

リビングマルチを利用した畑作物生産に関する栽培学的研究

三 浦 重 典^{*1)}

抄 録：リビングマルチは、主作物の播種前または播種と同時に植えられ、主作物の栽培期間中の全部または一部期間にも生存して、地表面を被覆している植物である。リビングマルチは、土壌保全や雑草防除など多くの機能を有し、環境保全型農業体系を構築する上で重要なツールであるが、わが国ではリビングマルチの持つ多様な機能を解析し、それを利用した畑作物の生産体系に関する研究はほとんどみられない。本研究では、リビングマルチを利用した畑作物生産について、マメ科牧草を利用したスイートコーンのリビングマルチ不耕起栽培体系と、麦類との同時播種によるダイズのリビングマルチ栽培体系の2つのプロトタイプについて、雑草防除と光や窒素に対する競合から、その有効性や問題点を検討した。その結果、リビングマルチはいずれの体系でも高い雑草防除効果を持ち、競合は比較的軽微で、主作物の収量や品質も慣行栽培と同等に確保できる可能性が示唆された。今後、播種作業の機械化などにより現地での試験データを蓄積することにより、リビングマルチを利用した高度な栽培技術の確立が期待できる。

キーワード：雑草防除、シロクロバ、スイートコーン、ダイズ、麦類、リビングマルチ

Cultivational Studies on Field Crop Production with Living Mulches : Shigenori MIURA^{*1)}

Abstract : Living mulches are cover crops planted either before or with a main crop, and are maintained as a living ground cover for all or part of the growing season. The objective of this research is to explore the practicality of employing living mulch systems in Japanese upland agriculture. In particular, weed control efficacy, nitrogen competition between main crops and living mulch plants, and the growth and yield of the main crops were investigated in both sweet corn-legume and soybean-winter cereal living mulch systems. This research shows that the sweet corn-white clover and soybean-winter barley living mulch systems showed high weed control efficacy without herbicides without significantly affecting main crop production, in part because nitrogen competition between the main crop and living mulch plants is small. These results may contribute effectively to crop and weed management in upland field agriculture in Japan.

Key Words : Barley, Living mulch, Soybean, Sweet corn, Weed control, White clover

目 次	
I 緒論	130
1. 作付体系研究におけるリビングマルチ栽培の位置づけ	130
2. リビングマルチに関する既往の研究成果	131
II マメ科牧草を利用したスイートコーンのリビングマルチ栽培	133
1. スイートコーンのリビングマルチ栽培に適したマメ科牧草の選定	134
2. シロクロバリビングマルチ栽培におけるスイートコーンの播種時期と収量性	140
3. シロクロバを利用したスイートコーンのリビングマルチ栽培における窒素フローの推定	142
4. 小括	149
III 秋播き性の高い麦類を利用したダイズのリビングマルチ栽培	150
1. ダイズ作に適したリビングマルチ草種の選定	150
2. 秋播き性の高い六条オオムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培	153
3. 麦の種類の違いがダイズのリビングマルチ栽培に及ぼす影響	160
4. 小括	166
IV 総合考察	166
引用文献	170
Summary	174

^{*1)} 現・中央農業総合研究センター (National Agricultural Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan)
2008年5月23日受付、2008年12月16日受理

I 緒 論

1. 作付体系研究におけるリビングマルチ栽培の位置づけ

1) 環境保全型農業を推進するための作付体系研究の意義

21世紀は「環境の時代」といわれる。農業分野においても、国内外で従来の資材多投入型農業や経済性を優先してきた農業から、持続型農業や環境保全型農業への転換に対応した技術開発や作物の栽培・管理の体系化が進んでいる。環境保全型農業は、「有機物の土壌還元などによる土作りと合理的な作付体系とを基礎として、化学肥料、農薬などの効率的利用により、これら資材への依存を減らすことを通じて環境保全と調和などに留意しながら、幅広く実践できる持続可能な農法」(農林水産省)といわれているように、環境保全型農業技術の開発、普及において作付体系研究の持つ重要性は高い。

一般に、作付体系(Cropping system)の概念には、1つの耕地(圃場)における時系列的な配置と空間的配置がある。耕地に作物を時系列的に配列する場合には、地力維持、病害虫の発生、収量・品質、収益性などの関連で作付方式(または作付順序:Cropping sequence)が問題になる。大久保(1976)は作付方式において、同一の土地に対して同一の作物を年々繰り返して栽培することを連作(Continuous cropping)、異なる種類の作物を一定の順序で循環して栽培することを輪作(Rotation)としている。また、作付方式の中に休閑を含むことがある。これに対して、間作や混作にみられるような作物の空間的配置は、作付様式(Cropping pattern)と呼ばれる。

作付体系は、環境保全型農業を推進するための基盤的な技術として改めて注目されている。山本(1995)は、環境保全型農業における作付体系の役割・機能は、作物と土壌との相互作用によって形成される環境を、作付けする作物にとって都合のよい状況に改変したり、維持することとしている。言い換えれば、作物、土壌、土壌微生物などの持つ土壌保全、地力維持、病害虫や雑草防除などの機能を活かして、作物を持続的・安定的に生産するための輪作、間・混作体系を構築することが、環境保全型作付体系研究の目的となる。

2) カバークロップとリビングマルチ

環境保全型作付体系を構築する際のツールとし

て、カバークロップ(被覆作物)が利用されている。江原(1971)は、被覆作物を土壌の浸食を防ぎ土壌中に有機物を加えて土壌改良に役立つ「土壌保護作物」と定義している。しかし、近年では、土壌の改良や保護だけでなく、カバークロップの持つ窒素の供給(Corakら 1991、Araki and Ito 1998、大段・大門 1998、Komatsuzaki 2002)や溶脱の防止(McCrackenら 1994、Waggerら 1998)、病害虫防除(近岡ら 1982、Masiunasら 1997)、雑草防除(Teasdale and Daughtry 1993、Creamerら 1997、Fiskら 2001)などの機能を解明し、それを効果的に利用して作物や野菜の栽培技術を開発する研究が国内外で行われている。これらは、カバークロップを主作物の栽培の前後に組み込む輪作体系において研究されているものが多い。

これに対して、間・混作体系にカバークロップを導入する研究は、ヨーロッパを先駆とする果樹園の草生栽培に関するものが代表的である(Stott 1967、Miller and Eldridge 1989、McGourty 1994)。わが国においても、戦後、傾斜地果樹園の土壌流亡の防止や省力化を目的にした草生栽培の研究がみられる(坂本ら 1965、藤井 1990)。一方、果樹園以外の農耕地においては、主作物とカバークロップを間・混作する栽培法に関する研究は、1980年頃までほとんどみられなかった。これは、輪作体系でみられるカバークロップから主作物への窒素の供給などの機能が、間・混作体系ではあまり有効に働かず、むしろ光や養水分に対する競合により主作物の生産性を低下させる場合が多いためであると考えられる。しかしながら、環境保全型農業という視点からみると、カバークロップの持つ病害虫防除や雑草防除などの機能は、間・混作体系の中でも十分に利用可能なものである。このように間・混作体系の中で利用されるカバークロップを、従来の輪作体系で利用されるカバークロップと区別してリビングマルチと呼ぶ場合が多い。

リビングマルチという用語は、1979年にコーネル大学のRobert Sweetが緑肥以外の目的で栽培されるカバークロップを表す用語として使ったのが最初といわれている(佐藤 1998)。しかし、現在でもカバークロップとリビングマルチという用語は必ずしも厳密に区別されているわけではない。Hartwig and Ammon (2002)は、主作物の播種前に枯殺されるものをカバークロップ、主作物の生育期間にも

植生を維持しているものをリビングマルチとして区別している。本研究では、主作物の播種前または播種と同時に植えられ、主作物の栽培期間中の全部または一部期間にも生存して、地表面を被覆している植物を「リビングマルチ」と定義することとした。

2. リビングマルチに関する既往の研究成果

1) 欧米におけるリビングマルチ栽培研究の展開

「リビングマルチ」という用語が散見されはじめた1980年頃から、土壌侵食の防止や土壌のしまり (soil compaction) の軽減など土壌保全を目的に、不耕起や部分耕などの耕起法とリビングマルチを組み合わせ、主作物とリビングマルチ草種との競合から、リビングマルチに最適な草種や栽培法を論じている研究報告がみられる。Nicholson and Wien (1983) は、クリーピングベントグラス、レッドフェスク、シロクロバなど8草種をリビングマルチとして生育させ、スイートコーン及びキャベツを部分耕した土壌にそれぞれ播種及び移植して栽培した。その結果、リビングマルチの乾物重が増えるとスイートコーン及びキャベツの収量は低下すること、その要因として水分や窒素に対する競合が関係すること、シロクロバの野生種などがリビングマルチに適することを示した。Echtenkamp and Moomaw (1989) は、リビングマルチを利用したトウモロコシの不耕起栽培では、トウモロコシ播種前後に除草剤を施用しリビングマルチの生育を抑制しないと、トウモロコシの収量が慣行栽培より減少することを報告した。

1980年代後半からは、従来の土壌保全に加え、雑草防除や病害虫防除を目的としたリビングマルチ栽培研究が多くみられるようになった。そこでは、主作物として、トウモロコシ (Grubinger and Minotti 1990, Fischer and Burrill 1993, Garibay ら 1997)、ダイズ (Liebl ら 1992, Ateh and Doll 1996)、スナップピーン (Masiunas ら 1997)、ジャガイモ (Boyd ら 2000)、キャベツ (Brandsæter ら 1998)、ブロッコリ (Costello 1994, Ellis ら 2000) などが、リビングマルチ草種として、ライムギ (Liebl ら 1992, Ateh and Doll 1996)、イタリアンライグラス (Garibay ら 1997)、クローバ類 (Grubinger and Minotti 1990, Fischer and Burrill 1993, Kumwenda ら 1993)、アルファルファ (Eberlein ら 1992, DeHaan ら 1997)、キカラシ (DeHaan ら 1994, Hooks ら 1998) などが利用され、主作物と

リビングマルチ草種との多様な組み合わせについて研究が行われた。Ateh and Doll (1996) は、ライムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培では、雑草バイオマスが顕著に減少することを報告している。Brandsæter ら (1998) は、クローバ類やライグラスを利用したキャベツのリビングマルチ栽培では、キャベツ単作に比べて収量はやや減少するものの、雑草やハエ (cabbage root fly) などの害虫の発生が抑えられることを示し、土壌への窒素の供給などを含めたリビングマルチの持つ効果について考察している。

2) リビングマルチを利用した雑草防除に関する研究

DeGregorio and Ashley (1985) が、シロクロバを利用したスイートコーンのリビングマルチ栽培における雑草抑制効果を明らかにした1980年代半ば頃からは、リビングマルチを利用した雑草防除に関して多くの報告がみられる。これらは、リビングマルチを除草剤により制御するものと無除草剤で管理するものの二グループに大別される。前者は、主作物とリビングマルチとの競合を抑えるために、主作物の播種前に非選択性の除草剤を施用してリビングマルチの生育を衰退させるもので、リビングマルチの残さと残った植生により雑草をコントロールしようとするものである。後者は、除草剤を使用しないもので、機械的な手法を用いて主作物の栽培期間中のリビングマルチを管理するケースが多いが、リビングマルチに対して特段の管理を行わない場合もある。

Grubinger and Minotti (1990) は、シロクロバを用いたスイートコーンのリビングマルチ栽培では、栽培期間中の競合を回避するために、畝間のシロクロバを部分耕により衰弱させることで、雑草が抑制され慣行栽培と同等のスイートコーンの収量が得られたと報告している。Ilnicki and Enache (1992) は、自然下種 (self-seedling) するサブトレニアクローバをリビングマルチとして利用すると、無除草剤でも高い抑草効果があることを報告している。このような除草剤に依存しないリビングマルチ栽培体系の構築は、薬剤成分による水質汚染の防止や環境保全、除草作業の省力化などに貢献する可能性が高い。

3) わが国の畑作におけるリビングマルチ栽培に関する研究の意義

前述したように、リビングマルチに関する研究は

欧米を中心に行われており、わが国では1990年代後半まで研究報告はほとんどみられない。これは、わが国の水田及び畑では土壌侵食が欧米ほど顕著でなかったことから、不耕起栽培やカバークロップ、リビングマルチを利用した土壌保全に関する研究や技術開発が進まなかったことが一因であると考えられる。また、わが国の春から夏期にかけての気象条件は、欧米とは異なり高温、多雨であることから、病虫害や雑草の発生が助長され、防除はより困難を極める。このため、殺虫剤や除草剤など省力的かつ防除効果が高い化学合成農薬への依存度は高まり、それ以外の耕種的な手法による病虫害・雑草防除に関する研究や技術開発はおざなりにされていたといわざるをえない。

しかしながら、近年、食の安全や環境保全への関心の高まりから、農業や化学肥料に過度に依存した栽培体系からの転換が求められている。また、農業従事者の減少により、耕地利用率は低下し、遊休農地や耕作放棄地が増加しており、不作付け期間の土壌の風食や窒素の溶脱などが懸念されている。このような状況の中で、今後、持続的かつ環境に配慮した農業を推進するためには、土壌保全、病虫害・雑草防除、景観保全など多くの機能を有するとされるカバークロップやリビングマルチの農業現場への導入を目指した試験研究は重要であると考えられる。しかし、わが国ではリビングマルチの持つ機能を解析し、リビングマルチを利用した畑作物の栽培法について明らかにした研究はほとんどみられない。

そこで、本研究では、これまで述べてきたリビングマルチに関する既往の成果と研究の展開方向を基礎にして、わが国の畑地（水田転換畑を含む）におけるリビングマルチ栽培導入の可能性について、主として雑草防除と光や窒素に対する競合の回避という点から検討することを目的とした。

Ⅱでは、主作物としてスイートコーン、リビングマルチ草種としてマメ科牧草（主としてシロクロバ）を選定し、無除草剤によるスイートコーンの不耕起栽培を試みた。スイートコーンとマメ科牧草の組み合わせを選んだ理由は、①スイートコーンは初期生育が早く、草丈が高くなることからリビングマルチ草種との光競合が小さい、②マメ科牧草は高い被覆力を有することから雑草の発生や生育を阻害する、③マメ科牧草は根粒菌により窒素固定を行うことから主作物との窒素に対する競合が緩和される、

④マメ科牧草の種子は安価に手に入り栽培も比較的簡単である、と考えたからである。まず、生態的特性の異なる3種のマメ科牧草を利用してスイートコーンのリビングマルチ栽培を行い、雑草抑制効果、スイートコーンの生育・収量に及ぼす影響、光や窒素に関する競合などの点から評価して、リビングマルチに適した牧草種としてシロクロバを選定した。次に、スイートコーンとシロクロバの組み合わせによるリビングマルチ栽培において、播種時期を変えた場合のスイートコーンの株立ちや収量の違いを調査し、収量を安定させるための栽培時期や播種法について検討した。さらに、リビングマルチ栽培における窒素の吸収量と溶脱量、シロクロバからスイートコーンへの窒素の移行量及びシロクロバの根粒による固定窒素量を測定し、窒素フローを推定した。これにより、スイートコーンとシロクロバとの間の窒素に対する競合を評価するとともに、リビングマルチ栽培における窒素減肥の可能性について実証試験を含めて検討した。

Ⅲでは、東北地域の水田転作作物として栽培面積が増加しているダイズのリビングマルチ栽培について検討した。東北地域におけるダイズ栽培では、除草剤と中耕培土を組み合わせた雑草防除が基本である。しかし、中耕時期が梅雨期となっていることから中耕ができない場合があり、雑草害によって収量や品質の低下がみられることから、リビングマルチ栽培の導入が有効と判断した。ダイズを主作物とした場合のリビングマルチ草種として、Ⅱで取り上げたシロクロバも候補として考えられる。しかし、ダイズとシロクロバは同じマメ科であるため共通の病虫害が多く、特に北日本のダイズ栽培で問題となっているダイズわい化病については、クロバ類がウイルスを媒介するジャガイモヒゲナガアブラムシの越冬地になり感染源となっている（玉田 1975、御子柴ら 1991）ため、ダイズ栽培においてシロクロバをリビングマルチとして利用することは不適切であると考えられる。また、技術の普及を考えた場合、不耕起栽培より通常の耕起栽培の方が生産者に受け入れられやすいと考え、ダイズとリビングマルチ草種を同時に播種することとした。そこで、まずダイズとの同時播種に適したリビングマルチ草種及び播種法について検討した。次に、秋播き性の高い六条オオムギによるリビングマルチとダイズ播種時期の土壌処理除草剤との組み合わせが、雑草の生

育量やダイズの生育及び収量に及ぼす影響について検討した。さらに、形態的な特性が異なる麦類をリビングマルチとした場合の雑草及びダイズの生育及び収量に及ぼす影響についても調査し、ダイズ作におけるリビングマルチ栽培の可能性について明らかにした。

本研究の遂行及びとりまとめにあたり、終始懇切なご指導とご助言を賜った北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの荒木肇教授に対し厚くお礼申し上げます。また、本論文のとりまとめにあたり大変有益なご助言をいただいた北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの山田敏彦教授、北海道大学大学院農学研究院の岩間和人教授、大崎満教授に深く感謝の意を表する。

中央農業総合研究センターの渡邊好昭氏、作物研究所の小柳敦史氏には、本研究に取り組むにあたっての基礎的考え方、基盤的技術をご指導いただき、本研究の遂行ととりまとめにあたって多くのご教示とご助言をいただいた。東北農業研究センターの小林浩幸氏には、本研究の遂行にあたって調査などにご協力いただき、また多くのご助言をいただいた。中央農業総合研究センターの山本泰由氏（現農業技術協会）には、本研究のとりまとめにあたって多くのご教示とご助言をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

本研究は、東北農業研究センター福島研究拠点で行ったものであり、多くの方にご指導、ご援助を頂いた。飯塚隆治氏（現日本石灰窒素工業会）、山田一郎氏（現九州農業研究センター）、新田恒雄氏（現北海道農業研究センター）には、研究の遂行ととりまとめにあたりご指導いただいた。伊東健二氏、宍戸力雄氏、菅正氏、吉田聖徳氏をはじめ業務科の方々及び非常勤職員の菅野光子、菅裕美氏には作物の栽培・管理と調査にご協力いただいた。秋田県農林水産技術センターの井上一博氏、福島県農業総合センターの二瓶直登氏には試験の設計や結果の解析に多くの貴重なご意見をいただいた。秋田県農林水産技術センターの金田吉弘氏（現秋田県立大学）、進藤勇人氏、三浦恒子氏ほか職員の方々には、¹⁵Nの測定にあたって、測定装置の使用と分析結果のとりまとめにご配慮とご助言をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

本研究でリビングマルチとして使用した麦類の種子の一部は、秋田県、福島県、岡山県、愛媛県、宮

崎県の各農業関係試験場及び農業・食品産業技術総合研究機構内の研究所から譲渡していただいたものである。ご協力に厚く御礼申し上げます。本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト「パイオニア特別研究」により実施した。本論文は、「北海道大学審査学位論文」を東北農業研究センター研究報告校閲・審査内規に沿って加筆・修正したものである。

* 機関名などは、平成20年3月現在の名称で記載いたしました。

Ⅱ マメ科牧草を利用したスイートコーンのリビングマルチ栽培

トウモロコシは初期生育が旺盛で根系が速やかに形成され、また草丈も高くなるため、光や養・水分に対する競合に強いと考えられる。このため、リビングマルチ栽培に最も適した作物であるといえる。これまで欧米を中心にトウモロコシを主作物としてリビングマルチ栽培を行った研究が多くみられる。Nicholson and Wien (1983) は、スイートコーン及びキャベツを数十種の牧草の下でリビングマルチ栽培した場合、それらの収量とリビングマルチ草種の乾物生産量との間に負の相関があると報告している。Satoら (1998) も、トウモロコシ畑のハリビユの防除にイタリアンライグラスによるリビングマルチが有効であるが、トウモロコシの収量は除草剤使用区に比べて減少したと報告している。一方、Ilnicki and Enache (1992) は、サブトラニアンクローバリビングマルチによる雑草抑制の効果を認め、トウモロコシの収量は慣行栽培と同程度であったと報告している。

このように、リビングマルチ栽培における作物の生育、収量や雑草抑制効果については主作物とリビングマルチ草種の組み合わせや気象条件などの違いにより異なっており、統一的な結論が出ていない。また、いずれの報告においても作物とリビングマルチ草種との競合の機作については十分な解析が行われていない。

そこで、わが国では研究蓄積の少ない畑作物のリビングマルチ栽培について、スイートコーンを除草剤を用いずにマメ科牧草リビングマルチの下で栽培した場合の雑草抑制効果及びスイートコーンの生育、収量及び品質を調査・解析した。さらに、スイートコーンとリビングマルチ草種及び雑草との



図1 マメ科牧草によるリビングマルチを利用したスイートコーンの栽培体系

マメ科牧草は前年9月に播種（播種量10アール当たり3～5kg）し、ローラーで鎮圧する。スイートコーンの播種時にマメ科牧草を地際で刈り取り、刈り敷く。緩効性肥料を地面に散布、施肥量は慣行栽培に準ずる。

間の光や窒素との競合について解析し、わが国におけるリビングマルチ栽培の可能性や方向性について検討した。

1. スイートコーンのリビングマルチ栽培に適したマメ科牧草の選定

リビングマルチには多くの草種が用いられるが、地表面の被覆力が高いことや主作物との光や養水分などに対する競合を最小限に抑えることが草種選択の基準となる。マメ科植物は、一般に被覆力が高く、根粒菌により窒素固定を行うことから主作物との窒素に対する競合が少ないため、リビングマルチ草種に適していると考えられる。そこで、生態的特性の異なる3種のマメ科植物をリビングマルチとして利用し、スイートコーンの栽培を行い、雑草抑制効果及びスイートコーンの生育、収量及び品質について検討した。

1) 材料及び方法

試験は、1998年と1999年に図1に示す栽培体系に基づいて、福島市にある東北農業試験場（現東北農業研究センター）の試験圃場（土壌は淡色黒ボク土）で行った。試験前年は夏作にソルガム、冬作にライムギを栽培し、圃場を均一化した。リビングマルチとするマメ科植物（以下、リビングマルチ牧草とする）として、1998年にはアルファルファ（*Medicago sativa* L.、品種：タチワカバ、試験区名：AL区）、

