窒素を固定できるマメ科植物がより適しているという見方があり、我が国でもヘアリーベッチが注目されている。今後は、マメ科植物の土壤への窒素供給を考慮し、広範な草種のカバークロップやりピングマルチとしての適性を確認する必要がある。

2) 部分耕起播種機の開発

前述した通り、カバークロップの利用には部分耕起播種が組み合わされることが多い。従って、部分耕起播種栽培の技術を確立することが、カバークロップによる雑草防除技術確立の前提になると思われる。米国においては既に種々に部分耕起用の機械があるものの、いずれも大型であり、耕地面積の狭い我が国には必ずしも適していない。舘野らは、飼料作物栽培において、中耕機と市販の播種機を連結し、耕起、施肥、播種を1行程で行う「部分耕起・施肥・播種機」を開発し、ほぼ、実用化に至っている。今後は、省力の面だけでなく、雑草防除の観点からも部分耕起の技術が進展することが期待できる。

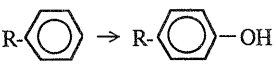
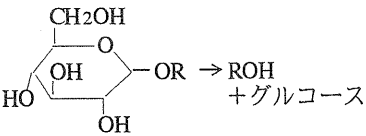
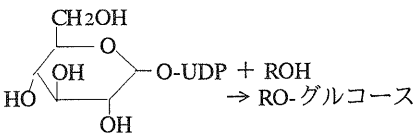
3) 日本型被覆作物の利用技術の開発

米国のトウモロコシ栽培におけるカバークロップは、作物としてほとんど収穫することはない。しかし、収穫しない植物を栽培することは、耕地面積の狭い我が国には必ずしもなじまない。西日本の飼料作物栽培においては冬季にはイタリアンライグラスや麦類が冬作物として栽培された後、トウモロコシが栽培される。これらの圃場ではトウモロコシの前作である冬作の残株をそのままカバークロップとして利用することが望ましい。そのためには、再生する前作との競合の抑制が大きな問題となろう。

米国では、作物を播種する前に除草剤を茎葉散布し、カバークロップの再生を抑制することが多い。また、カバークロップとして利用したベッチ等のマメ科植物を、作物の生育期中耕により土中に混和することにより競合を緩和し、かつ、窒素を供給する方法もある。しかし、我が国の飼料作物栽培では、省力化・低コスト生産が強く求められている。従って、カバークロップの生長を抑制するために除草剤を散布したり中耕を行うことは、省力とコストの面から必ずしも適当とは思われない。今後は、雑草の発生と生長を抑制し、かつ、作物との競合を抑制するための作業を必要としないカバークロップ草種の選定と作付体系の検討が必要である。

一方、我が国で古くから行われていた水田における緑肥を雑草抑制の観点から研究している例がある。嶺田らは、水田裏作として栽培したレンゲ、ヘアリーベッチ、シロクロバの雑草抑制効果を、バイオマスによる被覆とそれらマメ科のもつアレロパシー効果の点から評価している。このように、我が国固有の技術を異なる視点から再評価し発展させることは意義が大きいと思われる。