アカクロローバ（*Trifolium pratense* L.、品種：ハミドリ、試験区名：RC区）及びシロクロローバ（*Trifolium repens* L.、品種：フィア、試験区名WC区）を、1999年にはアカクロローバとシロクロローバを用いた。なお、1998年は対照区としてリビングマルチのない不耕起放任区（以下、NT区とする）を、1999年はNT区に加えて、耕起し除草剤を使用する慣行区（以下、CC区とする）を設けた。試験区は、1区面積35m²（7m×5m）で乱塊法4反復とした。

前年9月中～下旬に耕起後、上記マメ科牧草の種子5.5gm⁻²を散播しローラーで鎮圧した。1998年は6月11日、1999年は6月10日にCC区を除く試験区のリビングマルチ牧草及び雑草をハンマーナイフモアで地際から約5cmの高さで刈取り、直後に畦間90cm×株間30cm間隔（3.7株m⁻²）に移植ごとで深さ3cm程度の穴を掘り、スイートコーン（品種：1998年はスカイライナー85、1999年はキャンベラ86）を1穴3粒ずつ播種した。肥料は、CDU複合燐加安S555（N = 22.5gm⁻²）を土壌表面に散布した。CC区については、施肥の後耕起してスイートコーンを播種し、土壌処理除草剤のアトラジンとアラクロールを規定量散布した。1998年、1999年とも7月7日（播種後26及び27日）に条間と株間のリビングマルチ牧草及び雑草を地際から約5cmの高さで刈取り（以下、中間刈取りという）、スイートコーン



アルファルファのリビングマルチ区



アカクロバのリビングマルチ区



シロクロバのリビングマルチ区

図2 中間刈取り前のリビングマルチ栽培の状況
(1998年7月7日)

を間引きして1本仕立とした(図2)。絹糸抽出期前後に、アワノメイガなどを防除するためイソキサチオン及びMEPを各1回散布した。なお、栽培期間中には、除草剤は散布せず、追肥も行わなかった。

約10日毎にスイートコーンの草丈、リビングマルチ牧草及び雑草の草高を調査した。また、スイートコーンの播種前及び栽培期間中に計5回、条間の平均的な群落中に50cm×50cmの枠(コドラート)を1箇所設け、リビングマルチ牧草及び雑草を地際から約5cmの高さで刈取って乾物生産量を調査した。スイートコーンの株立ち数(欠株数)の調査は1998年、1999年とも7月7日に行った。また、1998年は7月13日、7月24日、8月7日に、1999年は7月7日、7月23日、8月11日にそれぞれ1区4個体について地上部乾物重を調査した。絹糸抽出日は各区内の半数以上の個体の絹糸が抽出した日とし、収量調査は絹糸抽出日から22～25日後に8～14個体(AL区は7個体以下の場合あり)について行い、地上部の乾物重、苞葉を含む雌穂生重、穎果の粒数、一列粒数を調査した。また、葉、茎、雌穂に分けた部位別の窒素含有率をCNコーダー(Yanako製MT-600)で測定した。さらに1999年は雌穂の外観品質

を先端不稔、虫害などの程度により、先端不稔無～微かつ虫害無=3、先端不稔2cm程度以内かつ虫害微=2、先端不稔4cm程度以内かつ虫害少=1、前記以外=0の4段階分級に基づく品質指数によって調査した。

2) 結果

(1) スイートコーンの草丈とリビングマルチ牧草及び雑草の草高と乾物重

1998年における各処理区のスイートコーンの草丈とリビングマルチ牧草及び雑草の草高を図3に示した。スイートコーンの草丈は、7月21日(播種後40日)以降WC区≒NT区>RC区>AL区の順で、AL区ではWC区、NT区に対して有意に低かった。リビングマルチ牧草の中間刈取り直前の草高は、AL区>RC区>WC区の順で、最も高いAL区では59cmに達し、スイートコーンの草丈と同程度であった。中間刈取り以降、NT区の雑草の草高が経時的に高くなり、8月6日(絹糸抽出期)には75cm、8月31日(収穫期)には135cmとなった。一方、リビングマルチ牧草の草高は、いずれも8月6日に中間刈取り時直前と同程度となり、以降は高くないか、かえって低くなった。この傾向は1999年にお

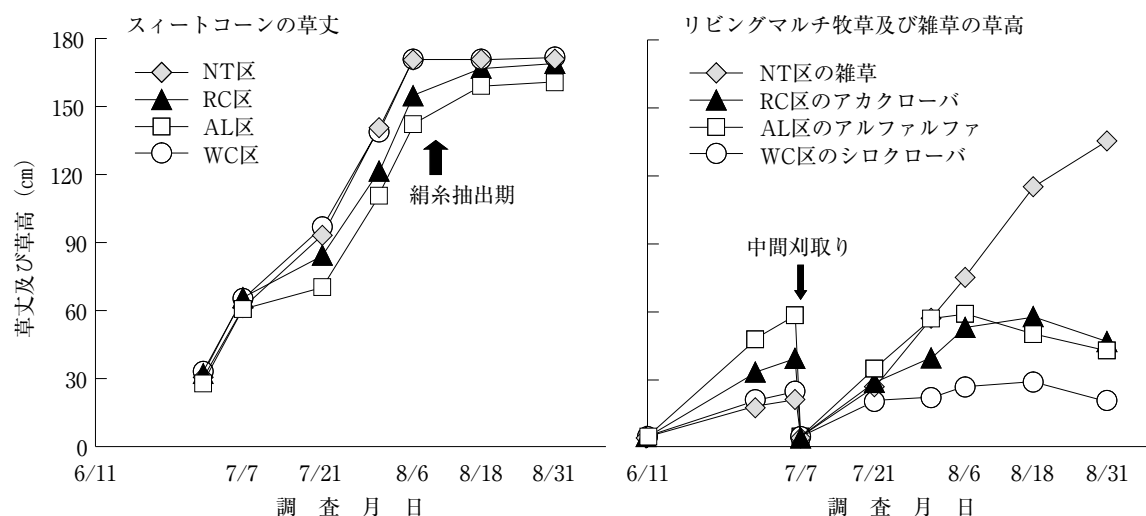


図3 スイートコーンの草丈とリビングマルチ牧草及び雑草の草高の推移 (1998年)
NT区：不耕起放任区、RC区：アカローバ区、WC区：シロローバ区、AL区：アルファ区。

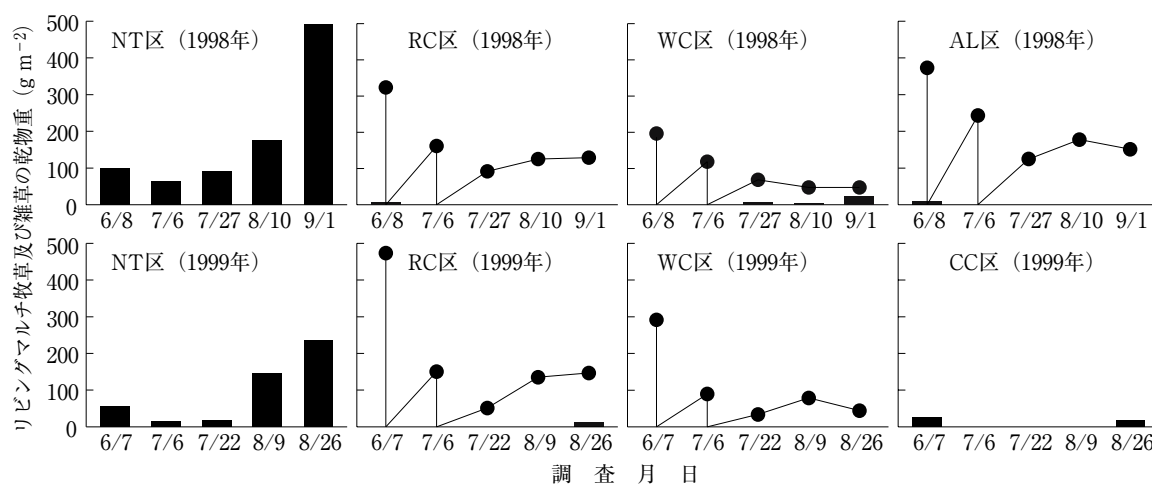


図4 リビングマルチ牧草及び雑草の乾物重の推移

● リビングマルチ牧草 ■ 雑草

NT区：不耕起放任区、RC区：アカローバ区、WC区：シロローバ区、
AL区：アルファ区、CC区：慣行栽培区 (耕起・除草剤使用)。
播種日：1998年6月11日、1999年6月10日。

いてもほぼ同様であった。

リビングマルチ牧草及び雑草の乾物重の推移を図4に示した。リビングマルチ区 (RC区、WC区、AL区) では1998年、1999年ともスイートコーン播種前の6月上旬の雑草の発生が極めて少なかった。一方、NT区では雑草の発生が多く、ナズナ、コハコベ、イヌタデなどの広葉雑草が優占する植生で、合計乾物重は1998年が $100g\ m^{-2}$ 、1999年が $55g\ m^{-2}$ であった。

スイートコーンの栽培期間中については、リビングマルチ区及びCC区では、絹糸抽出期頃から一部

にイヌビエなどイネ科雑草の発生が認められたものの、雑草の乾物重は少なく $25g\ m^{-2}$ 以下であった。一方、NT区では、絹糸抽出前の7月下旬からイヌビエ、メヒシバ、イヌビユなどが多くみられ、全乾物重も急速に増加して、スイートコーン収穫期の8月下旬～9月上旬には1998年が $494g\ m^{-2}$ 、1999年が $235g\ m^{-2}$ に達した。

リビングマルチ牧草は、播種後から中間刈取りまでの約1ヶ月間には急速に再生したが、中間刈取り以降の乾物生産量が少なく、スイートコーン収穫期の乾物重は1998年はAL区で $152g\ m^{-2}$ 、RC区で

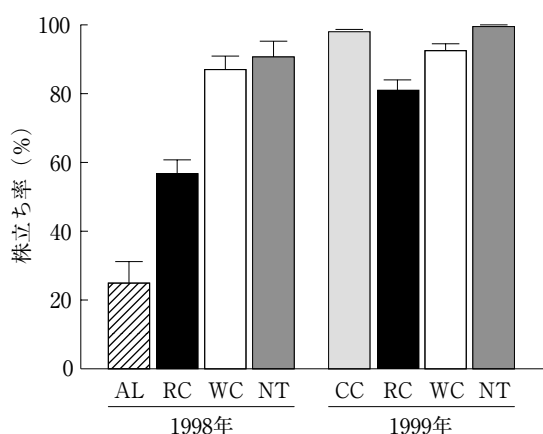


図5 スイートコーンの株立ち率

AL：アルファルファ区、RC：アカクロバ区、
WC：シロクロバ区、CC：慣行栽培区、
NT：不耕起放任区。
図中の縦線は標準誤差（n=4）。

130g^m⁻²、WC区で71g^m⁻²、1999年はRC区で158g^m⁻²、WC区で44g^m⁻²であった。

(2) スイートコーンの生育、収量及び品質

図5にスイートコーンの株立ち率（100%－欠株率）を示した。株立ち率は両年ともNT区で最も高かった。リビングマルチ区では、WC区が最も高く1998年が87%、1999年が93%であった。しかし、RC区、AL区の株立ち率は1998年がRC区で57%、AL区で25%、1999年がRC区で81%で両年ともWC区に比べ低かった。なお、CC区のそれは、NT区と同程度であった。

スイートコーンの生育、収量（雌穂収量）及び品質を表1に示した。絹糸抽出日は、1998年、1999年ともWC区で最も早く、NT区で0～1日、RC区で

1～3日、AL区で4日、CC区で5日遅れた。地上部乾物重は、1998年にはWC区>RC区>NT区>AL区の順で、WC区とNT区、AL区との間には有意な差が認められ、1999年にはいずれの処理区の間にも有意な差はなかったが、WC区>RC区>CC区>NT区の順であった。1個体当たりの雌穂生重は、地上部乾物重と同様の傾向を示し、WC区、RC区で大きくAL区、NT区で小さかった。粒数を構成する粒列数、一列粒数についてみると、1998年には粒列数は処理区による違いは認められなかったが、一列粒数はWC区が他の区よりも有意に多く、RC区>AL区>NT区の順に減少した。1999年においても粒列数はCC区で有意に少なかったが、他の区には差がなく、一列粒数はCC区で多くNT区で少なかった。収量は、両年ともWC区で最も高く1998年には他の処理区に対して有意な差が認められた。なお、リビングマルチ区のスイートコーンの収量は、1998年、1999年とも株立ち率との間に有意な正の相関が認められ（図6）、NT区あるいはCC区における株立ち率に対する収量は、リビングマルチ区にみられた回帰直線の下であった。さらに、1999年の品質指数はCC区、RC区、WC区で高くNT区で低かった。

(3) 地上部の窒素吸収量

スイートコーン、リビングマルチ牧草及び雑草の窒素吸収パターンを明らかにするために、各調査期間ごとに単位面積当たりの地上部の窒素吸収量（乾物重×窒素含有率）の増加分を日数で除した値（以下、1日当たりの窒素吸収量という）を図7に示した。スイートコーンの1日当たり窒素吸収量は、1998年にはいずれの処理区でも絹糸抽出期頃となる

表1 スイートコーンの収量及び品質

年次	試験区	絹糸抽出日	地上部乾物重 g plant ⁻¹	雌穂生重 g plant ⁻¹	粒列数	一列粒数	収量 g m ⁻²	品質指数
1998	NT区	8/ 6	73.9 ^{bc}	224.2 ^{bc}	12.0 ^a	26.1 ^c	549 ^b	—
	RC区	8/ 9	86.7 ^{ab}	266.7 ^{ab}	12.3 ^a	29.8 ^b	550 ^b	—
	WC区	8/ 6	102.3 ^a	295.5 ^a	12.6 ^a	33.1 ^a	890 ^a	—
	AL区	8/10	60.3 ^c	205.1 ^c	12.0 ^a	28.7 ^{bc}	115 ^c	—
1999	NT区	8/ 8	135.8 ^a	339.8 ^c	18.3 ^a	33.1 ^c	1,089 ^{ab}	56 ^b
	RC区	8/ 8	141.8 ^a	371.2 ^{ab}	18.0 ^a	35.7 ^b	997 ^b	80 ^a
	WC区	8/ 7	149.7 ^a	379.8 ^a	18.6 ^a	35.1 ^{bc}	1,211 ^a	74 ^a
	CC区	8/12	137.9 ^a	360.0 ^{bc}	15.9 ^b	39.9 ^a	1,149 ^a	82 ^a

注. NT区：不耕起放任区、RC区：アカクロバ区、WC区：シロクロバ区、AL区：アルファルファ区、CC区：慣行栽培区。

同一アルファベット小文字間には5%水準（Tukey法）で有意差がない（年次別に検定）。

収量は苞葉を含む雌穂収量。

品質指数は外観品質を先端不稔、虫害等の程度により0、1、2、3の4段階に分類し、重みづけ平均して求めたものの（本文参照）。

7月下旬～8月上旬に、1999年には登熟期の8月中旬以降に最も高かった。また、WC区におけるスイ

ートコーンの窒素吸収量は、生育期間を通して他の処理区に比べて多い傾向にあった。

リビングマルチ牧草の1日当たり窒素吸収量は、スイートコーンの生育初期から中期にかけてはNT区における雑草に比べて多かった。しかし、絹糸抽出期以降はNT区の雑草の窒素吸収量が高かったのに対し、リビングマルチ牧草の窒素吸収量は減少した。登熟期にはRC区の1日当たり窒素吸収量はおおむね 0 mgm^{-2} となり、AL区、WC区では負となってリビングマルチ牧草は窒素を放出していた。NT区の雑草の1日当たり窒素吸収量は、絹糸抽出期には1998年、1999年ともおおむね 150 mgm^{-2} で多かったが、登熟期には1998年は 199 mgm^{-2} に増加したのに対し、1999年は雑草の乾物重の増加量が少なかったため 59 mgm^{-2} に減少した。

3) 考察

これまでのリビングマルチに関する研究の多くは、作物の作付け前に除草剤を使用してカバークロップを衰弱や枯死させ、主に残さによる被陰で初期の雑草発生を抑制しようとするもの (Mooreら 1994, Galloway and Weston 1996) であった。しかし、近年は、カバークロップを除草剤で枯殺せずに、その立毛中に作物を播種あるいは移植する省力かつ持続的な農業技術としての研究も進んでいる (Nicholson and Wien 1983, Grubinger and Minotti 1990, Ilnicki and Enache 1992, 嶺田ら1997, Brandsæterら 1998, Sato ら 1998)。

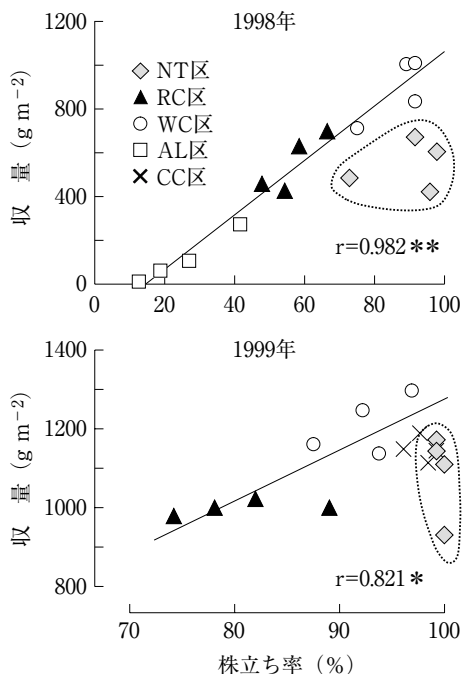


図6 株立ち率と収量との関係

NT区：不耕起放任区、RC区：アカクロバ区、WC区：シロクロバ区、AL区：アルファルファ区、CC区：慣行栽培区。

図中の相関係数及び回帰直線はリビングマルチ区 (RC区、WC区、AL区) のデータより計算したもの。
**、*：1%水準、5%水準でそれぞれ有意。

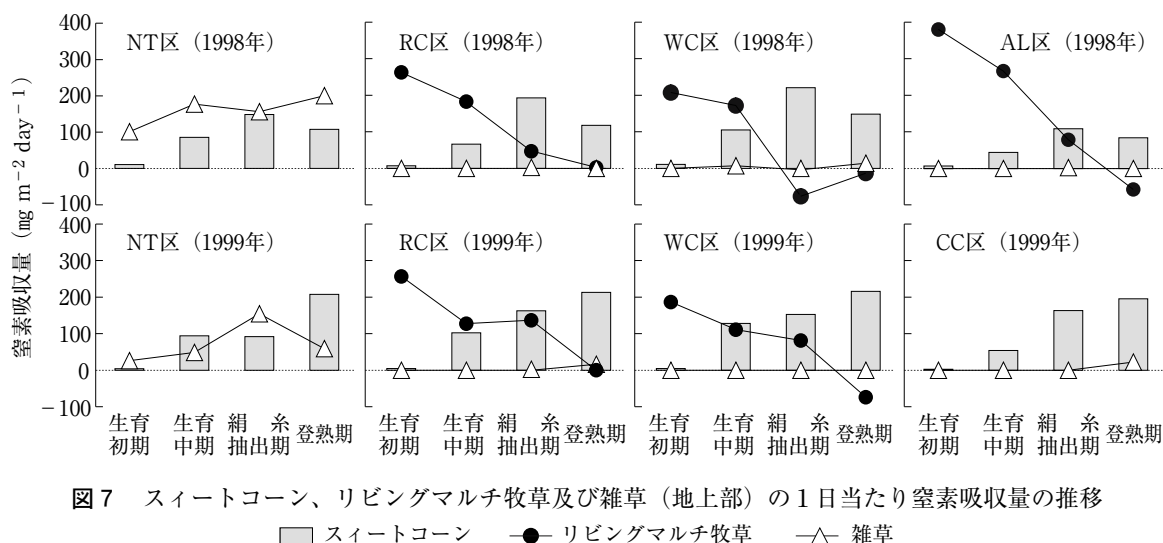


図7 スイートコーン、リビングマルチ牧草及び雑草（地上部）の1日当たり窒素吸収量の推移

■ スイートコーン ● リビングマルチ牧草 ▲ 雑草

NT区：不耕起放任区、RC区：アカクロバ区、WC区：シロクロバ区、AL区：アルファルファ区。CC区：慣行栽培区。
図中の横軸は以下の期日に相当。
1998年：生育初期＝7月13日以前、生育中期＝7月14日～7月24日、絹糸抽出期＝7月25日～8月7日、登熟期＝8月8日以降。
1999年：生育初期＝7月7日以前、生育中期＝7月8日～7月23日、絹糸抽出期＝7月24日～8月11日、登熟期＝8月12日以降。

畑地におけるリビングマルチの雑草抑制効果については、シロクロバ (Brandsæterら 1998) やサブタレニアンクロバ (Ilnicki and Enache 1992、Brandsæterら 1998) などを用いた実験でおおむね良好な結果が報告されている。本試験においても、供試したマメ科牧草の種類にかかわらずリビングマルチにより雑草の発生が顕著に抑制された (図4)。

一方、リビングマルチが作物の生育や収量に及ぼす影響はリビングマルチとして利用する草種、作物の種類、栽培管理法などによって異なり、必ずしも統一した結果になっていない (Nicholson and Wien 1983、Grubinger and Minotti 1990、Ilnicki and Enache 1992、嶺田ら1997、Sato ら 1998)。本試験では、アルファルファ、アカクロバをリビングマルチとした場合 (AL区、RC区) に比較してシロクロバをリビングマルチとした場合 (WC区) にスイートコーンの株立ち率が高かった。そしてWC区の収量は1999年は慣行栽培 (CC区) と同程度であり (表1)、1998年も別の圃場で同時期に慣行栽培をしたスイートコーンの収量 (730gm^{-2}) 以上であった。リビングマルチ区では収量と株立ち率との間に正の相関がみられた (図6)。このことは、リビングマルチ栽培における作物の株立ち確保の重要性を示すものである。リビングマルチ栽培の株立ちには、リビングマルチ牧草の生産力、すなわち本試験の場合、スイートコーンの生育初期にあたる中間刈取り時までの草高や乾物生産量が大きく影響すると考えられる。

中間刈取り時のリビングマルチ牧草の草高は、WC区でスイートコーンの草丈より顕著に低かったのに対し、RC区ではやや低く、AL区では同程度であった (図3)。また、中間刈取り時の乾物生産量とスイートコーンの株立ち率との関係をみると、1998年、1999年とも両者の間に有意な負の相関関係が認められた (図省略)。これらのことは、株立ち率の高かったWC区ではシロクロバとスイートコーンの間の光や養分に対する競合が小さかったことを示唆するものである。しかし、RC区やAL区では光の競合が大きかったことに加え、リビングマルチ牧草の乾物生産量が多かったことから養分の競合も大きく、株立ち率が低下したものと考えられる。さらに、AL区では中間刈取り時にスイートコーンの地上部乾物重が他の処理区に比べて小さかったことが、その後の生育や収量にも影響を与えたと考えら

れる。中野・杉本 (1999) も、アルファルファやヘアリーベッチのような被陰度の大きい緑肥作物立毛中に不耕起播種した水稻では苗立ち率が著しく低下し、収量も低いと報告しており、本試験の結果はこれとほぼ一致している。

一方、図6において、CC区とNT区のデータが回帰直線より下にあったことから、CC区、NT区では、株立ち率の割に収量が低かったと言える。特にNT区では、中間刈取り時の雑草の草高は最も低く、株立ち率は最も高かったにもかかわらずスイートコーンの収量が低かった (図5、表1)。これは、NT区では中間刈取り以降にスイートコーンと雑草との間の光や養分に対する競合が大きかったことを示唆するものである。すなわち、NT区では中間刈取り以降に雑草の草高や乾物重が著しく増加したため (図3、図4)、光の競合による光合成速度の低下や受粉障害などが起こり、スイートコーンの乾物生産量が低下して雌穂生重も小さくなり (表1)、収量が低下したと考えられる。

これに対して、WC区、RC区では中間刈取り以降もリビングマルチ牧草の草高が低かったことからスイートコーンとの光の競合はほとんどなく、また乾物生産量も少なかったことから養分の競合も小さかったと推測される。そのため、WC区、RC区では雌穂生重大きく、品質指数も高かった (表1) と考えられる。AL区は、収穫時の地上部乾物重や雌穂生重が小さかった (表1) ことから、中間刈取り以降も養分の競合は大きかったと推測される。

そこで、リビングマルチ栽培を窒素に対する競合という点から考えてみると、マメ科牧草は、根粒菌により固定された窒素に一部依存して生育するという点が重要である。マメ科牧草の窒素固定量は草種や栽培条件によって異なるが、大久保 (1984) は、マメ科牧草の窒素固定量がアルファルファで年間 $10 \sim 28.6\text{gm}^{-2}$ 、アカクロバで 11.6gm^{-2} 、シロクロバで 17.2gm^{-2} に達するとしている。本実験では窒素固定量は測定していないが、マメ科牧草によるリビングマルチは、イネ科牧草などの窒素固定を行わない草種によるものよりも、主作物との窒素に対する競合を緩和すると考えられる。

また、本試験では播種前及び中間刈取り時にリビングマルチ牧草の残さを地表面に刈り敷いたが、リビングマルチ牧草残さの全窒素含量 (地上部乾物重と窒素含有率の積) の合計は、1998年のAL区では

22g m^{-2} 、RC区では18g m^{-2} 、WC区では15g m^{-2} 、1999年のRC区では20g m^{-2} 、WC区では17g m^{-2} と計算された。これは、施肥窒素量の67~98%に相当する。CN比が低いマメ科牧草は、緑肥として利用した場合、施用後間もない時期から無機化が進む(西尾 1989)とされており、本実験においてスイートコーンの生育期間におけるリビングマルチ牧草(刈取り残さ)からの無機態窒素の供給は大きかったと推察される。

さらに、本実験ではスイートコーンの1日当たりの窒素吸収量は各処理区とも絹糸抽出期~登熟期にかけてピークを迎えた。一方、リビングマルチ牧草の1日当たりの窒素吸収量はスイートコーンの生育初期に高いものの、スイートコーンの窒素吸収量が増大する絹糸抽出期頃から大きく低下した(図7)。このような窒素吸収パターンの違いが、リビングマルチ牧草とスイートコーンとの間の窒素に対する競合を抑えた可能性は高い。それに対して、NT区では絹糸抽出期頃の雑草の乾物重増加が著しく(図4)、雑草の1日当たりの窒素吸収量はスイートコーンの1日当たりの窒素吸収量を上回っていた(図7)。これは、NT区ではこの時期の窒素に対するスイートコーンと雑草の競合が激しかったことを示唆するものである。特に、1998年は登熟期までこのような傾向が続いていたことから、収量の減少が顕著に現れたと推察される。

以上より、マメ科牧草をリビングマルチとして利用することで、雑草の発生や生育を抑制し、除草剤を用いずにスイートコーンの栽培が可能であることが示された。特にシロクロバは、形態的にも草高が低く維持され、乾物生産量もアルファルファやアカクロバに比較して少ないことから、スイートコーンとの光や窒素に対する競合は小さいと考えられ、収量も慣行栽培以上に確保できる可能性があると考えられる。

2. シロクロバリビングマルチ栽培におけるスイートコーンの播種時期と収量性

II-1の試験結果より、マメ科牧草によるリビングマルチを活用することで、除草剤を用いずにスイートコーンの栽培が可能であり、特にシロクロバがリビングマルチ草種として有望であることが示唆された。しかし、リビングマルチ栽培では、慣行栽培に比べて株立ち率が低いことが問題である。本試験では、シロクロバをリビングマルチとして利用

して、スイートコーンの播種法(播種・移植)及び播種時期の違いが、株立ち、収量などに与える影響について検討した。

1) 材料及び方法

試験は、1999年に東北農業試験場(現東北農業研究センター)の畑圃場(土壌は淡色黒ボク土)で行った。リビングマルチ栽培(LM)区には、シロクロバ(品種:マキバシロ)を1998年9月11日に2.5g m^{-2} 播種し、1999年4月にハンマーナイフモアで地上部を刈り取った。1999年5月10日から7月5日まで約2週間間隔でスイートコーン(品種:キャンベラ86)を播種及び播種後2週間経過した苗を移植した。LM区は播種(移植)前にシロクロバを約5cmの高さに刈り取り、播種4週間後に条間に再生したシロクロバを刈り取った。対照区として慣行(耕起・除草剤使用)区を設けた(表2)。LM区、慣行区とも播種(移植)後にCDU複合燐加安(N:P₂O₅:K₂O=22.5g m^{-2})を地表面に施用した。

株立ち率の調査は播種4週間後に行った。中間刈取りや病害虫の防除などの管理作業はII-1に示した方法に準じて行った。絹糸抽出日は各区内の半数以上の個体の絹糸が抽出した日とし、絹糸抽出日から22~25日後に地上部をサンプリングし、全乾物重、苞葉を含む雌穂生重などの調査を行った。

2) 結果

(1) スイートコーンの生育と収量

株立ち率は、移植では全般に高かったが、播種ではLM区の6月8日以前の播種で70%以下に低下した。特に5月24日播種の苗立ち率は20%で著しく低かった。LM区の絹糸抽出日は、5月10日播種分を除き慣行区と同じか早く、6月21日及び7月5日の播種及び移植でその傾向が著しかった。スイートコーンの収量は、LM区では播種時期にかかわらず移植で播種よりも高く1000g m^{-2} を超えたが、播種では6月8日以前の播種で収量が低下した。また、6月21日以降の播種及び移植では、1雌穂の生重が大きかったことなどから収量は播種、移植とも慣行区を上回った(表2)。図8にスイートコーンの株立ち率と収量との関係を示した。LM区ではスイートコーンの収量と株立ち率との間に有意な正の相関($r=0.895^{**}$)が認められた。

(2) スイートコーンとシロクロバとの相互作用

LM区における播種後4週間のシロクロバの乾

表2 スイートコーンの栽培方法、絹糸抽出日、株立ち率及び収量

処 理		絹 糸		收穫日	株立ち 率(%)	雌 穂 (1本当たり平均値)					収 量 (gm ⁻²)
栽培方法・播種・移植日		抽出日				生重(g)	長さ(cm)	径(mm)	粒列数	一列粒数	
慣行	移植	5/10	7/ 9	8/ 3	97.2	318.8	20.8	48.7	15.3	33.9	1,139(79.1)
慣行	播種	5/10	7/22	8/16	99.3	388.7	19.9	52.8	17.2	35.3	1,440(100.0)
L M	移植	5/10	7/ 9(0)	8/ 3	84.7	327.4	20.3	49.7	16.0	34.7	1,053(73.1)
L M	播種	5/10	7/24(+2)	8/16	67.4	343.7	18.6	52.8	16.8	32.2	645(44.8)
慣行	移植	5/24	7/19	8/13	100.0	348.2	21.7	50.5	15.8	36.1	1,236(102.1)
慣行	播種	5/24	7/30	8/23	83.3	373.4	20.4	50.7	16.7	35.7	1,210(100.0)
L M	移植	5/24	7/18(-1)	8/13	97.2	349.6	20.1	51.6	17.0	35.0	1,178(95.3)
L M	播種	5/24	7/30(0)	8/23	20.1	318.9	19.8	49.9	16.0	29.2	131(10.8)
慣行	移植	6/ 8	7/28	8/20	100.0	355.5	20.1	51.0	15.3	35.3	1,243(95.3)
慣行	播種	6/ 8	8/ 6	8/31	95.8	381.1	22.1	50.3	16.3	37.3	1,304(100.0)
L M	移植	6/ 8	7/26(-2)	8/20	95.1	354.5	18.5	51.3	16.7	32.1	1,231(94.4)
L M	播種	6/ 8	8/ 6(0)	8/31	63.2	368.5	21.5	51.0	17.3	37.1	777(59.6)
慣行	移植	6/21	8/ 5	8/31	97.9	359.9	21.1	51.1	16.5	37.2	1,277(108.1)
慣行	播種	6/21	8/16	9/ 7	98.6	325.8	21.2	46.8	16.2	33.9	1,181(100.0)
L M	移植	6/21	7/31(-5)	8/23	100.0	383.8	20.4	51.3	17.2	35.8	1,382(117.0)
L M	播種	6/21	8/12(-4)	9/ 3	97.2	371.5	22.2	48.3	15.3	38.6	1,309(110.8)
慣行	移植	7/ 5	8/16	9/ 7	98.6	290.9	20.7	46.0	15.8	33.4	988(112.1)
慣行	播種	7/ 5	8/26	9/17	98.6	269.8	18.9	45.8	15.3	31.9	881(100.0)
L M	移植	7/ 5	8/13(-3)	9/ 7	100.0	357.4	21.9	49.1	15.7	38.8	1,305(148.1)
L M	播種	7/ 5	8/22(-4)	9/13	97.2	312.9	19.6	48.1	16.2	34.8	1,110(126.0)

注. 1) 絹糸抽出日欄の()内は、慣行区とLM区の日数の差。

2) 収量欄の()内は各播種・移植日の慣行播種区を100とした時の相対値。

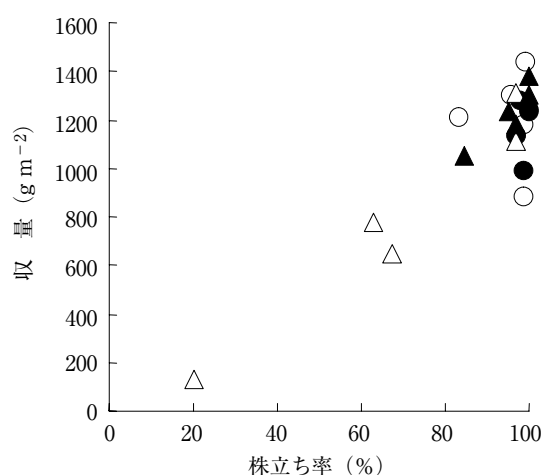


図8 株立ち率と収量との関係

△リビングマルチ区 (播種)、▲リビングマルチ区 (移植)、○慣行区 (播種)、●慣行区 (移植)

物重と苗立ち率との関係を図9 Aに示した。両者の間には負の関係があることが示唆されたものの、有意な相関関係は認められなかった。一方、スイート

コーンの相対生長率 (RGRC) とシロクロバの相対生長率 (RGRW) との比 (RGRW/RGRC) を算出し、株立ち率との関係をみると、両者の間には有意な負の相関が認められた (図9 B)。

3) 考察

LM区においてスイートコーンの収量と株立ち率の間に有意な正の相関があったこと (図8) から、本試験においても、II-1で指摘したとおり、リビングマルチ栽培では、株立ち率の向上がスイートコーンの収量を高めるために重要であることが確認された。中野ら (1999) は、緑肥作物立毛中に水稻を不耕起播種した場合、被陰が大きいと苗立ち率が著しく低下することを報告している。本試験においても、株立ち率低下の主要因はシロクロバの再生と被陰によるものと考えられる。すなわち、シロクロバは冷涼な気候を好むことから、5月播種では6月播種に比べて播種前に刈り取ったシロクロバの再生が早く、スイートコーンの初期生育が抑制され、枯死した個体が増加した結果、株立ち率が低下したと考えられる。

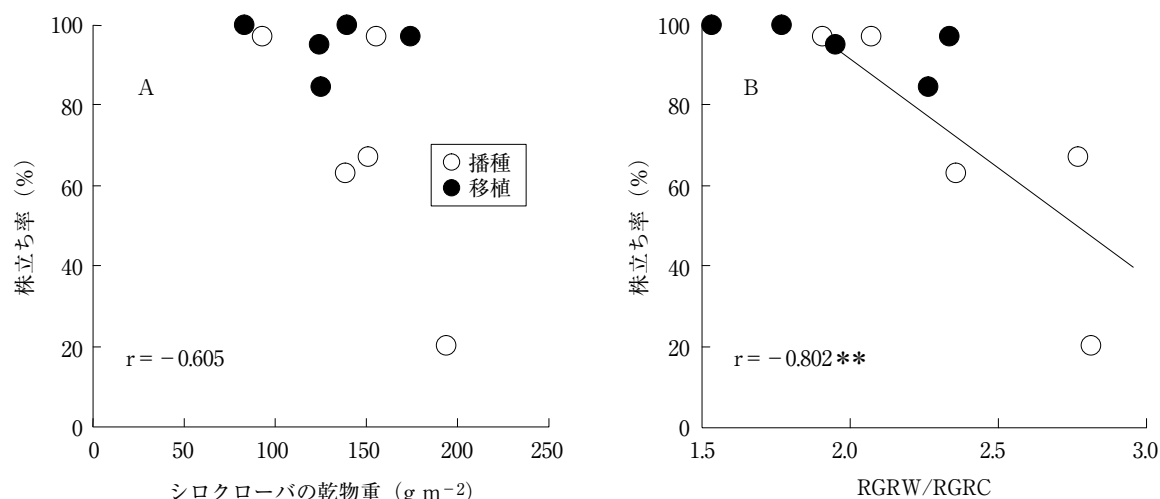


図9 リビングマルチ栽培におけるシロクロバの乾物重 (A) 及びRGRW/RGRC (B) と株立ち率との関係
RGRWはシロクロバのRGR (播種後4週間)、RGRCはスイートコーンのRGR (全生育期間)。**は1%水準で有意。

播種後4週間のシロクロバの乾物重とスイートコーンの株立ち率の間には有意な相関は認められなかったが、LM区における播種後4週間のスイートコーンの相対生長率 (RGRC) とシロクロバの相対生長率 (RGRW) との比 (RGRW/RGRC) とスイートコーンの株立ち率との間に有意な負の相関が認められた (図9)。両者の比はスイートコーンとシロクロバの相対的な生長を表す指標と考えられることから、リビングマルチ栽培において株立ちを確保するためには、単にシロクロバの再生のみではなく、スイートコーンとシロクロバ生長の相対的な関係を考慮する必要があることが示唆された。

以上の結果から、シロクロバによるリビングマルチ栽培でスイートコーンの収量を確保するためには、株立ちを確保することが重要であり、苗立ち確保にはスイートコーンとシロクロバの生長の相対的な関係を考慮し、移植や晩播きなどスイートコーンの生育に有利な条件下で栽培することが有効であると考えられた。

また、本試験のリビングマルチ栽培では、晩播することで慣行栽培より絹糸抽出までの日数及び収穫時期が早まり、収量も増加する傾向にあった (表2)。辻ら (1995, 2000) は、火山灰土壌における不耕起栽培では、ダイズ、デントコーン、陸稲の初期生育が促進されることを報告しており、それには土壤水分が関与しているとしているが、詳細については明らかになっていない。リビングマルチ+不耕起栽培による作物の生育促進効果については、今

後さらに検討していく必要がある。

3. シロクロバを利用したスイートコーンのリビングマルチ栽培における窒素フローの推定

Ⅱ-1及びⅡ-2において、シロクロバによるリビングマルチを利用したスイートコーンの栽培では、株立ちを確保できれば除草剤を用いずにスイートコーンの収量及び品質は慣行栽培と同等であることを明らかにした。この結果は、シロクロバとスイートコーンとの間の窒素に対する競合が小さかったことを示唆している。しかし、シロクロバの窒素固定やスイートコーンへの窒素移譲など窒素の動態について不明な点が多い。また、リビングマルチ栽培における窒素フローを明らかにした研究はみられない。

そこで、本試験では、シロクロバを利用したスイートコーンのリビングマルチ栽培における窒素の吸収量、溶脱量、シロクロバの根粒による固定窒素量、シロクロバ刈取り残さ (以下、シロクロバ残さという) からスイートコーンへの窒素移行量を明らかにして、リビングマルチ栽培における窒素フローを慣行栽培と比較することで、シロクロバとスイートコーンとの間の窒素の競合を定量的に解析し、リビングマルチ栽培において窒素施用量を低減できる可能性について検討した。

1) 材料及び方法

窒素フローの推定に関する試験 (実験1~3) は2000年から2002年に、窒素の減肥実証試験 (実験4) は2002年と2003年に、いずれも東北農業研究センターの畑圃場で行った。

(1) スイートコーン及びシロクロローバの窒素

含有量と固定窒素の寄与率の推定(実験1)

試験は、各年とも異なる圃場を用いて行った。いずれの圃場も土壌は淡色黒ボク土で、全炭素 (T-C) は 1.65%~1.74%、全窒素 (T-N) は 0.17%~0.20%、C-N比は9.2~9.8、pH (H₂O) は5.9~6.4であり、試験前2~3年間は夏作にソルガム、冬作にライムギを栽培し、場外に持ち出して圃場の均一化を図った。

処理としてリビングマルチ栽培区 (以下、LM区とする) 及び慣行栽培区 (以下、CC区とする) を設けた。試験区は、2000年と2001年が1区面積48 m² (8 m×6 m)、2002年が35 m² (7 m×5 m) で3反復の乱塊法とした。

LM区は、II-1で示した栽培体系 (図1) に基づいて、シロクロローバ (品種：フィア) の種子を、試験前年の秋 (1999年9月28日、2000年9月20日及び2001年9月13日) に4~5 gm⁻²散播してローラーで鎮圧した。表3に示す播種日にLM区のシロクロローバをハンマーナイフモアで地際から約5 cmの高さで刈取り、90 cm×30 cm間隔 (3.7株m⁻²) に移植ごてで深さ3 cm程度の穴を掘り、スイートコーン (品種：キャンベラ86) を1穴3粒ずつ播種・覆土した。肥料は、窒素、リン酸、カリを各15%含有する緩効性のCDU肥料 (くみあいCDU複合燐可安S555) を窒素成分で20 gm⁻²となるよう土壌表面に散布した。CC区は、施肥後耕起してスイートコーンを播種し、土壌処理除草剤のアトラジンとアラクロールを規定量散布した。LM区では播種約1ヶ月後に条間のシロクロローバを地際から約5 cmの高さで刈取り (以下、中間刈取りという)、スイートコーンを間引きして1本仕立てとした。収穫は処理区ごとに絹糸抽出後22~24日目に行った (表3)。病害虫の防除などはII-1の作業に準じて行った。

スイートコーンは、中間刈取り時及び収穫時に4

個体の地上部をサンプリングして90℃で約48時間乾燥した後乾物重を測定した。また、収穫時には8 m²の面積内の雌穂収量を調査した。シロクロローバはスイートコーンの播種前、中間刈取り時及びスイートコーンの収穫時に条間の平均的な群落中に50 cm×50 cmのコドラートを1箇所設け乾物重を調査した。スイートコーン、シロクロローバとも乾物重測定後の試料を粉碎し、窒素含有率及びδ¹⁵Nの測定に供試した。窒素含有量は、乾物重と窒素含有率の積により算出した。シロクロローバにおける固定窒素の寄与率及び固定窒素量は、¹⁵N自然存在比 (δ¹⁵N) を利用した¹⁵N希釈法 (Yoneyama 1987) により、次式を用いて算出した。

$$\%N_{dfa} = \frac{\delta^{15}N_{sc} - \delta^{15}N_{wc}}{\delta^{15}N_{sc} - f} \times 100$$

δ¹⁵N_{sc}はスイートコーンのδ¹⁵N値、δ¹⁵N_{wc}はシロクロローバのδ¹⁵N値である。fは窒素固定のみを窒素源とするシロクロローバのδ¹⁵N値であり、ここではf = -2.6 (無窒素で水耕栽培したシロクロローバのδ¹⁵N値：予備実験による) とした。

なお、本法は比較的誤差が大きい推定法であることから、本試験ではスイートコーンのδ¹⁵N値には、各年のLM区におけるスイートコーン生育期のδ¹⁵N値の平均値を代入し、スイートコーン播種時 (スイートコーンが存在しない時期) を含む時期別のシロクロローバの窒素含有量に対する固定窒素の寄与率を算出した。

¹⁵Nの分析は安定同位体質量分析計ANCA-SL (PDZ Europa社製) 及びDELTA plus (Thermo Finnigan社製) により行った。窒素含有率はCNコーダ (Yanaco製：MT-600) で測定した。

(2) 窒素溶脱量の推定 (実験2)