表-1 植物における除草剤の主な代謝反応と関連する酵素系

代謝反応様式	反応例	酵素系の例
酸化		
芳香環・複素環の水酸化		薬物酸化酵素 (mfo, P-450, 水酸化酵素)
アルキル基の水酸化	$-\text{CH}_2\text{CH}_3 \rightarrow -\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	薬物酸化酵素 (mfo, P-450, 水酸化酵素)
アルコール・アルデヒドの酸化	$-\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow -\text{CHO} \rightarrow -\text{COOH}$	アルコール・アルデヒド脱水素酵素、P-450
O-, N-脱アルキル	$-\text{OCH}_3 \rightarrow -\text{OH}$ $-\text{N}(\text{CH}_3)_2 \rightarrow -\text{NHCH}_3 \rightarrow -\text{NH}_2$	薬物酸化酵素 (mfo, P-450, デメチラーゼ等)
S-原子の酸化 (スルホキシル・スルホン化)	$-\text{S}- \rightarrow -\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{S}}}- \rightarrow -\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{S}}}-$	薬物酸化酵素 (mfo, P-450)
エポキシ化	$>\text{C}=\text{C}< \rightarrow >\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{C}}<$	薬物酸化酵素 (mfo, P-450)
酸化的脱アミノ	$>\text{CH}-\text{NH}_2 \rightarrow >\text{CH}-\text{OH}$	薬物酸化酵素 (mfo, P-450)
還元		
還元的脱アミノ	$>\text{CH}-\text{NH}_2 \rightarrow >\text{CH}_2$	デアミナーゼ
加水分解		
カルボン酸エステル	$-\text{COOR} \rightarrow -\text{COOH} + \text{ROH}$	(カルボキシ) エステラーゼ
リン酸エステル	$>\text{P}(\text{O})-\text{OR} \rightarrow >\text{P}(\text{O})-\text{OH} + \text{ROH}$	(アリール) エステラーゼ、フォスファターゼ
(アシル) アミド、スルホンアミド	$-\text{CONH}- \rightarrow -\text{COOH} + -\text{NH}_2$ $-\text{SO}_2\text{NH}- \rightarrow -\text{SO}_3\text{H} + -\text{NH}_2$	(アシル) アミダーゼ、エステラーゼ
エポキシド	$>\text{C}-\overset{\text{O}}{\text{C}}< \rightarrow >\text{C}-\overset{\text{OH}}{\text{C}}<$	エポキシドヒドロラーゼ
抱合体 グルコシド		グルコシダーゼ
アミノ酸、ペプチド	$\text{R}-\text{CONHCH}_2\text{COOH} \rightarrow \text{RCOOH} + \text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$	アミノアシラーゼ、ペプチダーゼ
抱合 (転移) グルコース		UDPG-グルコシルトランスフェラーゼ
グルタチオン、ホモグルタチオン	$\text{HOOC}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CONHCH}(\underset{\text{CH}_2\text{SH}}{\text{CONHCH}_2\text{COOH}})\text{CONHCH}_2\text{COOH}$ $+ \text{RX} \rightarrow \text{GS-R} + \text{HX}$	グルタチオントランスフェラーゼ (GSH)
アシル化 アセチル、マロニル化	$\text{R}-\text{NH}_2 + \text{CH}_3\text{CO}-\text{CoA} \rightarrow \text{R}-\text{NHCOCH}_3$ $\text{R}-\text{OH} + \text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CO}-\text{CoA} \rightarrow \text{R}-\text{OCOCH}_2\text{COOH}$	アシルトランスフェラーゼ、アセチルCoAトランスフェラーゼ、マロニルCoAトランスフェラーゼ

参 考 文 献

1. Decker, A.M. *et al.* (1994) Legume cover crop contributions to no-tillage corn production. *Agron. J.* 86, 126-135.
2. Eberlein, C.V., C.C. Sheaffer, and V.E. Oliveira (1992) Corn growth and yield in an alfalfa living mulch system. *J. Prod. Agric.* 5, 332-339.
3. Echtenkamp, G.W. and R.S. Moomau (1989) No-till corn production in a living mulch system. *Weed Technol.* 3, 261-266.
4. Managing white clover living mulch for sweet corn production with partial rototilling. *Amer. J. Altern. Agric.* 5, 4-12.
5. Hoffman, M.L., E.E. Regnic and J. Cardina (1993) Weed and corn (*Zea mays*) responses to a hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop. *Weed Technol.* 7, 594-599.
6. Ilnicki, R.D. and A.J. Enache (1992) Subterranean clover living mulch: alternative method of weed control. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 40, 249-264.
7. 神谷佐知子ら (1996) 草生マルチ稲作におけるマメ科被覆植物の抑草効果. (3) 西南暖地水田における圃場試験 雑草研究 41 (別) I, 170-171.
8. 小林良次・館野宏司・佐藤節郎 (1995) 冬作収穫跡地におけるトウモロコシの部分耕栽培法. 日草誌 41 (別), 89-90.
9. 小林良次・館野宏司・佐藤節郎 (1997) イタリアンライグラス跡における部分耕トウモロコシの生育特性と収量 日草誌 43 (別), 80-81.
10. 嶺田拓也・沖陽子・藤井義晴 (1996) 草生マルチ稲作におけるマメ科被覆植物の抑草効果 (1) バイオマスによる被覆効果. 雑草研究 41 (別) I, 166-167.
11. 嶺田拓也・沖陽子・藤井義晴 (1996) 草生マルチ稲作におけるマメ科被覆植物の抑草効果 (2) 浸水液による化学的抑草効果. 雑草研究 41 (別) I, 168-169.
12. 農林水産省草地試験場 (1994) 部分耕播種とスラリー追肥を組み合わせた夏播飼料作物の省力栽培法. 草地飼料作研究成果最新情報 9, 53-54.
13. Paine, L.K. and H. Harrison (1993) The historical roots of living mulch and related practices. *HortTechnology* 3, 137-143.
14. 坂井直樹 (1988) 不耕起栽培の研究現状 (I) - 作物収量への影響 - 農作業研究 23, 179-188.
15. 佐藤節郎・館野宏司・小林良次 (1997) イタリアンライグラスリビングマルチ及び播種期移動によるトウモロコシ畑のハリビウの防除 雑草研究 42 (別), 92-93.
16. Teasdale, J.R. (1993) Reduced-herbicide weed management systems for no-tillage corn (*Zea mays*) in hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop. *Weed Technol.* 7, 879-883.
17. Weston L.A. (1990) Cover crop and herbicide influence on row crop seeding establishment in no-tillage culture. *Weed Sci.* 38, 166-171.