窒素溶脱量は、「水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル」 (農林水産省農業環境技術研究所 1999) に基づき推定した。実験1の圃場にTDR土壌水分測定装置MP-917 (E.S.I社製) を設置し、土中に埋設した水分測定用プローブ (2000年はCC区、LM区に各1本、2001年、2002年は各2本) を土中に埋設して地表面から90 cm深までの体積含水率の変化を経時的に測定した。土壌浸透水量は、この体積含水率の変化とセンター内の気象観測装置に記録された降雨量から算出した。同時に、ポーラスカップ (CC区、LM区に各18本) を地表面から90 cmの深さに埋め込み、定期的 (週1回程度) に土

表3 スイートコーンの播種日と収穫日及びシロクロローバの中間刈取り日 (実験1、2)

年次	処理	播種日	中間刈取り日	収穫日
2000	CC区	6月22日	—	9月7日
	LM区	6月22日	7月19日	8月31日
2001	CC区	6月20日	—	9月5日
	LM区	6月20日	7月17日	8月30日
2002	CC区	6月20日	—	9月9日
	LM区	6月20日	7月17日	9月5日

壤浸透水を回収して、溶存している硝酸態窒素濃度をオートアナライザ（ブラン・ルーベ社製）で分析した。窒素溶脱量は、土壤浸透水量と硝酸態窒素濃度の積により算出した。

（３）シロクロローバ残さからの窒素移行量の推定（実験３）

2001年及び2002年に、シロクロローバ残さからスイートコーンへの窒素の移行を明らかにするために重窒素を用いた¹⁵Nトレーサー試験を行った。¹⁵Nでラベルするシロクロローバは、バーミキュライトを充填した容積約200リットルのプラスチックケースに播種し、ガラス温室内で水耕栽培した。水耕液の組成は、30atm-%の¹⁵NでラベルしたNH₄NO₃ (115mg/L)、NaH₂PO₄・2H₂O (50mg/L)、K₂SO₄ (89mg/L)、CaCl₂・2H₂O (147mg/L)、MgSO₄・7H₂O (405mg/L)、FeSO₄・7H₂O (5 mg/L)、MnSO₄・5H₂O (2.7mg/L)、H₃BO₃ (2.9mg/L)、ZnSO₄・7H₂O (0.04mg/L)、CuSO₄・5H₂O (0.04mg/L) 及びNa₂MoO₄・2H₂O (0.03mg/L) である。シロクロローバが十分生育するまで、じょうろで2～3日おきに1回1ケース当たり2000mlの培養液を与えるとともに、表面のバーミキュライトが乾かないよう適宜灌水した。

試験は、2001年が厚層腐植質黒ボク土（T-C：6.38%、T-N：0.43%、C-N比：14.7、pH（H₂O）：5.9）、2002年が淡色黒ボク土（T-C：1.68%、T-N：0.18%、C-N比：9.5、pH（H₂O）：6.0）の圃場で行った。圃場の1区面積は2001年が20m²（5m×4m）、2002年が35m²（7m×5m）で、2001年は6月28日、2002年は6月20日に実験1のLM区と同様にシロクロローバを刈り敷いた後スイートコーンを播種した。2001年は7月25日、2002年は7月13日にシロクロローバの中間刈取りを行った。

トウモロコシ播種時及び中間刈取り時において、異なる試験区内に塩ビ板で1.8m×1.8m（深さ15cm）の枠を設け、それぞれの時期に枠内で刈取ったシロクロローバの地上部を上記の水耕栽培により¹⁵Nでラベルした同生重のシロクロローバの地上部と置き換えた。各処理とも2001年は2反復、2002年は3反復で行った。

スイートコーン及びシロクロローバの生育調査は、中間刈取り時及びスイートコーン収穫時（2001年は9月7日、2002年は9月5日）に行った。枠内からスイートコーンは4個体を、シロクロローバは25cm×25cmのコドラート内に再生した個体を地際

から刈取り、実験1と同様の方法で乾物重、窒素含有率及び¹⁵N含有率を測定・分析した。

（４）リビングマルチ栽培の減肥実証試験

（実験４）

2002年及び2003年に、異なる圃場を用いて窒素施肥量を変えた場合のスイートコーンの生育及び収量をリビングマルチ栽培（LM区）と慣行栽培（CC区）で比較した。いずれの圃場も土壌は淡色黒ボク土で、全炭素（T-C）は1.54%～1.65%、全窒素（T-N）は0.17%、C-N比は9.1～9.8、pH（H₂O）は6.0～6.4であり、試験前2年間は夏作にソルガム、冬作にライムギを栽培し圃場の均一化を図った。窒素施肥量は、0、4、8、12、16、20gm⁻²の6段階とし、K₂O₅及びP₂O₅の施肥量は全区共通でそれぞれ20gm⁻²とした。圃場の1試験区面積は2002年が40m²（8m×5m）で各1反復、2003年が30m²（6m×5m）で各2反復とした。スイートコーンの播種は2002年は6月6日、2003年は6月18日、LM区の間接刈取りはそれぞれ7月4日、7月15日に行った。2002年は8月29日～9月5日、2003年は9月12～22日にスイートコーンを収穫し、収量及び全乾物重を調査した。

２）結果

（１）スイートコーン及びシロクロローバの窒素含有量と固定窒素の寄与率の推定

スイートコーンの生育は、2000年と2001年は順調であったが、2002年は7月上旬頃と成熟期である8月中旬頃日照時間が短かったことなどから、地上部乾物重がやや小さく雌穂収量も少なかった。3年間をとおして、LM区はCC区よりスイートコーンの初期生育が早く絹糸抽出も早かったため、収穫日も4～7日早まった（表3）。地上部乾物重、窒素含有量及び雌穂収量とも年次変動はあるものの処理区間での差は認められず、スイートコーンの窒素含有量の平均値はCC区で9.39gm⁻²、LM区で9.10gm⁻²であった（表4）。

LM区のシロクロローバの乾物重は、スイートコーン播種時には152.5gm⁻²であったが、中間刈取り時までに再生したシロクロローバは98.6gm⁻²、中間刈取りからスイートコーン収穫時までに再生したものは46.1gm⁻²と漸減した（表4）。シロクロローバの窒素含有量は、播種時には6.85gm⁻²、中間刈取り時には4.87gm⁻²であり、両者の計である11.72gm⁻²の窒素が刈取りによって土壌中に供給されと考えられた。¹⁵N希釈法により推定したシロクロローバの固定

表4 スイートコーンの地上部乾物重、窒素含有量及び雌穂収量とシロクロバの乾物重

処理	年次	スイートコーン (収穫時)			シロクロバの乾物重		
		地上部 乾物重 (gm^{-2})	窒 素 含有量 (gm^{-2})	雌穂収量 (gm^{-2})	播種時 (gm^{-2})	中間刈 取り時 (gm^{-2})	収穫時 (gm^{-2})
CC区	2000	526	10.55	1,107			
	2001	522	9.78	1,244			
	2002	463	7.86	782			
	平均	504	9.39	1,044			
LM区	2000	611	10.83	1,211	182.2	83.3	54.9
	2001	501	8.46	1,120	144.9	148.4	53.2
	2002	503	8.01	812	138.2	64.0	30.1
	平均	538	9.10	1,047	152.5	98.6	46.1

注. 雌穂収量は生重、播種時=スイートコーンの播種時、中間刈取り時=シロクロバの中間刈取り時、収穫時=スイートコーンの収穫時 (以降の図表も同じ)。

表5 シロクロバの $\delta^{15}\text{N}$ 値、全窒素含有量、固定由来窒素含有量及び固定窒素の寄与率

測定 (推定) 値	調 査 時 期			シロクロバ残 さからの窒素供 給量 (A+B)	スイートコーン栽培期 間中のシロクロバの 窒素吸収量 (B+C)
	播種時 (A)	中間刈取り時 (B)	収穫時 (C)		
$\delta^{15}\text{N}$ 値	-1.18 ± 0.18	-1.01 ± 0.77	-2.03 ± 0.70		
全窒素含有量 (g)	6.85 ± 0.70	4.87 ± 1.25	2.24 ± 0.37	11.72	7.11
固定由来窒素含有量 (g)	4.93 ± 0.52	3.15 ± 0.75	1.95 ± 0.50	8.08	5.10
固定窒素の寄与率 (%)	72	65	87	69	72

注. 2000～2002年の平均値±標準誤差 (n=3)。

窒素の寄与率は、播種時は72%、中間刈取り時は65%であったが、収穫時には87%に増加した。中間刈取り時及び収穫時におけるシロクロバの固定窒素量はそれぞれ 3.15gm^{-2} 、 1.95gm^{-2} で、両者の和である 5.10gm^{-2} がスイートコーン生育期間中の固定窒素量と推定された (表5)。

(2) 窒素溶脱量の推定

ポーラスカップで採水した土壌浸透水の硝酸態窒素濃度の推移を図10に示した。土壌浸透水の硝酸態窒素濃度は、2000年はCC区とLM区ともほぼ同じ値で推移したが、2001年及び2002年はCC区では濃度値が漸増傾向を示したのに対しLM区では濃度値は安定しており、スイートコーンの生育とともに両区の差は大きくなる傾向にあった。土壌浸透水量と硝酸態窒素濃度から推定した窒素溶脱量は、2000年にはCC区とLM区で同じであったが、2001年と2002年にはCC区がLM区より大きい傾向にあり (図11、図12)、3年間の平均ではCC区が 3.0gm^{-2} 、LM区が 2.0gm^{-2} であった。

(3) シロクロバ残さからの窒素移行量の推定

2001、2002年の2年間平均の収穫時におけるスイートコーンの地上部乾物重は 525gm^{-2} 、窒素含有量

は 8.97gm^{-2} であった。窒素含有量のうち ^{15}N トレーサー試験の結果から算出した播種時及び中間刈取り時のシロクロバ残さ由来窒素の寄与率はそれぞれ10.5%、16.7%であり、合計で27.3%がシロクロバ残さ由来と推定された (表6)。スイートコーン栽培期間中に再生したシロクロバの窒素含有量のうちシロクロバ残さ由来窒素の寄与率は中間刈取り時には7.7%、収穫時には4.2%であった (表7)。

(4) リビングマルチ栽培体系における窒素フローの推定

上記の結果より、シロクロバによるスイートコーンのリビングマルチ栽培における窒素フローを推定し、慣行栽培と比較した (表8、図13)。リビングマルチ栽培では、スイートコーンの窒素吸収量のうち 6.62gm^{-2} が土壌及び肥料由来と推定された。また、シロクロバの窒素吸収量のうち 1.55gm^{-2} が土壌及び肥料由来と推定された。これらと窒素溶脱量から計算したリビングマルチ栽培における土壌からの窒素のアウトプット量 (土壌及び肥料由来の窒素吸収量+窒素溶脱量) は 10.17gm^{-2} であった。一方、慣行栽培では、土壌からの窒素のアウトプット量は 12.39gm^{-2} であった。すなわち、リビングマルチ栽

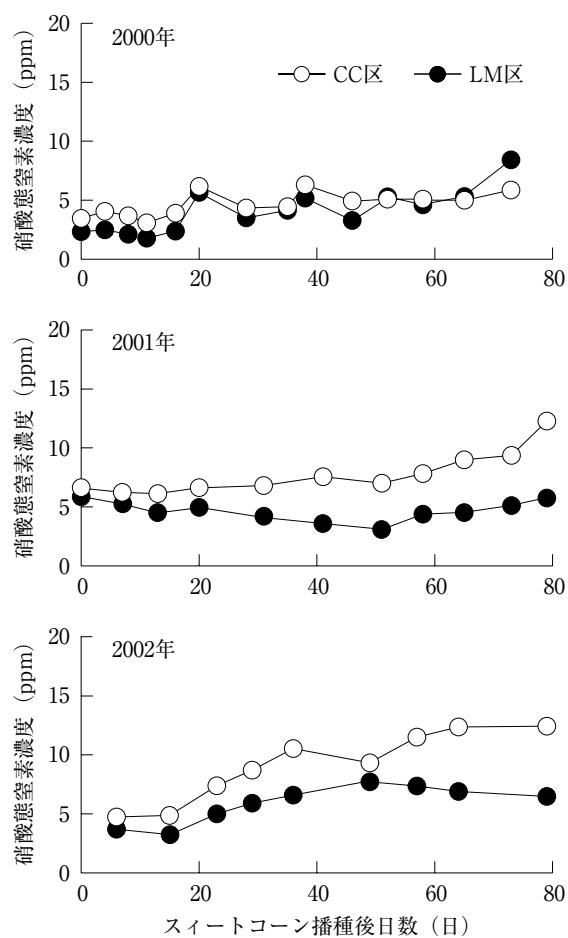


図10 土壌浸透水の硝酸態窒素濃度の推移

土壌浸透水は地表面から90cm深からポーラスカップにより回収。

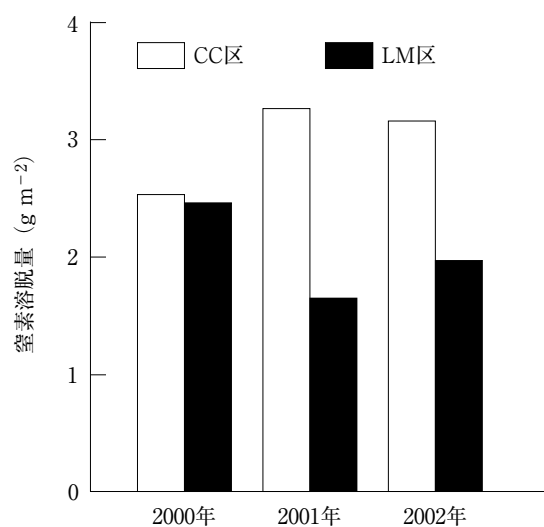


図11 スイートコーン栽培期間中の窒素溶脱量の比較

窒素溶脱量は、90cm深における土壌浸透水量と硝酸態窒素濃度の積。



図12 窒素溶脱量の測定の状況 (2000年6月)

左：土壌水分測定装置 (MP-917)

右：ポーラスカップの設置状況 (慣行栽培区)

表6 ^{15}N トレーサー試験におけるスイートコーンの地上部の乾物重、窒素含有量及び残さ由来窒素の寄与率

^{15}N 施用時期	年次	地上部 乾物重 (gm^{-2})	窒 素 含有量 (gm^{-2})	残さ由来窒 素の寄与率 (%)
播種時	2001	562	10.41	13.4
	2002	490	7.48	7.7
	平均	526	8.95	10.5
中間刈取り時	2001	514	9.05	15.2
	2002	536	8.92	18.2
	平均	525	8.99	16.7
合 計	2001			28.6
	2002			25.9
	平均	525	8.97	27.3

表7 ^{15}N トレーサー試験における再生したシロクロローバの残さ由来窒素の寄与率と含有量（地上部）

調査時期	年次	残さ由来窒素 の寄与率 (%)	残さ由来窒素 の含有量 (gm^{-2})
中間刈取り時	2001	10.8	
	2002	4.6	
	平均	7.7	0.37
収穫時	2001	4.4	
	2002	4.0	
	平均	4.2	0.09

注. 残さ由来窒素の含有量は、残さ由来窒素の寄与率に表5の全窒素含有量を乗じて算出した推定値。

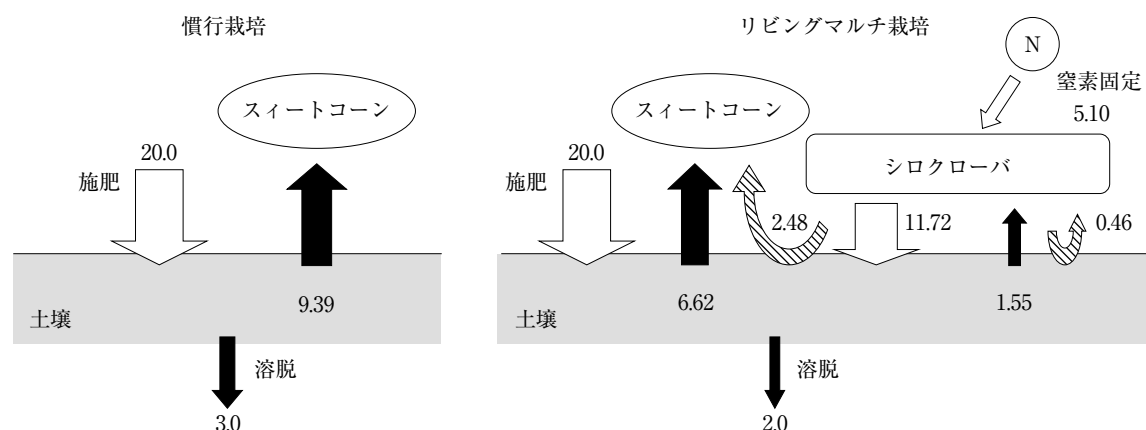


図13 スイートコーン栽培期間中の窒素フローの比較

□インプット ■アウトプット ≡リサイクル
図中の数字は窒素の量 (g m^{-2})。

表8 リビングマルチ栽培の窒素フローにおける項目別の窒素量推定値とその算出方法

項 目	推定値 (gm^{-2})	算出方法
スイートコーンの窒素吸収量(A)	9.10	表4
うち シロクロローバ残さ由来(B)	2.48	$A \times 27.3/100$ (表6)
うち 土壌及び肥料由来(C)	6.62	$A - B$
シロクロローバの窒素吸収量(D)	7.11	表5
うち 固定窒素由来(E)	5.10	表5
シロクロローバ残さ由来(F)	0.46	$0.37 + 0.09$ (表7)
土壌及び肥料由来(G)	1.55	$D - E - F$
窒素の溶脱量(H)	2.0	図11の3年間の平均
土壌からのアウトプット量	10.17	$C + G + H$



図14 減肥実証試験の状況（2003年9月）

慣行栽培（左側手前）に比べてリビングマルチ栽培したスイートコーンの生育が早い。

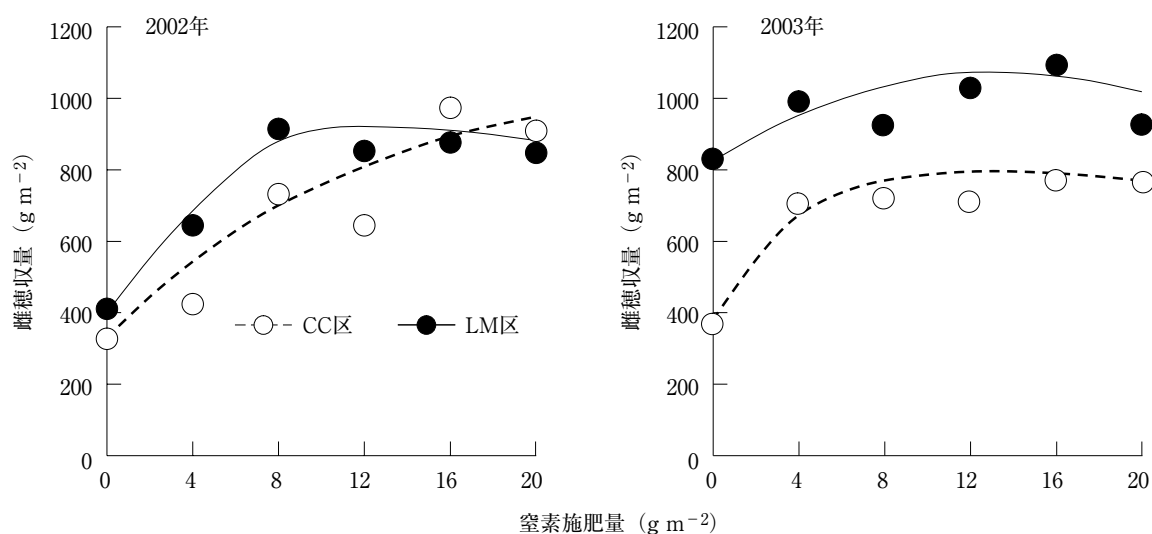


図15 窒素施肥量とスイートコーンの雌穂収量との関係

培では慣行栽培より土壌からの窒素のアウトプット量が 2.0g m^{-2} 程度小さいと推定された。

(5) 施肥量の違いがスイートコーンの収量に及ぼす影響

図14、15に窒素施肥量を変えた場合のリビングマルチ栽培及び慣行栽培の状況とスイートコーンの収量の推移を示す。リビングマルチ栽培、慣行栽培とも窒素の施肥量の増加に伴いスイートコーンの収量は概ね増加する傾向にあった。リビングマルチ栽培と慣行栽培を比較すると、2002年は窒素施肥量 12g m^{-2} 以下の区でリビングマルチ栽培したスイートコーンの収量が慣行栽培を上回っていた。2003年は、慣行栽培で発芽期のネキリムシによる株立ち不良や台風による倒伏が起こったことなどから、全般にリビングマルチ栽培の収量が高く推移した。特に窒素施肥を行わなかった区では、リビングマルチ栽培におけるスイートコーンの収量は慣行栽培の2倍以上となった。

3) 考察

Ⅱ-1及びⅡ-2で行った試験結果から、シロクロバによるスイートコーンのリビングマルチ栽培では、シロクロバ刈取り残さからの無機態窒素供給や根粒による窒素固定などがスイートコーンとシロクロバ間の窒素競合を抑制している可能性があることが示唆された。本試験においても、リビングマルチ栽培したスイートコーンの収量や地上部乾物重が慣行栽培と同等であったこと(表4)から、窒素競合は小さかったものと推測される。

そこで、まずシロクロバの根粒による固定窒素

量を ^{15}N 自然存在比($\delta^{15}\text{N}$)を利用した ^{15}N 希釈法により推定した。その結果、シロクロバの窒素含有量のうち固定窒素の占める割合(固定窒素の寄与率)は、スイートコーン播種時で72%、中間刈取り時で65%であったが、収穫時には87%に増加した(表2-5)。Mallarinoら(1990)はトールフェスクとシロクロバの混播草地のシロクロバにおける固定窒素の寄与率はほぼ70%以上であることを報告しており、本試験における寄与率はこの報告とほぼ一致している。シロクロバの根粒菌による窒素固定能は、窒素の施肥によって低下することが報告されている(Joら 1981)が、本試験でシロクロバにおける固定窒素の寄与率がスイートコーン収穫時に高まったことは、スイートコーンの生育後期の旺盛な窒素吸収により、生育初期に比べて土壌中の無機態窒素量が減ったことで、根粒菌に依存する窒素固定が活発に行われたことを示していると推察される。スイートコーン生育期間中のシロクロバの窒素吸収量は 7.11g m^{-2} と多かったが、そのうち土壌及び肥料由来のものは 1.55g m^{-2} と少なかった(表8)。特に中間刈取り以降は、シロクロバの再生が鈍化して乾物生産量が小さかったこと(表4)や固定窒素の寄与率が高まったこと(表5)から、土壌及び肥料由来の窒素吸収量は少なく(表8)、スイートコーンとの間の窒素競合は小さかったと考えられる。

緑肥作物からの窒素移行に関しては、緑肥作物の窒素が後作作物の窒素吸収に及ぼす影響(Wagger 1989, Yanoら 1993)や混作における窒素の動態(Broadbentら 1982, 中條・大門 1984)につい

ての研究がみられる。平島ら（1971）は、レッドトップとシロクロバの混播草地において、レッドトップに対するシロクロバからの窒素移行量を単播区と混播区のレッドトップの窒素吸収量の差し引きから求めているが、リビングマルチ栽培における緑肥作物残さからの窒素移行を重窒素を用いて解析した例はみられない。本試験では、 ^{15}N トレーサー試験の結果からリビングマルチ栽培したスイートコーンの窒素含有量の27.3%がシロクロバ残さ由来であった（表6）。このことは、シロクロバ残さが比較的速やかに分解されて、窒素がスイートコーンに移行されていることを示唆している。時期別には、播種時（10.5%）より中間刈取り時（16.7%）のシロクロバ残さから高い割合でスイートコーンに窒素が移行していたことから（表6）、中間刈取りはスイートコーンの生育最盛期における窒素供給と窒素競合の緩和に重要な役割を果たしていると考えられる。

本試験では、窒素溶脱量を土壤水分の測定と土壤浸透水中の硝酸態窒素濃度から推定した。TDR土壤水分計の設置本数が各区1～2本と少なく統計的な解析はできなかったが、リビングマルチ栽培における3年間平均の窒素溶脱量は、慣行栽培より小さいと推定された（図11）。リビングマルチ栽培では施肥に加えてシロクロバ残さがあることから、土壤表面から作土層におけるトータルの窒素量は慣行栽培より多いと考えられる。しかしながら、地表面から90cmの深さから採取した土壤浸透水の硝酸態窒素濃度は、慣行栽培で漸増したのに対し、リビングマルチ栽培区ではほぼ一定であった（図10）。このことは、リビングマルチ栽培ではスイートコーン生育期間中には、土壤表面から作土層において窒素が効率的に循環していることを示唆している。Angleら（1993）は、トウモロコシの耕起栽培と不耕起栽培において、土壤表面から210cm深までの硝酸態窒素濃度を比較した結果、土壤表面から60cm深以下では不耕起栽培の硝酸態窒素濃度が耕起栽培に比べて低く、溶脱量が減少したと報告している。その原因として、不耕起栽培では肥料などの無機化速度が遅いこと、余剰窒素の有機化が起りやすいこと、脱窒やアンモニア揮発が起りやすいことなどを示唆している。本試験の結果だけからリビングマルチ栽培における溶脱量が慣行栽培より小さかった原因は特定できないが、スイートコーン播種前までのシロクロバによる窒素吸収、シロクロバ残

さからの窒素供給とスイートコーンへの窒素移行、施肥窒素の無機化速度などがバランスよく組み合わせることが主要因になったと考えられる。本試験では、スイートコーン生育期間中の窒素溶脱量のみしか測定していないため、シロクロバによるリビングマルチ栽培が不作付け期間を含めて窒素溶脱量を抑える栽培法であるとは明言できない。これまでリビングマルチ栽培における窒素溶脱量を解析した報告はみられないことから、さらに多くのデータの蓄積が必要であろう。

以上のように、シロクロバを利用したスイートコーンのリビングマルチ栽培では、シロクロバとスイートコーン間の窒素の競合を抑制する要因が多く、これによりスイートコーンの乾物生産量や収量は慣行栽培と同等（表4）になったものと考えられる。そこで、リビングマルチ栽培と慣行栽培における窒素フローを比較した（表8、図13）。土壤からの窒素のアウトプット量は、リビングマルチ栽培では 10.17gm^{-2} であったのに対し慣行栽培では 12.39gm^{-2} と高かった。すなわち、リビングマルチ栽培では、シロクロバによる土壤からの窒素の収奪があるもののその量は少なく、一方で、シロクロバ残さからスイートコーンへの窒素移行や窒素溶脱量の減少により、系全体としては土壤からの窒素のアウトプット量が慣行栽培より 2gm^{-2} 程度小さいと推定された。

本試験では、脱窒、土壤水の表面流去による窒素の流出、シロクロバの地下部からの窒素の放出や吸収、施肥量を変えた場合の溶脱量の増減などは考慮にいれていないため明言はできないが、この結果はリビングマルチ栽培では作物の組み合わせや栽培管理によって窒素の施肥量を減らすことができる可能性を示唆している。また、窒素施肥量を変えた減肥実証試験では、リビングマルチ栽培したスイートコーンの収量が慣行栽培を上回り、特に窒素施肥量が少ない場合にその差は顕著であった（図15）。

これらより、リビングマルチ栽培における窒素減肥は可能であると考えられる。一般に畑地における窒素の利用率は40～60%であること（藤原 1994）を考慮すれば、シロクロバを利用したリビングマルチ栽培では、 4gm^{-2} 程度の窒素減肥が可能であると推察される。

4. 小 括

Ⅱでは、マメ科牧草（アルファルファ、アカクロ

ーバ、シロクローバ) によるリビングマルチを利用して、無除草剤でスイートコーンを不耕起栽培した場合の雑草の発生やスイートコーンの生育及び収量などを調査し、リビングマルチの持つ雑草抑制効果及びスイートコーンとリビングマルチ草種との競合について解析した。

マメ科牧草によるリビングマルチは、いずれの草種を利用した場合も雑草の発生を顕著に抑制することが明らかになった。しかし、スイートコーンの収量はマメ科牧草の種類により異なり、シロクローバをリビングマルチとして利用した場合にはスイートコーンの株立ち率が高く、慣行栽培と同等の収量や品質を得ることができたのに対して、アカクローバやアルファルファでは株立ち率が低く収量が低下した。一方、シロクローバによるリビングマルチ栽培の播種時期を変えた試験では、5月播種は6月播種に比べてスイートコーンの株立ち率、収量とも低かった。これは、5月播種では6月播種に比べて刈り取ったシロクローバの再生が早く、枯死した個体が増加したためと考えられた。また、スイートコーン及びシロクローバの相対生長率の比(RGRW/RGRC)とスイートコーンの株立ち率との間に有意な負の相関が認められたことから、株立ちを確保するためには、スイートコーンとシロクローバ相互の生長を考慮する必要があることが示唆された。

シロクローバによるリビングマルチ栽培では、窒素に対する競合が小さいと推測されたことから、リビングマルチ栽培の窒素フローを推定した。¹⁵Nを利用した試験から、スイートコーンの栽培期間中のシロクローバの窒素吸収量の72%が固定窒素由来であること、スイートコーンの窒素吸収量の27%がシロクローバの刈り取り残さ由来であることが明らかになった。土壌浸透水量と硝酸態窒素濃度の積により算出した窒素溶脱量はリビングマルチ栽培区で慣行栽培区より少ないことが示唆された。窒素フロー図から計算した土壌からの窒素のアウトプット量は、リビングマルチ栽培で慣行栽培より 2 gm^{-2} 程度少ないと推察された。また、窒素施肥量を変えた試験では、窒素施肥が少ない場合にリビングマルチ栽培したスイートコーンの収量が慣行栽培を上回っていたことから、シロクローバによるリビングマルチ栽培では窒素に対する競合は小さいことが証明され、窒素の減肥の可能性が示唆された。

以上より、スイートコーンのリビングマルチ栽培

には、雑草の抑制や窒素などに対する競合の回避の点からシロクローバが最も適した草種であると判断された。シロクローバを利用したリビングマルチ栽培では、窒素などに対する競合は小さく、株立ち率を高めるような播種・栽培管理を行うことで、スイートコーンの収量を慣行栽培と同等にできると考えられた。

Ⅲ 秋播き性の高い麦類を利用したダイズのリビングマルチ栽培

わが国のダイズ作における雑草防除体系は、播種後の除草剤土壌処理と中耕(または培土)の組み合わせが基本となっている。東北地域では、ダイズの初期生育が緩慢なことなどから、播種後の除草剤土壌処理と中耕2回という雑草防除体系が一般的である。東北地域の中耕作業は、ダイズの3~5葉期に当たる6月中旬~7月中旬に行われる場合が多い。しかし、この時期は梅雨期となっていることから中耕作業ができないことがあり、結果として雑草害や倒伏による収量・品質の低下を招くことも少なくない。その対策として、ダイズ生育初期の茎葉処理除草剤の散布があげられるが、中耕作業と同様に除草剤の散布作業が天候に左右されやすいことやダイズを対象に登録されている茎葉処理除草剤は広葉雑草に対する効果が劣るものが多いことなどから、あまり利用されていない。加えて、除草剤に強く依存した雑草防除体系は、化学農薬の使用量の削減という視点から必ずしも奨励されない。

そこで、東北地域のダイズ作に適した耕種の防除法の開発を目的に、ダイズ作にリビングマルチを導入した場合の雑草抑制効果及びダイズの生育、収量及を調査・解析した。ダイズ栽培で利用するリビングマルチ草種として、Ⅱで取り上げたシロクローバも候補として考えられる。しかし、シロクローバはダイズわい化病の感染源となることや、不耕起栽培より通常の耕起栽培の方が生産者に受け入れられやすいことなどを勘案して、主として麦類によるリビングマルチ草種とダイズを同時に播種するという方法で、ダイズのリビングマルチ栽培の可能性について検討した。

1. ダイズ作に適したリビングマルチ草種の選定

本試験では、カバークロップ(緑肥作物)として広く利用されている3草種をリビングマルチとして利用してダイズを栽培した場合の、リビングマルチ

草種の生育、ダイズの収量及び収量構成要素、雑草抑制効果などについて調査し、無中耕・無除草剤によるダイズ栽培の可能性について検討した。

1) 材料及び方法

試験は、2001年に東北農業研究センターの畑圃場（土壌は腐植質黒ボク土）で行った。リビングマルチ草種として、エンバク（商品名：ヘイオーツ）、六条オオムギ（品種：べんけいむぎ）及びヘアリーベッチを供試した（表9）。2001年5月28日（標準播種）及び6月21日（晩播）に、ダイズ（品種：スズユタカ）を条間60cm×株間15cm（2粒播き）で播種した直後に、上記のリビングマルチ草種を播種量10アール当たり8kgで条播（条間30cm）もしくは散播・覆土した。散播栽培期間中、除草剤は使用せず中耕も行わなかった。対照として、播種直後に土壌処理除草剤（トリフルラリン）を規定量散布し2回の中耕を行う慣行区及び無除草剤・無中耕の放任区を設けた（表9）。試験区面積は35m²（7m×5m）で反復は設けなかった。施肥は10アール当たりN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ3kg、12kg、12kgを全量基肥として施用した。8月中旬から9月中旬にか

けて、紫斑病防除剤（チオファネートメチル）及び殺虫剤（MEPまたはフェンバレート+MEP）を全処理区に2回散布した。

栽培期間中、ダイズ、緑肥作物及び雑草の草高を標準播種で6回、晩播で4回調査した。また、6月26日、7月19日、8月17日及び9月10日にダイズの乾物重（5個体）を調査した。9月4日には、各処理区60cm×2m内の雑草を地際から刈り取り、80℃で通風乾燥して乾物重を調査した。ダイズは標準播種で10月26日、晩播で10月30日に収穫し、収量及び収量構成要素を調査した。

2) 結果

(1) リビングマルチ草種の生育

標準播種では、六条オオムギはダイズより3日、エンバクは2日早く出芽した（表10、図16）。ヘアリーベッチの出芽はダイズと同日であった。エンバクは7月18日に出穂し、草高は8月中旬まではダイズを上回っていたが、その後倒伏してダイズの生育を著しく阻害した。六条オオムギは条播区、散播区ともに7月上旬までは草高がダイズを上回っていたが、この時期以降葉が黄化しはじめ、7月下旬には枯死した。ヘアリーベッチは草高がダイズより低く、8月中旬には枯死した。

晩播では、エンバク、六条オオムギはダイズより1日早く出芽し、ヘアリーベッチは同日であった。エンバクは8月13日に出穂し、その後枯死した。六条オオムギは7月中旬以降葉が黄化し、8月上旬には枯死した。ヘアリーベッチは生育が著しく悪く、8月中旬には枯死した。

(2) 雑草の乾物重

標準播種では、エンバク条播区、六条オオムギ条

表9 試験区の構成

試験区名	除草剤	中耕	播種法
エンバク条播区	×	×	30cm条播
六条オオムギ条播区	×	×	30cm条播
六条オオムギ散播区	×	×	散播
ヘアリーベッチ散播区	×	×	散播
慣行区	○	○	ダイズのみ播種
放任区	×	×	ダイズのみ播種

注. 各区とも5月28日（標準播種）、6月21日（晩播）に播種。

表10 リビングマルチ草種及びダイズの生育の概要

播種期	試験区名	緑肥作物			ダイズ		
		出芽日	枯死日	出穂日	出芽日	開花日	収穫日
標準播種 5月28日	エンバク条播区	6. 4	—	7. 18	6. 6	7. 29	10. 26
	六条オオムギ条播区	6. 3	7. 21	—	↓	↓	↓
	六条オオムギ散播区	6. 3	7. 21	—	↓	↓	↓
	ヘアリーベッチ散播区	6. 6	8月中旬	—	↓	↓	↓
	慣行区	—	—	—	↓	↓	↓
	放任区	—	—	—	↓	↓	↓
晩播 6月21日	エンバク条播区	6. 26	—	8. 13	6. 27	8. 7	10. 30
	六条オオムギ条播区	6. 26	8. 8	—	↓	↓	↓
	六条オオムギ散播区	6. 26	8. 8	—	↓	↓	↓
	ヘアリーベッチ散播区	6. 27	8月中旬	—	↓	↓	↓
	慣行区	—	—	—	↓	↓	↓
	放任区	—	—	—	↓	↓	↓

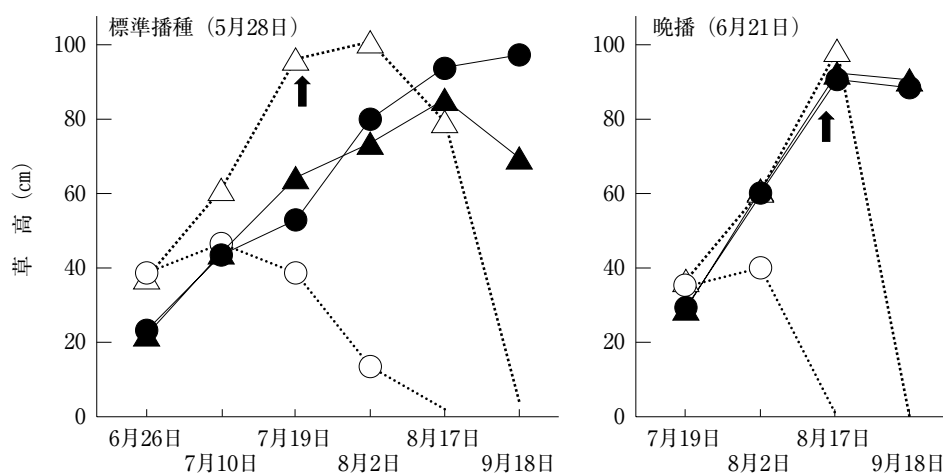


図16 リビングマルチを条播した区におけるエンバク、六条オオムギ及びダイズの草高

▲ エンバク条播区のダイズ △ エンバク条播区のエンバク
● 六条オオムギ条播区のダイズ ○ 六条オオムギ条播区の六条オオムギ
図中の矢印はエンバクの出穂期。

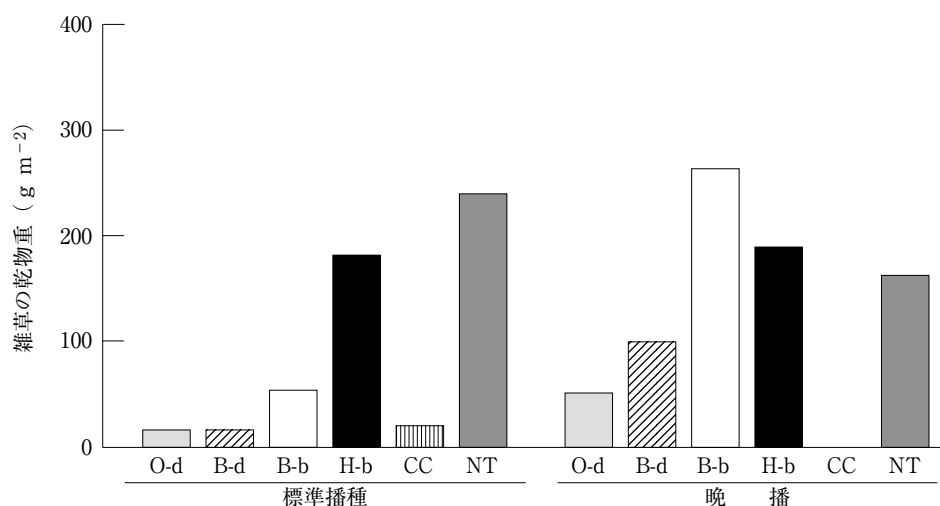


図17 雑草の乾物重 (2001年9月4日調査)

O-d: エンバク条播区、B-d: 六条オオムギ条播区、B-b: 六条オオムギ散播区、
H-b: ヘアリーベッチ散播区、CC: 慣行区、NT: 放任区。

播区で雑草の生育が顕著に抑制され、雑草の乾物重 (9月4日調査) の対放任区比は、両区とも約7%であった。しかしながら、晩播では雑草の生育抑制効果は小さく、対放任区比はエンバク条播区で約32%、六条オオムギ条播区で約61%であった。六条オオムギ散播区及びヘアリーベッチ散播区では雑草の乾物重が放任区を上回っていた (図17)。

(3) ダイズの生育と収量

ダイズの1個体当たり乾物重は、標準播種、晩播ともに栽培期間をとって慣行区で最も大きく、六条オオムギ条播区がこれに次いで大きかった。エンバク条播区は9月10日時点で標準播種、晩播とも1

個体当たり乾物重が最も小さかった (図18)。

子実重 (収量) は、標準播種では六条オオムギ条播区で慣行区を上回ったが、六条オオムギ散播区ではやや劣り、エンバク条播区、放任区では著しく劣った。晩播では、いずれの区の子実重も慣行区を下回った。標準播種、晩播とも、慣行区で全重、分枝数及び茎の太さが最も大きく、主茎長と最下着莢主茎節高は最も小さかった (表11)。

3) 考察

井上ら (2000) は六条オオムギとダイズの同時散播栽培においては、年次変動はあるものの高い雑草抑制効果が期待でき、ダイズの子実収量の確保も可

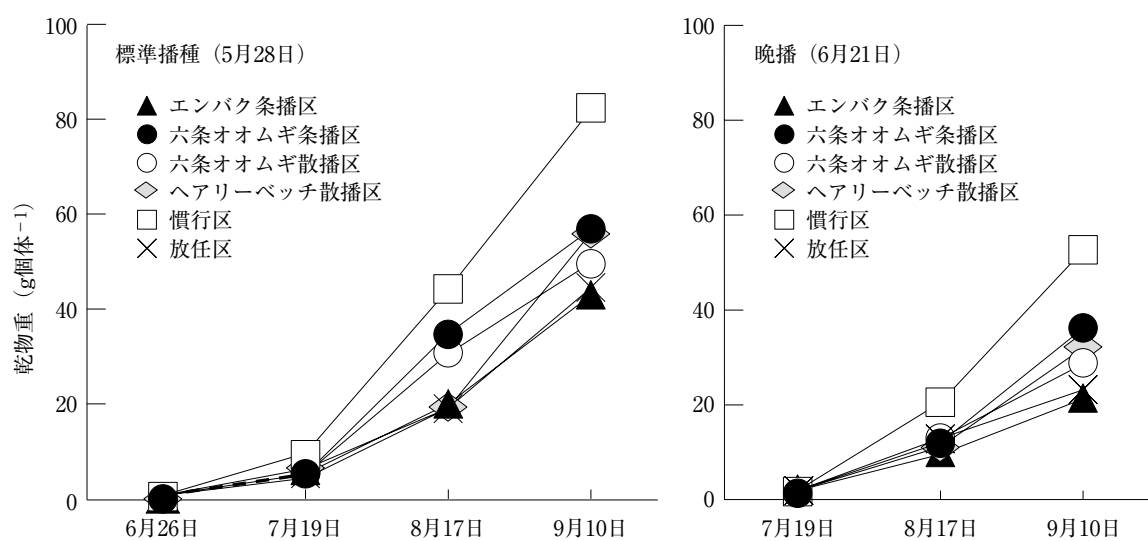


図18 ダイズの個体当たりの乾物重の推移

表11 ダイズの収量、地上部の形態及び倒伏程度

播種 時期	試験区名	全 重 (gm^{-2})	子実重 (gm^{-2})	百粒重 (g)	主茎長 (cm)	主茎 節数 (節)	分枝数 (本/個体)	茎の 太さ (mm)	最下着莢 主茎節位 (節)	最下着莢 主茎節高 (cm)	倒伏 程度
標準	エンバク条播区	217.0	26.5	28.6	69.9	13.5	1.3	8.2	3.2	11.1	多
	六条オオムギ条播区	658.0	308.0	26.1	69.1	14.4	4.9	8.6	3.3	14.1	無
	六条オオムギ散播区	443.2	201.0	26.4	71.6	14.9	5.0	8.4	3.3	12.5	少
	ヘアリーベッチ散播区	372.3	162.7	30.4	65.2	15.8	3.2	8.6	4.7	14.0	多
	慣行区	687.8	275.4	25.9	64.9	16.0	5.3	9.3	2.6	6.9	無
	放任区	150.1	32.9	25.2	70.9	14.7	1.9	6.5	3.4	10.2	甚
晩播	エンバク条播区	251.2	108.4	28.9	88.7	12.8	0.8	7.1	6.4	23.7	中
	六条オオムギ条播区	345.0	177.6	25.5	62.3	13.5	3.7	7.7	4.5	15.1	少
	六条オオムギ散播区	212.3	104.3	26.8	64.8	13.4	3.7	7.2	4.4	14.4	中
	ヘアリーベッチ散播区	215.9	96.1	29.5	61.4	13.2	0.3	7.0	6.1	19.8	多
	慣行区	555.6	296.9	23.8	55.4	13.6	5.3	7.6	3.4	10.3	無
	放任区	297.6	140.7	26.6	65.8	13.8	4.4	7.3	4.2	11.9	多

能であると報告している。また、中村ら（2001）は、コムギ散播によるダイズ栽培では雑草が顕著に抑制されることを報告している。本試験では、六条オオムギを散播した場合には慣行栽培に比べてダイズの子実重が低下した。これは、散播では六条オオムギの被覆ムラができて雑草抑制効果が劣ったことが一因であると考えられる。一方、六条オオムギを条播しリビングマルチとして利用した場合には高い雑草抑制効果が得られ、標準播種ではダイズの子実収量も慣行栽培並に確保できた。さらに最下着莢主茎節高が高くなって機械化適性も高まることなどから、本栽培法はダイズの無中耕・無除草剤栽培に最も有望であると考えられた。本試験では、六条オオムギの播種量については検討していないが、本試験の結

果から、条播であれば10アール当たり8kgは妥当な播種量と判断された。また、散播であれば被覆ムラを防ぐために10アール10kg以上の播種量が必要であり、この場合ダイズと六条オオムギとの養水分などに対する競合に留意する必要があると推察される。

一方、エンバクは雑草抑制効果は高いものの、ダイズとの競合が著しく倒伏を引き起こすことから、またヘアリーベッチはダイズとの同時播種では被覆が不十分で雑草抑制ができないことから、いずれもダイズの生育を阻害し、リビングマルチとして不適当であると考えられた。

2. 秋播き性の高い六条オオムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培

Ⅲ－1の結果から、ダイズのリビングマルチ栽培

には秋播き性の高い六条オオムギを条播することが有効であるという結論を得た。そこで本試験では、条播した六条オオムギによるリビングマルチとダイズの播種時期に施用する土壌処理除草剤の組み合わせが、雑草の生育量、ダイズの生育及び収量にどのような影響を与えるかを詳細に調査し、東北地域における中耕作業の省略を目指したダイズのリビングマルチ栽培の可能性について考察した。

1) 材料及び方法

試験は、2002年及び2003年に東北農業研究センターの畑圃場において実施した。試験圃場の土壌は厚層腐植質黒ボク土で、全炭素 (T-C) は6.7%、全窒素 (T-N) は0.45%、C-N比は14.9、pH (H₂O) は5.9であり、試験前2年間は夏作にトウモロコシまたはソルガム、冬作にライムギの均一栽培を行った。処理として、2002年は六条オオムギによるリビングマルチと土壌処理除草剤 (以下、除草剤とする) を組み合わせたリビングマルチあり除草剤使用区 (以下、LM+除草剤区とする)、リビングマルチのみで無除草剤のリビングマルチあり除草剤不使用区 (以下、LM区とする) 及びリビングマルチも除草剤も使用しないリビングマルチなし除草剤不使用区 (以下、無処理区とする) を設けた。2003年は前記の処理区に除草剤のみを使用するリビングマルチなし除草剤使用区 (以下、除草剤区とする) を加え、リビングマルチと除草剤の有無を2因子とする要因試験とした。いずれの処理区も中耕培土は行わなかった。両年とも対照として、除草剤を使用し中耕培土を行う慣行区を設けた (表12)。試験は乱塊法 (3反復) で行い、1処理区当たりの面積は35m² (5m×7m) とした。施肥は基肥のみで10アール当たりN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ3kg、12kg、12kg施用した。

2002年は5月22日、2003年は5月26日にダイズ (品種：タチナガハ) を条間60cm、株間15cm (2粒播き) で播種した。リビングマルチを利用する区

(LM+除草剤区及びLM区：以下、リビングマルチ栽培区とする) では、ダイズ播種直後に六条オオムギ (品種：べんけいむぎ) を手押し式の播種機 (アグリテクノ矢崎社製) を使ってダイズの条間に2列となるよう条間30cmで播種した。オオムギの播種量は10アール当たり8kgとした。除草剤を使用する区には、播種後にトリフルラリンを規定量散布した。慣行区では、2002年は6月17日及び7月18日に小型管理機を用いて中耕培土 (ダイズの株元に5cm程度の培土、以下同じ) を行った。2003年は6月20日に中耕培土を行ったが、その後の降雨と低温、日照不足により2回目の中耕培土ができなかったため8月1日に手取除草を行った。両年とも8月中旬から9月中旬にかけて、紫斑病防除剤 (チオファネートメチル) 及び殺虫剤 (MEPまたはフェンバレート+MEP) を全処理区に適宜散布した。

ダイズの栽培期間中、六条オオムギ及びダイズそれぞれ10個体の草高を2002年は5回、2003年は6回調査した。また、2002年は7月2日、8月6日及び9月12日、2003年は7月9日、8月1日及び9月1日に、六条オオムギは90cm×30cm (1条)、ダイズは90cm×60cm (1条) 及び雑草は90cm×60cmの長方形の区画内の個体を刈り取り、通風乾燥機により90℃で2日間乾燥させて、それぞれの乾物重を測定した。ダイズは2002年は10月29日、2003年は10月31日に各区2.4m²内の個体を刈り取って全重を測定後、中庸な20個体について特性調査を行った。また、刈り取った全個体を脱穀・精選して、子実収量及び

表12 試験区の構成

試験区名	記号	リビング マルチ	土壌処理 除草剤	中耕
LM+除草剤区	LM+H ⁺	○	○	○
LM区	LM+H ⁻	○	×	×
除草剤区	LM-H ⁺	×	○	○
無処理区	LM-H ⁻	×	×	×
慣行区	CC	×	○	○

注. 除草剤区は2003年のみ設定。

慣行区は2002年は中耕2回、2003年は中耕+手取り除草を行った。

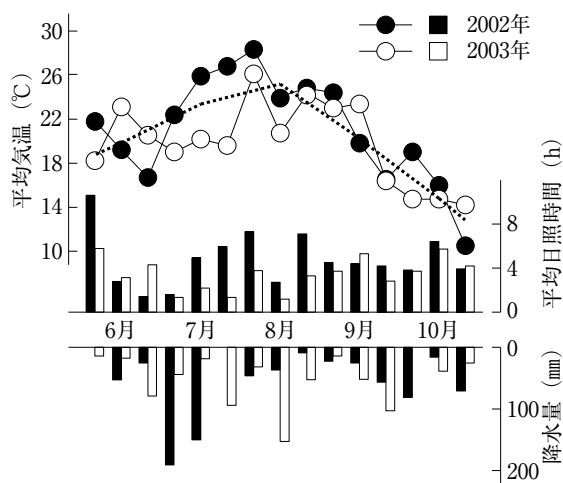


図19 平均気温、日照時間及び降水量の推移 (福島市)

福島地方気象台の観測データより作図。

気温及び日照時間は旬別の平均値 (点線は各月別の気温の平年値)。降水量は旬別の合計値。

百粒重を求めた。なお、2003年は収穫前に立毛で倒伏程度と最下着莢高を調査した。

2) 結果

(1) 試験地の気象条件

図19に栽培期間中の福島市の平均気温、平均日照時間及び降水量の推移を示した。2002年は、6月中～下旬にかけて気温が平年より低く平均日照時間も短かった。7月以降は8月上旬頃までは気温が高く平均日照時間も長かったが、台風6号の北上に伴い7月10日と11日の両日で241mmの降雨があったため7月の降水量は多かった。8月中旬以降の気温は平年並みに推移し、平均日照時間も概ね4時間程度であった。2003年は、2002年とは逆に6月中旬頃の気温が高かった。しかし、7月は冷たく湿った東よりの風の影響で、気温が平年よりかなり低く日照時間が短く霧雨の多い気象であった。その後、8月中旬には雨天の日が続き気温が低く降水量も多かったが、それ以降の気温は平年並みに推移し、日照時間、降水量も2002年と大差はなかった。

(2) ダイズ及び六条オオムギの生育経過及び乾物重の推移

ダイズの出芽日は2002年が5月31日、2003年が6月4日であった。2002年はダイズの開花期が7月27日、成熟期が10月22日でいずれも処理区による違いは認められなかった。2003年はダイズの開花期が8月2～3日で無処理区のみ8月5日、成熟期が慣行区で10月19日で他の処理区では10月20～24日であった。

リビングマルチを利用したLM+除草剤区及びLM区の六条オオムギの出芽日は2002年が5月28日、2003年が6月1日で、両年ともダイズより3日早く出芽した。図20にリビングマルチ栽培区と慣行区におけるダイズ及び六条オオムギの草高の推移を示した。六条オオムギの草高は、2002年は播種後37日目（6月28日）、2003年は播種後45日目（7月10日）までダイズを上回っていたが、この時期を境に六条オオムギの葉身は徐々に黄化しはじめて草高も低くなり、両年とも播種後70日目頃（8月上旬）にはほぼ枯死した。リビングマルチ栽培区のダイズの草高は、生育初期には慣行区と比べて若干高い傾向にあった。その後、2002年はリビングマルチ栽培区と慣行区の違いはなかったが、2003年は開花期頃から慣行区がリビングマルチ栽培区を上回り、播種後92日目の調査では約18cmの草高差がみられた（図21、図22）。

ダイズ1個体当たりの乾物重の推移を図23に示した。2002年は、LM+除草剤区、LM区及び慣行区では、乾物重の増加に大きな違いは認められなかったが、無処理区では播種後76日目以降は乾物重が他の処理区より小さく、収穫期の1個体当たりの乾物重は17.3gで慣行区の48%に当たる値であった。2003年は、67日目（8月1日）以降で慣行区の乾物重が最も大きく、LM+除草剤区及びLM区の乾物重は慣行区より若干小さく推移した。除草剤区の乾物重は67日目までは慣行区と同程度であったが、そ

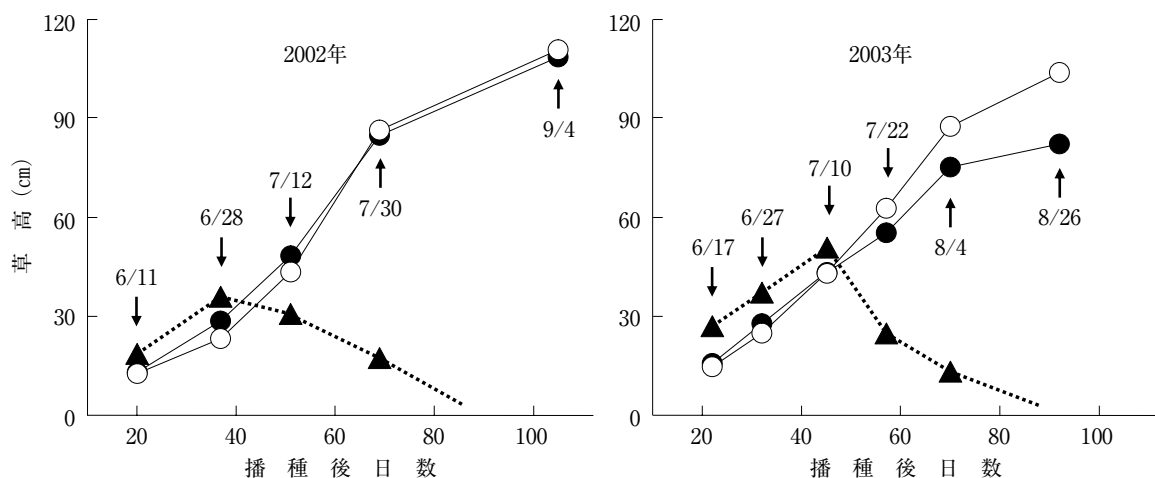


図20 慣行区とリビングマルチ栽培区におけるダイズ及び六条オオムギの草高の推移

○慣行栽培 (CC区) のダイズの草高。
 ●リビングマルチ栽培のダイズの草高 (LM+H+区とLM+H-区の平均値)。
 ▲リビングマルチ栽培の六条オオムギの草高 (LM+H+区とLM+H-区の平均値)。
 図中の日付は調査日。



ダイズと六条オオムギの発芽の状況
(LM区：2003年 6月10日)



六条オオムギ生育盛期の状況
(LM区：2003年 6月27日)
オオムギの草高がダイズを上回っている



ダイズ開花期頃の状況
(慣行区：2003年 8月1日)
この後、条間の雑草を手取で除草した



ダイズ開花期頃の状況
(LM区：2003年 8月1日)
六条オオムギはほとんど枯死している

図21 ダイズの発芽期から開花期頃までのダイズ及び六条オオムギの生育経過

の後は乾物重の増加が鈍化し、収穫期の1個体当たりの乾物重は20.9gで慣行区の49%であった。無処理区は2002年と同様に播種後67日目以降、乾物重が最も小さかった。

(3) 雑草の発生状況と乾物重の推移

ダイズの発芽より少し遅れて、除草剤処理を行っていないLM区及び無処理区では多くの雑草の発生が認められた。主要な雑草種は、イヌビユ、シロザ、オオイヌタデ、イヌビエ、スベリヒユ及びメヒシバであり、ダイズ開花期以降にはアキノエノコログサもみられた。雑草の乾物重の推移を表13及び表14に示した。2002年はLM+除草剤区、LM区及び慣行区間で、いずれの調査日においても雑草の乾物重に

有意差は認められなかったが、無処理区の雑草の乾物重は他の処理区に比べて有意に大きく、8月6日には 762g m^{-2} 、9月12日には 625g m^{-2} となりダイズをほぼ覆い隠していた。2003年においても、無処理区の雑草乾物重は全処理区の中で最も大きかった。除草剤区の雑草乾物重は9月1日には 192.2g m^{-2} で無処理区に次いで大きかった。一方、リビングマルチ栽培区では雑草の乾物重は著しく少なく、特に除草剤を併用したLM+除草剤区ではダイズ栽培期間を通して雑草はほとんどみられなかった。リビングマルチ及び除草剤の有無を要因とする分散分析を行った結果、リビングマルチ及び除草剤ともに有意な雑草抑制効果が認められた。



ダイズの莢伸長期頃の状況
(慣行区：2003年9月5日)



ダイズの莢伸長期頃の状況
(LM+除草剤区：2003年9月5日)
慣行区に比べて草高が低い



ダイズの莢伸長期頃の状況
(無処理区：2003年9月5日)
雑草によりダイズはほとんど見えない



ダイズの成熟期の状況
(LM区：2003年10月30日)
倒伏がやや多く、一部残草が見られる

図22 ダイズの莢伸長期から成熟期までのダイズの生育経過

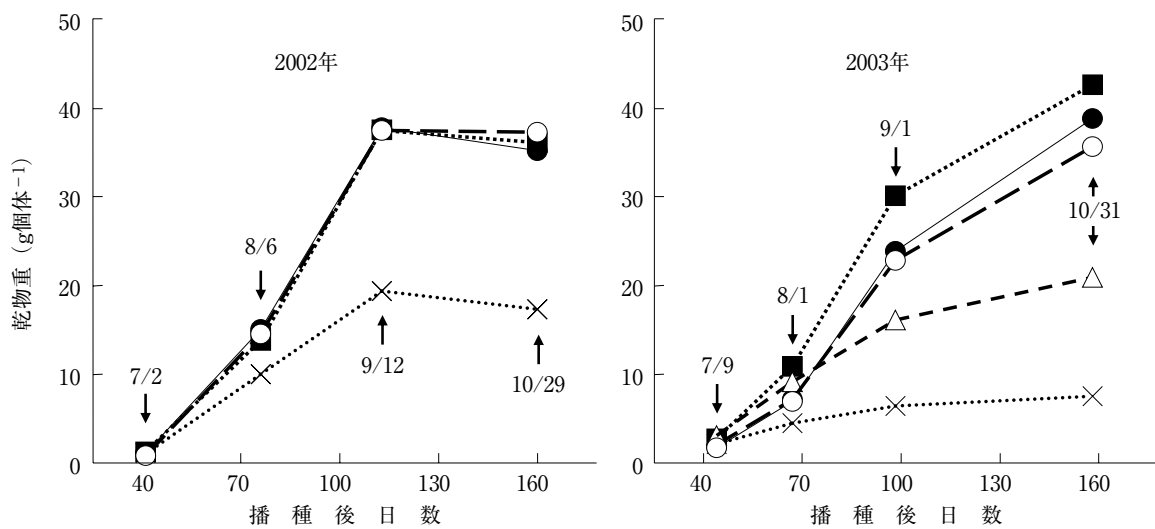


図23 ダイズの乾物重の推移

● LM+除草剤区 ○ LM区 △ 除草剤区 × 無処理区 ■ 慣行区
図中の日付は調査日。

表13 各試験区における雑草の乾物重の推移 (2002年)

試験区	雑草の乾物重 (gm ⁻²)		
	7月2日	8月6日	9月12日
LM+H ⁺	4.4 ^b ± 1.8	15.3 ^b ± 7.9	15.1 ^b ± 8.3
LM+H ⁻	9.3 ^b ± 2.9	60.8 ^b ± 20.1	25.9 ^b ± 4.9
LM-H ⁻	62.2 ^a ± 20.5	762.3 ^a ± 58.4	624.6 ^a ± 142.2
CC	—	13.7 ^b ± 10.8	1.4 ^b ± 0.7

注. 平均値 ± 標準誤差 (n=3)。
同一調査日内の同一記号を付した数値には5%水準で有意差がない (Tukey法)。
CC区の7月2日は雑草の乾物重 = 0 (有意差検定から除外)。

表14 各試験区における雑草の乾物重の推移と分散分析結果 (2003年)

試験区	雑草の乾物重 (gm ⁻²)		
	7月9日	8月1日	9月1日
LM+H ⁺	1.3 ^b ± 0.4	6.4 ^b ± 4.4	0.9 ^b ± 0.5
LM+H ⁻	14.3 ^b ± 1.2	29.1 ^b ± 10.6	21.9 ^b ± 6.1
LM-H ⁺	28.1 ^b ± 10.1	109.2 ^b ± 62.7	192.2 ^b ± 59.9
LM-H ⁻	123.4 ^a ± 11.8	313.8 ^a ± 45.0	432.5 ^a ± 73.9
CC	4.0 ^b ± 2.1	69.6 ^b ± 14.5	0.7 ^b ± 0.4

分散分析			
除草剤の有無	**	*	*
リビングマルチの有無	**	**	**
交互作用	**	*	ns

注. 平均値 ± 標準誤差 (n=3)。
同一調査日内の同一記号を付した数値には5%水準で有意差がない (Tukey法)。
CC区は8月1日の調査終了後に手取り除草を実施 (分散分析には不使用)。
*は5%水準、**は1%水準で有意。

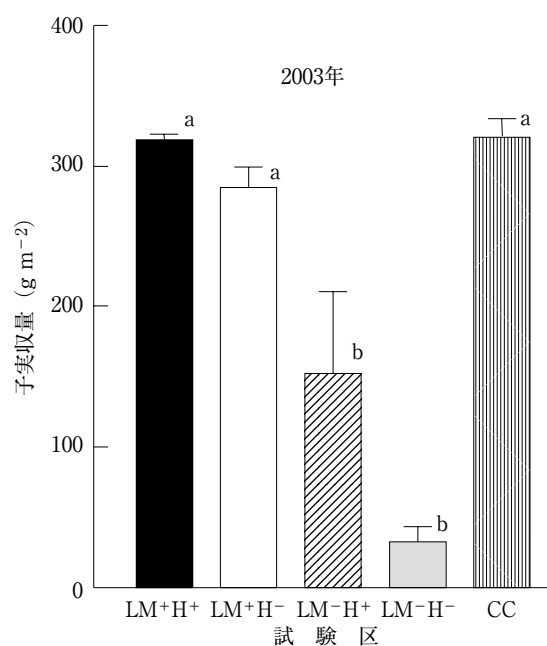
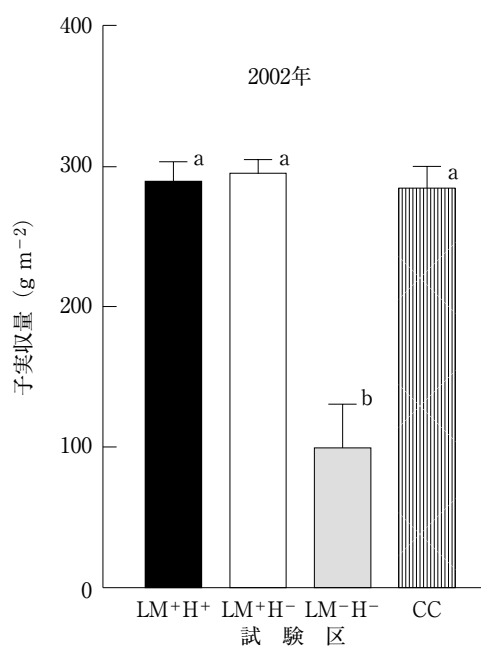


図24 ダイズの子実収量

LM+H⁺ = LM + 除草剤区、LM+H⁻ = LM区、LM-H⁺ = 除草剤区、LM-H⁻ = 無処理区、CC = 慣行区。
図中の縦線は標準誤差 (n=3)。
年次内で同一記号を付した値の間には5%水準で有意差がない (Tukey法)。

(4) ダイズ収穫期の収量と特性

図24から、ダイズの子実収量は2002年及び2003年ともに慣行区とリビングマルチ栽培区間では有意な差は認められなかったが、無処理区及び除草剤区では有意に低下した。表15に示したように、収穫期に調査した全重、主茎長及び茎径は、両年とも慣行区及びリビングマルチ栽培区間で有意な差は認められなかったが、2003年はリビングマルチ栽培区で慣行

区より小さい傾向にあった。稔実莢数は、両年とも慣行区で最も多く、LM+除草剤区、LM区の順に減少し、無処理区で有意に少なかった。百粒重は全処理区とも有意な差はなく、最下着莢高はリビングマルチ栽培区で慣行区に比べ高かった。2003年は慣行区でダイズの倒伏はほとんど認められなかったが、リビングマルチ栽培区では中程度、除草剤区と無処理区では著しい倒伏が認められた。

表15 ダイズの収穫期の収量構成要素及び関連特性

試験年	試験区	全 重 (gm^{-2})	主茎長 (cm)	茎 径 (mm)	個体当り 稔実莢数 (個)	百粒重 (g)	最下着 莢高*1 (cm)	倒 伏 程度*2
2002年	LM+H+	571.7 ^a	72.8 ^b	7.9 ^a	31.3 ^a	40.9 ^a	21.1 ^{ab}	—
	LM+H-	581.6 ^a	70.9 ^b	7.8 ^a	30.6 ^a	42.2 ^a	21.0 ^{ab}	—
	LM-H-	218.2 ^b	92.9 ^a	5.9 ^b	15.8 ^b	38.9 ^a	23.8 ^a	—
	CC	541.9 ^a	67.3 ^b	8.0 ^a	34.7 ^a	38.8 ^a	15.6 ^b	—
2003年	LM+H+	574.4 ^a	64.8 ^b	8.4 ^a	37.8 ^a	39.9 ^a	24.8 ^a	2.0
	LM+H-	537.4 ^a	70.1 ^b	8.4 ^a	35.7 ^{ab}	40.0 ^a	24.8 ^a	2.3
	LM-H+	301.8 ^b	80.7 ^{ab}	6.7 ^b	20.3 ^{bc}	38.9 ^a	22.4 ^a	3.3
	LM-H-	91.1 ^b	94.3 ^a	5.0 ^c	6.0 ^c	38.8 ^a	18.4 ^a	4.0
	CC	580.8 ^a	72.3 ^b	8.8 ^a	39.7 ^a	39.6 ^a	22.5 ^a	0.2

注. 年次内で同一記号を付した数値には5%水準で有意差がない (Tukey法)。

* 1 : 2002年は最下着莢主茎節高、2003年は立毛で測定した最下着莢高。

* 2 : 0 (倒伏なし) ~ 4 (倒伏甚) の5段階 (2002年は調査なし)。

3) 考察

野口・中山 (1978) は、関東地域のダイズ作における除草必要期間は約33日と報告している。一方、東北地域においてはダイズの播種時期から生育初期の気温が低くダイズの群落形成が遅れることから除草必要期間は45~55日程度とされている (野口・森田 1997)。通常、播種後に使用する土壌処理除草剤の効果の持続期間は処理後20~30日程度 (野口・森田 1997) であるため、東北地域では中耕や生育期茎葉処理除草剤の散布による雑草管理が必須であるが、中耕適期が梅雨期と重なり中耕作業が困難になる場合があることから、リビングマルチの導入による雑草管理を試みた。

本試験では、六条オオムギ (品種：べんけいむぎ) を条播しリビングマルチとして利用した場合には、除草剤の有無にかかわらず、無中耕でも高い雑草防除効果が認められた。除草剤を使用しなかったLM区では、雑草の発芽は無処理区と同様に認められたものの、六条オオムギの被覆により雑草の生育が阻害され、雑草の乾物重が無処理区に比べて著しく少なかった。特に、リビングマルチと除草剤を2要因とする試験を行った2003年では、分散分析の結果 (表14) から、リビングマルチ、除草剤ともに雑草抑制効果は認められた。しかし、8月1日のLM区の雑草乾物重が 29.1gm^{-2} で、除草剤区や慣行区と比べても少なかったことから、六条オオムギを用いたリビングマルチは、トリフルリンを用いた除草剤単独処理より効果が高かったといえる。さらに、リビングマルチと除草剤を組み合わせたLM+除草剤

区ではLM区より雑草乾物重が少なく、分散分析におけるリビングマルチと除草剤との交互作用が有意であることから、両者の組み合わせは雑草抑制効果を高めることがわかった。すなわち、土壌処理除草剤の主な効能は除草剤処理層から出芽してくる雑草の枯殺であることから (野口・森田 1997)、リビングマルチと除草剤を組み合わせた場合には雑草の発芽数が減少した上に、リビングマルチの被覆によって雑草の生育が抑制されたため、雑草がほとんどみられなかったと考えられる。除草剤による雑草抑制効果は、除草剤の有効成分、土壌の種類や水分、発生雑草の種類などにより変動する (野口・森田 1997) ため、本試験の結果のみから評価はできないが、六条オオムギによるリビングマルチはダイズ作における除草剤の代替技術として期待できる。

リビングマルチ栽培におけるダイズの乾物重は、2002年の試験では慣行栽培とほぼ同じであったが、2003年では慣行栽培より劣った (図23)。この原因として、ダイズと六条オオムギとの間の光や養分に対する競合の程度が両年で異なっていたことが考えられる。すなわち、2002年は六条オオムギの生育最盛期である6月中頃から下旬の気温が $16\sim 19^{\circ}\text{C}$ 前後と低く、六条オオムギの草高が低く (図20) 生育は抑えられた。加えて、7月以降は逆に高温に経過したため、六条オオムギの生育は鈍化して、ダイズの乾物重は急速に増加した (図23) ことから、六条オオムギとダイズの間の光や養分に対する競合は小さかったと推察される。それに対して2003年は、6月中~下旬の気温が $20\sim 23^{\circ}\text{C}$ 前後 (図19) で六条オオ

ムギの生育適温といわれる20℃(星川 1985)に近かった。このため、六条オオムギの草高が高く(図20)生育が旺盛となり、この時期にダイズとの間の光や養分に対する競合が大きくなったと考えられる。さらに、2003年は、7月以降ダイズ開花終期の8月中旬頃まで低温で日照時間が少なかった(図19)ため、生育盛期を迎えていたダイズの生育が遅れ、六条オオムギが枯死した後もその影響が残って、ダイズの乾物重が慣行栽培に近い値まで回復しなかったと推察される。

しかしながら、本試験ではリビングマルチ栽培におけるダイズの子実収量は慣行栽培と同程度であった(図24)。Ateh and Doll (1996)は、ライムギをリビングマルチとして利用することで雑草を効果的に制御できるが、ダイズの収量を高めるには栽培途中にライムギを枯殺する必要があると述べている。中村ら(2001)は、秋播き性コムギを用いたダイズ栽培では無除草剤でも雑草抑制効果は期待できるとしているが、ダイズの発芽率が低く収量も高いとはいえない。松尾・窪田(1990)は、コンバインによる収穫ロス麦類の萌芽・生育によって大型雑草の発生・生育は抑制されるが、麦類とダイズとの競合により、収量は40%程度減収したと報告している。このようにダイズと麦類の混作やリビングマルチ栽培では、ダイズが減収する場合が多い。

一方、Elkinsら(1983)は、イネ科牧草を用いたトウモロコシ及びダイズのリビングマルチ栽培試験で、ダイズは栽培期間にリビングマルチ植物の生育を抑制しなくても十分な収量が得られることから、トウモロコシよりもリビングマルチ栽培に適した作物であることを指摘している。星川(1985)は、ダイズは遮光などにより初期に生育の停滞があった場合でも、中期以降に十分な日照が得られるような気象条件であれば十分に回復し、収量に対する影響は少ないと論じている。また、酒井ら(1985)は、東北南部では9月の気象条件が子実重の決定に重要な要因となることを指摘している。本試験においてリビングマルチ栽培におけるダイズの乾物重が慣行栽培より劣った2003年も収量は同等であった主な理由は、ダイズの登熟期である9月以降に天候が良かったことから、稔実莢数や百粒重が慣行区と同程度だった(表15)ためと推察される。加えて、黄化しはじめ頃の六条オオムギのCN比は10程度(三浦未発表)と低く、枯死した8月中旬頃から分解が進

んで土壤に窒素を放出すると考えられることから、この窒素がダイズへ供給されて減収が抑えられた可能性もある。

リビングマルチ栽培では、慣行栽培に比べて倒伏程度が高かった(表15)。本試験のリビングマルチ栽培では、有意差はなかったが茎径が慣行栽培に比べ小さかったことと、倒伏防止効果が高いといわれる中耕培土(田淵 1998)を行わなかったことにより、慣行栽培より倒伏程度が高まったと考えられる。

3. 麦の種類の違いがダイズのリビングマルチ栽培に及ぼす影響

Ⅲ-1及びⅢ-2の結果から、秋播き性の高い六条オオムギをリビングマルチとしてダイズと同時に条播することで、雑草の発生・生育が抑制されることから、ダイズ作における中耕や除草剤処理が省略可能であることが示唆された。しかし、リビングマルチとして利用したのは、六条オオムギの1品種(べんけいむぎ)のみであった。わが国では、六条オオムギ以外のオオムギとして、六条ハダカムギ(以下、ハダカムギとする)、二条オオムギが栽培されている。わが国のハダカムギは、渦性(短型)品種が多いことから草型が六条オオムギとやや異なっている。また、二条オオムギの品種の多くは秋播き性が低いという特徴をもっている。一方、食用の麦類としてはコムギが最も多く栽培されており、形態的にオオムギとは明確に区別される。このように、麦の種類によって形態的な特徴が異なることから、リビングマルチとして利用する麦類の種類や品種が異なった場合、地表面の被覆の程度、雑草防除効果、ダイズの収量などが異なる可能性がある。そこで、本試験では、わが国において栽培面積が多く、秋播き性が高い麦類(六条オオムギ、ハダカムギ及びコムギ)をリビングマルチとして供試し、麦の種類や品種の違いが雑草及びダイズの収量などに及ぼす影響について調査、検討した。

1) 材料及び方法

試験は、2002年及び2003年に東北農業研究センターの畑圃場において実施した。試験圃場の土壌は淡色黒ボク土で、全炭素(T-C)は1.8%、全窒素(T-N)は0.2%、C-N比は9.6、pH(H₂O)は6.4であり、ダイズの前作(冬作)はライムギによる均一栽培を行った。リビングマルチには、六条オオムギ、ハダカムギ、コムギを供試した。供試品種は、六条オオムギ、ハダカムギについては全国の奨励品種及び有

表16 リビングマルチとして供試した麦の種類、品種と生育盛期の草高、乾物重、植被率及び相対光量子束密度 (RPD)

麦の種類	品種・系統名	草高(cm)		乾物重(gm ⁻²)		植被率(%)		RPD 2002年
		2002年	2003年	2002年	2003年	2002年	2003年	
コムギ	アオバコムギ	36.9	25.6	88.3	126.3	22.4	11.4	0.405
	ナンプコムギ	36.0	25.4	104.9	140.7	31.5	21.7	0.375
	ホクシン	34.7	24.1	83.2	120.4	38.7	27.4	0.389
	マルチムギ ¹⁾³⁾	36.7	—	121.9	—	29.6	—	0.395
	イワイノダイチ ²⁾	—	24.0	—	68.9	—	23.5	—
六条オオムギ	シンジュボシ	42.8	29.7	174.8	127.8	39.3	38.5	0.062
	てまいらず ¹⁾³⁾	42.5	—	173.9	—	33.4	—	0.126
	ハマユタカ	31.1	24.5	99.2	135.9	35.9	22.4	0.292
	ファイバースノウ	43.2	30.6	125.2	107.8	35.4	32.0	0.274
	べんけいむぎ	48.6	35.1	155.6	165.2	31.8	28.6	0.092
	北陸皮35号	46.5	35.2	111.0	131.5	37.3	40.2	0.244
	ミノリムギ	48.5	35.7	121.4	127.4	33.4	29.1	0.267
	ミュキオオムギ	49.9	33.8	161.2	143.3	32.6	28.0	0.210
	早生坊主 ²⁾	—	23.4	—	134.4	—	22.6	—
ハダカムギ	イチバンボシ	32.4	23.8	86.3	119.3	24.1	15.3	0.468
	シラタマハダカ	38.5	16.9	115.4	98.5	32.7	10.9	0.247
	ナンプウハダカ	38.3	22.9	124.0	78.9	22.3	4.9	0.305
	ヒノデハダカ	39.1	24.5	139.6	103.7	27.8	15.1	0.252
	マンネンボシ	36.6	23.2	109.6	150.7	30.2	19.7	0.334
	宮崎裸	38.0	23.7	140.9	113.0	23.2	11.4	0.435

注. 1) 2002年のみ供試。

2) 2003年のみ供試。

3) カネコ種苗株式会社の商品名。

調査日は、2002年が7月3日(草高、植被率、RPD)及び7月5日(乾物重)、2003年が6月27日(草高、植被率)及び7月14日(乾物重)。

望系統、コムギについては東北、北海道の奨励品種を抽出し、そのうち秋播き性程度がⅢ以上の品種・系統の種子について可能な限り入手及び自家採種し、発芽試験による発芽率が低かった品種を除く六条オオムギ8品種、ハダカムギ6品種、コムギ4品種とした(表16)。1処理区面積は35m²(7m×5m)で、品種の反復のない完全無作為配列法とした。施肥は、基肥のみで10アール当たりN、P₂O₅、K₂Oを2002年はそれぞれ4kg、16kg、16kg、2003年はそれぞれ5kg、20kg、20kgを、播種1～2週間前に圃場全面に施用後ロータリ耕を行った。

2002年は5月27日、2003年は6月3日にダイズ(品種：タチナガハ)をロータリシーダにより条間60cm、株間15cm(2粒播き)で播種した。その後リビングマルチとして利用する麦類を手押し式の播種機(アグリテクノ矢崎社製)を使ってダイズの条間に2列となるよう条間30cmで播種した。麦類の播種量は10アール当たり8kgとし、播種後の土壌処理除草剤は使用しなかった。対照として、ダイズ播

種後に土壌処理除草剤を施用し、中耕・培土を行う慣行区(CC区)とリビングマルチも除草剤も使用しない無処理区(NT区)を各2反復設けた。慣行区の中耕・培土は、2002年は6月17日、2003年は6月20日に行った。両年とも8月中旬から9月中旬にかけて、紫斑病防除剤(チオファネートメチル)及び殺虫剤(MEPまたはフェンバレート+MEP)を全処理区に3回散布した。

2002年は7月3日、2003年は6月27日に、麦類をリビングマルチとして播種した区(以下、リビングマルチ栽培区とする)の麦の草高と植被率を調査した。植被率を計算するため、デジタルカメラを用いて、処理区の群落を真下に方向に0.8×0.6mの範囲で撮影した。画像は画像解析ソフトを用いて白黒に二値化し、白色部分の比率を全体の植被率とし、リビングマルチ栽培区の植被率から慣行区の植被率(ダイズの植被率)を差し引いたものを麦類の植被率とした。麦類の乗算優占度(Multiplied Dominance Ratio:MDR)は、Kobayashiら(2002)



六条オオムギ (べんけいむぎ)



ハダカムギ (宮崎裸)



コムギ (アオバコムギ)

図25 麦の種類別の地表面の被覆状況
(2002年7月4日)

を参考に下記の計算式により算出した。

$$MDR = \text{麦類の植被率} (m^2 m^{-2}) \times \text{麦類の草高} (m)$$

2002年のみロング光量子センサー (LI-COR社) を用いて各処理区の群落内及び遮光のない場所において地表面の光量子束密度を測定し、下記の計算式により相対光量子束密度 (Relative photosynthetic photon flux density: RPD) を算出した。

$$RPD = \text{群落内の地表面の光量子束密度} / \text{遮蔽がない場所の地表面の光量子束密度}$$

雑草の調査は、2002年は8月6日、2003年は8月5日と8月28日に、90cm×60cmの長方形の区画内の個体を刈り取り、通風乾燥機により90℃で2日間乾燥させて、乾物重を測定した。ダイズは、2002年は10月24日、2003年は11月6日に立毛状態で倒伏程度を調査した後、2.4m²内の個体を刈り取って、脱穀・精選して子実収量を求めた。

2) 結果

(1) ダイズと麦類の生育経過

ダイズの出芽期は、2002年が6月7日、2003年が6月11日であった。2002年はダイズの生育は概ね順調で、開花期が7月29日、成熟期が10月22日で、いずれも処理区による違いは認められなかった。2003年は梅雨期の降雨により中耕を行った慣行区以外のダイズに著しい倒伏がみられた。開花期は8月8日で処理区による違いはなかったが、成熟期は、慣行区が10月23日で最も早く、リビングマルチ栽培区で10月24～30日、無処理区は10月30日で最も遅かった。

リビングマルチ栽培区の麦類の出芽期は、2002年が6月2～3日でダイズより4～5日早く、2003年が6月9日 (シラタマハダカのみ6月11日) でダイズより2日程度早かった。両年とも、いずれの麦種も7月上旬頃まで旺盛に生育した。麦類の生育盛期における草高、植被率及び乾物重を表16に示す。品種や年次によるばらつきはあるが、六条オオムギは、全般に草高、植被率及び乾物重とも高い値を示した。

コムギとハダカムギは草高と乾物重はほぼ同じであるが、植被率はハダカムギの方がやや低かった。これは、ハダカムギの叢生（草型）が直立型であり、葉が横に広がりにくいという特性を表している（図25）。いずれの麦類も7月上旬頃を境に葉が黄化しはじめ、六条オオムギ及びハダカムギは7月下旬から8月上旬頃、コムギはやや遅れて8月上旬から中旬頃にほぼ枯死した。

2002年に測定した麦類品種別の地表面の相対光量子束密度（RPD）を表16に、麦の種類・処理別にまとめたRPDを図26に示す。全般にリビングマル

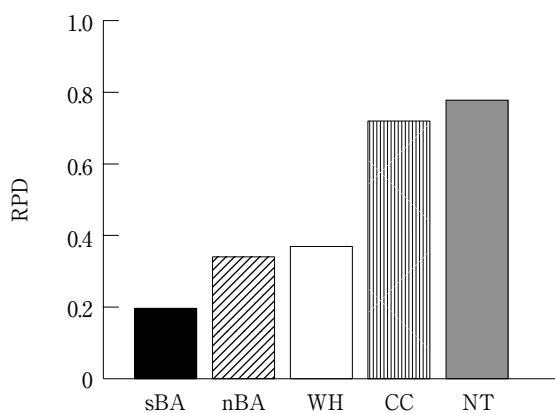


図26 群落内地表面における相対光量子束密度（RPD）

2002年7月3日調査。

sBA：六条オオムギ区、nBA：ハダカムギ区、WH：コムギ区、CC：慣行区、NT：放任区。

チ栽培区のRPDは慣行区（0.72）より小さかったが、供試品種の違いによる差が大きく、シンジュボシ、べんけいむぎで0.1を下回っており、地表面がよく遮光されていると考えられた（表16）。一方、草高、植被率ともに低いイチバンボシではRPDが0.47で最も高かった。麦の種類別では、六条オオムギのRPDが全般に小さかった。

（2）麦の種類の違いが雑草の乾物重に及ぼす影響

図27に麦類の生育盛期における乗算優占度（MDR）と雑草の乾物重との関係を示す。麦類のMDRは、2002年、2003年ともに六条オオムギの品種で大きく、コムギ、ハダカムギの品種で小さい傾向があった。麦類のMDRと雑草の乾物重との間には負の相関関係が認められた。

リビングマルチとして利用した麦の種類別に比較した雑草の乾物重を図28に示す。2002年は2003年に比べ、全般に雑草の乾物重が多かった。2002年、2003年とも六条オオムギ品種をリビングマルチとして利用した区（以下、六条オオムギ区とする）の雑草の乾物重がハダカムギやコムギ品種を利用した区（以下、それぞれハダカムギ区、コムギ区とする）より少なかった。雑草の乾物重の対無処理区比は、六条オオムギ区で18～22%であったのに対し、コムギ区では22～59%、ハダカムギ区では46～132%であり、抑草効果は六条オオムギで高く、コムギ、ハダカムギの順に低くなる傾向にあった。

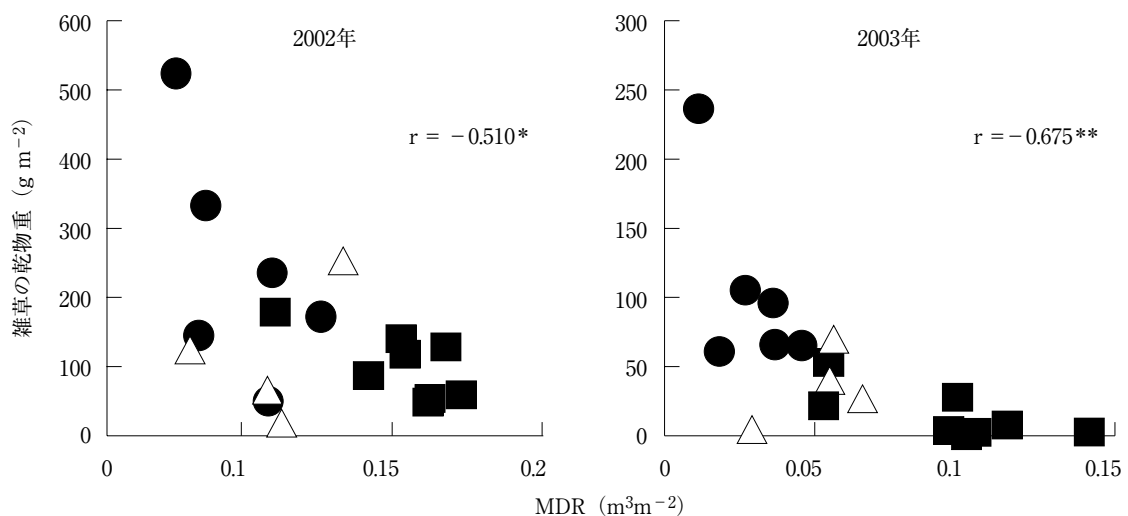


図27 リビングマルチ栽培区における麦類の乗算優占度（MDR）と雑草乾物重との関係

調査日は、2002年が7月3日（MDR）及び8月6日（雑草の乾物重）、2003年が6月27日（MDR）及び8月5日（雑草の乾物重）。

■は六条オオムギ品種、●はハダカムギ品種、△はコムギ品種をリビングマルチとした場合のデータ。

*は5%水準、**は1%水準で有意。

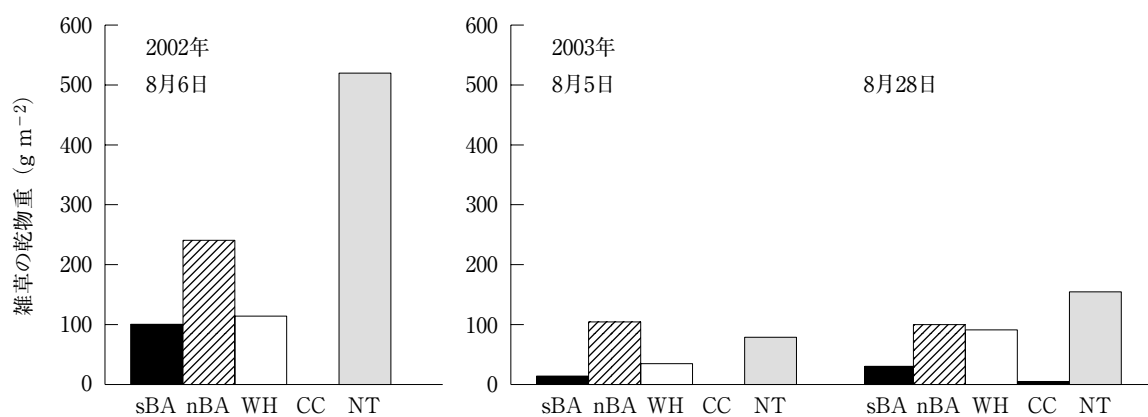


図28 雑草の乾物重

sBA：六条オオムギ区、nBA：ハダカムギ区、WH：コムギ区、CC：慣行区、NT：放任区。

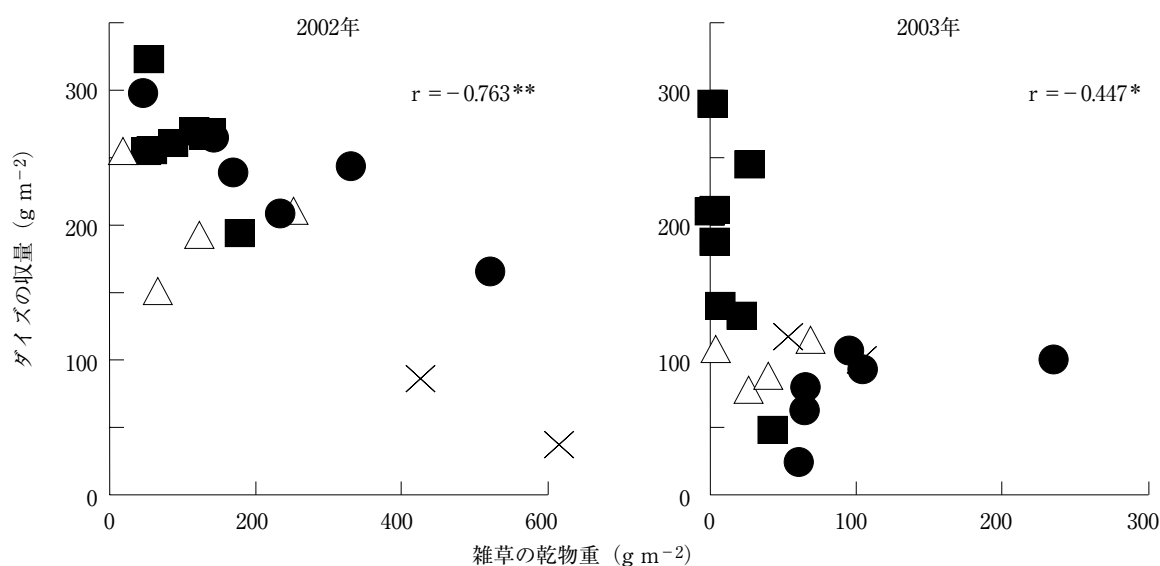


図29 雑草の乾物重とダイズの収量との関係

■は六条オオムギ品種、●はハダカムギ品種、△はコムギ品種をリビングマルチとした場合のデータ、×は放任区のデータ。
*は5%水準、**1%水準で有意。

(3) 雑草とリビングマルチがダイズの収量に及ぼす影響

雑草の乾物重とダイズの収量との関係を図29に示す。雑草の乾物重とダイズの収量との間には、2002年、2003年とも負の相関関係が認められた。図30にリビングマルチとして利用した麦の種類別に比較したダイズの収量を示す。2002年、2003年ともダイズの収量は慣行区で最も高かった。リビングマルチ栽培区では、両年ともに六条オオムギ区が最も高く、コムギ区やハダカムギ区で低い傾向にあった。

3) 考察

麦類を利用したダイズのリビングマルチ栽培で

は、麦類とダイズとの競合を最小限にしつつ、抑草効果を高める必要がある。本試験では、2002年は2003年に比べ、全般に雑草の乾物重が大きかった(図28)。これは、同年に行ったⅢ-2の試験結果と一致しており、2003年は2002年に比べて大豆播種直後の降雨量が少なく、梅雨期の気温が低かったため(図19)、雑草の発芽や生育などが遅れたことが一因と推測される。また、本試験では測定していないが、地温や土壌水分の違いが雑草の発生や生育に影響した可能性がある。一方、リビングマルチ栽培区では、2002年、2003年とも六条オオムギの品種をリビングマルチとして利用した区において雑草の乾物重が小

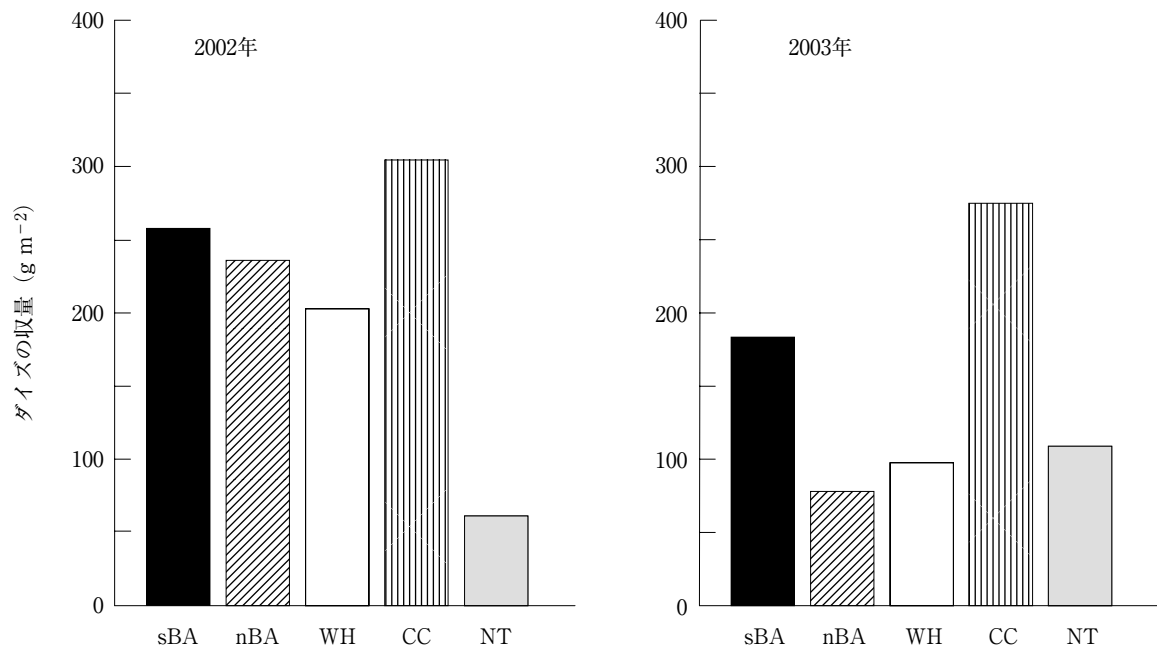


図30 ダイズの収量

sBA：六条オオムギ区、nBA：ハダカムギ区、WH：コムギ区、CC：慣行区、NT：放任区。

さかった (図28)。このことから、秋播き性の高い六条オオムギが、コムギやハダカムギに比べてリビングマルチとして優れた雑草抑制効果を有していると考えられる。コムギは、六条オオムギに比べて全般的に草高が低く、葉幅が細いことから植被率が低かったため、雑草の乾物重が大きかったと考えられる。ハダカムギは、叢生が直立型であることから生育盛期までの被植率が低いため乗算優占度が低く、遮光率も低かったことから、十分な雑草抑制ができなかったと判断される。

しかし、除草剤と中耕を組み合わせた慣行区と比較すると六条オオムギ区においても雑草が十分に抑制されなかった (図28)。野口・中山 (1978) は、雑草の生育が著しく抑制される遮光条件は、スベリヒユ、カヤツリグサで80%以上、オオイヌタデで80~90%、メヒシバで90%以上と報告している。本試験では、優占雑草種が比較的遮光に強いハルタデ、イヌビエ、メヒシバであったこと、六条オオムギ区の地表面の相対光子束密度は、シンジュボシやべんけいむぎなどで0.1 (遮光率90%) を下回っていたものの、平均すると0.2 (遮光率80%) 程度であったことから、十分な雑草抑制効果が得られなかったと推測される。中野ら (2003) は、夏期に播種した麦類茎葉の地表面遮光能力を評価した結果、コムギよりもオオムギに遮光率が高い品種が多く存在

し、播種後28日目の遮光率が70%を超えるオオムギの品種があることを報告している。ダイズのリビングマルチ栽培では、麦類だけでなくダイズによる遮光も期待できるので、乗算優占度がより高い品種をリビングマルチとして利用したり、初期生育の早いダイズ品種と組み合わせることなどにより、本試験以上の遮光率が得られれば、雑草抑制効果は高まる可能性がある。

リビングマルチ栽培におけるダイズの収量は、2002年、2003年とも六条オオムギ区で高い傾向にあった (図30)。また、ダイズの収量と雑草の乾物重との間には負の相関関係が認められた (図29)。このことから、六条オオムギ区のダイズの収量がハダカムギ区やコムギ区に比べて高かったのは、六条オオムギ品種のリビングマルチにより雑草が抑制されていたことが主要因と考えられる。

一方、六条オオムギ区のダイズの平均収量は慣行区に対して2002年は85%、2003年は67%であり、リビングマルチ栽培による収量の低下が示唆された (図30)。ダイズのリビングマルチ栽培では、慣行栽培に匹敵する収量を得られるという報告 (Elkinsら 1983) もあるが、リビングマルチである麦類とダイズの競合や雑草が十分に抑制されないことなどから、ダイズの収量は慣行栽培に比べて低下する場合が多い (Ateh and Doll 1996、中村ら 2001)。辻

ら (2005) は、コムギによるリビングマルチはダイズの収量を低下させるが、ダイズの密植により収量の低下を緩和できると報告している。本試験で六条オオムギ区のダイズの収量が慣行栽培より低かった原因は、先述したように六条オオムギによるリビングマルチの雑草抑制効果が慣行区に比べて不十分で、雑草が多く発生・生育したことが主な要因であったと考えられる。また、2003年は慣行栽培以外ではダイズが早期 (7月上旬) に倒伏した。ダイズは生育初期の倒伏により収量が著しく減少する (Cooper 1971) ことから、2003年のリビングマルチ栽培では、生育初期のダイズの倒伏が生育を遅延させ、開花期以降も個体の生育が回復できなかったことから、雑草の乾物重が2002年より少なかったにもかかわらず、ダイズの収量は慣行栽培より大きく低下したと推察される。

4. 小 括

Ⅲでは、ダイズ作に適した耕種的防除法の開発を目的に、主として麦類によるリビングマルチとダイズを同時に播種した場合の雑草抑制効果及びダイズの生育、収量を調査・解析した。

数種の緑肥作物によるダイズのリビングマルチ栽培試験では、ヘアリーベッチは被覆が不十分で雑草が抑制できなかったこと、エンバクは雑草抑制効果は高いがダイズとも競合し収量が低かったことから、リビングマルチとして不適当と考えられた。一方、秋播き性の高い六条オオムギを条播することにより、無除草剤でも雑草は顕著に抑制され、さらにリビングマルチと土壌処理剤の併用により、雑草抑制効果が高まることが明らかになった。ダイズの初期生育はやや劣る場合が多いが、六条オオムギは、ダイズの開花期頃にはほぼ枯死することから生育は回復し、ダイズの収量はリビングマルチ栽培と慣行栽培とで有意な差はなかった。一方、形態的な特性が異なる麦類 (六条オオムギ、ハダカムギ、コムギ) の品種をリビングマルチとして利用した試験では、雑草の乾物重は、六条オオムギを利用した区が最も少なく、コムギ区、ハダカムギ区では多かった。また、雑草の乾物重は、麦類の乗算優占度 (MDR) との間には有意な負の相関関係が認められた。さらに、ダイズの収量は、六条オオムギ区で最も高かった。

以上より、雑草の抑制効果やダイズの収量性の点から、秋播き性の高い六条オオムギの品種をダイズと同時に条播する方法が、ダイズのリビングマルチ

栽培に最も適しており、本リビングマルチ栽培法により東北地域のダイズ作における中耕や除草剤処理が省略可能であると判断された。しかし、六条オオムギをリビングマルチとした場合でも、慣行栽培と比べると、ダイズの収量が低い場合がみられた。特に、ダイズと六条オオムギとの競合やダイズの倒伏などによって初期生育が著しく抑制された場合や雑草の抑制が不十分な場合には、減収程度が大きかった。今後は、ダイズとオオムギとの競合を最小限にし、雑草を効果的に抑制できるような栽培管理方法について検討する必要がある。

Ⅳ 総 合 考 察

本研究では、わが国において研究蓄積が少ない畑作物のリビングマルチ栽培について、マメ科牧草を利用したスィートコーンのリビングマルチ不耕起栽培体系、麦類との同時播種によるダイズのリビングマルチ栽培体系という二つのプロトタイプを構築し、それぞれの体系について、雑草の発生状況、主作物の生育及び収量について調査・解析を行った。総合考察では、これまで明らかにした結果をまとめ、本研究で十分に触れることのできなかったリビングマルチ栽培の問題点、今後の研究方向や農業現場への普及について議論する。

リビングマルチ栽培には、土壌侵食の防止、土壌への有機物の供給、雑草の抑制、有用昆虫 (天敵) の増加など多くのメリットがある (Hartwig and Ammon 2002)。一方、リビングマルチ栽培において最も問題となるのは、主作物とリビングマルチ草種の光や養水分に対する競合である (Echtenkamp and Moomaw 1989)。特に降雨量の少ない地域や気象条件では、水分競合が作物の収量低下を引き起こす主要因となる (Eberlein 1992)。このため、リビングマルチ栽培においては、主作物の播種前や栽培期間中に、非選択性の除草剤の散布や刈り取りなどの機械的な手法によりリビングマルチを抑制するのが一般的である。

本研究で構築した二つのリビングマルチ栽培体系のうち、マメ科牧草を利用したスィートコーンのリビングマルチ不耕起栽培体系では、除草剤を使用しないことを前提としたことから、スィートコーンの播種前にリビングマルチであるマメ科牧草をハンマーナイフモアで刈り取るにより、生育初期の光競合を抑えてスィートコーンの株立ち率を向上させ

ようと試みた。その結果、シロクロバをリビングマルチとして利用した場合は、アルファルファやアカクロバに比べてスイートコーンの株立ち率が高かった（Ⅱ－１）。しかし、シロクロバをリビングマルチとして利用した場合においても、５月播種では６月播種に比べて株立ち率が低下したことから、スイートコーンの株立ちを確保するためには、スイートコーンとリビングマルチの相対的な生長を考慮し、スイートコーンの初期生育に有利な栽培環境を醸成することが重要であると考えられた（Ⅱ－２）。すなわち、本研究のようなリビングマルチ栽培体系では、シロクロバのような草丈の低いリビングマルチ草種の選定、リビングマルチの低刈り、気温が高い時期のスイートコーンの播種、移植栽培などが株立ち率を高めるのに有効と考えられる。本研究では、リビングマルチ草種を刈り取る高さがスイートコーンの株立ちに及ぼす影響については調査していないが、マメ科牧草は一般にイネ科牧草よりも生長点が低く、低刈りしても再生力が高いとされている（小阪・村山 1987）ことから、刈り取りの高さをより低くすることで、株立ち率を高めることは可能であり、播種に最適な期間も拡大すると考えられる。

本栽培体系では、播種時に加えて播種約１ヶ月後に条間のリビングマルチを刈り敷いた（中間刈取り）。シロクロバをリビングマルチとして利用した¹⁵Nトレーサー試験では、スイートコーン収穫期の窒素吸収量のうち10.5%及び16.7%が、それぞれ

播種時及び中間刈り取り時のシロクロバ残さ由来であったことから、２回の刈り取りはスイートコーンの生育期における窒素の供給と窒素に対する競合の緩和に重要な役割を果たしていると考えられた（Ⅱ－３）。このように栽培期間中のリビングマルチの刈り取りや抑圧は競合の回避に有効であるが、その反面、作業には労力を要する。そのため、近年では栽培期間中の管理作業を省略するような試みもなされている。魚住ら（2004）は、シロクロバを利用した飼料用トウモロコシのリビングマルチ栽培では、播種時期にシロクロバを刈り取るだけでも高いトウモロコシの収量が得られると報告している。また、筆者らも飼料用トウモロコシを条間60cmで不耕起播種することによって、トウモロコシの出穂期頃にはシロクロバはほとんど枯死し、中間刈り取りなどの管理作業をしなくても十分な乾物収量を得られることを経験していることから（図31）、今後、省力化と競合回避を両立させるような栽培管理法について、さらに検討する必要がある。

本栽培体系では、スイートコーンの播種前及び栽培期間中の雑草は顕著に抑制された（Ⅱ－１）。これは、既報（Grubinger and Minotti 1990、Fischer and Burill 1993、DeHaanら 1997）の結果とほぼ一致しており、わが国のような高温多湿で雑草の発生が多い地域においても、マメ科牧草によるリビングマルチ栽培が雑草防除に有効であることを示唆している。但し、スイートコーンの播種期にはナズナ、収穫期にはギシギシやメヒシバ、イヌビエなどのイ



図31 シロクロバを利用した飼料用トウモロコシのリビングマルチ栽培試験

トウモロコシは不耕起播種機を利用して条間60cmで播種，中間刈取りなし
周辺にはシロクロバが残っている（左）が，群落内は完全に枯死している（右）
（つくば市中央農業総合研究センター内の畑圃場：2005年9月）

ネ科雑草が散見された。これらは、本研究においてスイートコーンの株立ちや収量に影響を及ぼすものではなかったが、リビングマルチによる被覆が不十分でこれらの雑草が多く発生する可能性がある場合には注意を要する。シロクロバを利用したスイートコーンのリビングマルチ不耕起栽培体系では、株立ち率を高めることにより、スイートコーンの収量や品質は慣行栽培と同等かそれ以上であった（Ⅱ－１、Ⅱ－２、Ⅱ－３）。これは、前述したように、本体系における雑草抑制効果が高く、かつシロクロバの窒素固定や刈り取り残さからスイートコーンへの窒素の移行などにより窒素に対する競合が起こりにくかったためと考えられる。また、本試験で推定したリビングマルチ栽培の窒素フローや施肥量を変えた栽培試験（Ⅱ－３）の結果から、窒素については2～4 kg程度施肥量を減らしても、慣行栽培と同等の収量が得られる可能性は高い。さらに、Deguchiら（2005、2007）は、シロクロバによる飼料用トウモロコシのリビングマルチ栽培では、トウモロコシの菌根菌の感染率が慣行栽培に比べて高く、リン酸の施肥量が少なくてもトウモロコシの収量が高いことを報告しており、本栽培体系では、窒素だけでなくリン酸の施肥量を減らせる可能性がある。

ダイズのリビングマルチ栽培体系については、数種の緑肥作物をリビングマルチとしてダイズと同時に播種した結果、秋播き性の高い六条オオムギ8 gm⁻²程度をダイズの条間に条播する方法が最適と判断された（Ⅲ－１）。秋播き性の高い麦類を夏期に播種すると、発芽直後から旺盛に生育するが、徐々に生育は鈍化し、出穂せずに自然に枯死する（座止現象）が、このような麦類の座止現象を利用したリビングマルチ栽培試験は、海外ではみられない。そこで、本試験では、秋播き性の高い麦類をリビングマルチとして利用して、無中耕で雑草防除を行いつつ、ダイズの収量性を高めることができないかを検討した。

本栽培体系では、六条オオムギやコムギをリビングマルチとした場合に、無除草剤でも一定の雑草抑制効果が認められた。特に、六条オオムギをリビングマルチとした場合は、雑草の乾物重が無中耕・無除草剤でリビングマルチを使わない放任区の概ね20%以下になり、雑草抑制効果が大きいと判断された。麦類によるリビングマルチの雑草抑制効果は、主として被覆による遮光と考えられた（Ⅲ－２、Ⅲ－３）。

しかし、六条オオムギをリビングマルチとした場合でも、土壌処理除草剤を使用し中耕を行う慣行栽培と比べると、有意差はないものの雑草の乾物重が多く、必ずしも安定した雑草抑制効果が得られているとは言えない（Ⅲ－２、Ⅲ－３）。この理由として、リビングマルチによる雑草抑制効果が、発生する雑草の種類や量によって異なることがあげられる。本試験では、雑草の種類別に発生数や乾物重を調査していないが、リビングマルチ栽培区においては、イヌビエ、ハルタデ、メヒシバなどの草種が多くみられ、シロザやイヌビユは放任区に比べて少ない傾向が観察された。また、筆者らが農家圃場で行っているリビングマルチ栽培試験においても、ヒエ類やタデ類が多く残存し、雑草抑制が上手くいかないケースがみられる。野口（1986）は、遮光条件下で数種の雑草の成長を比較し、メヒシバ、シロザは遮光に強く、オオイヌタデは中間、スベリヒユは最も弱いことを報告しているが、上記の観察結果は必ずしもこれと一致していない。Creamerら（1996）は、カバークロップによる雑草抑制効果は、物理的な遮蔽だけでなく、アレロパシー作用により効果が高まることを指摘している。また、藤井（1995）は、アレロパシーによる雑草制御の可能性を示唆していることから、アレロパシーなど遮光以外の要因を含めて、麦類によるリビングマルチの持つ雑草抑制効果を雑草の種類別に評価することも必要と考えられる。

六条オオムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培体系におけるダイズの収量は、慣行栽培と有意差がなかったが、平均値でみると慣行栽培より収量が劣る場合がみられる（Ⅲ－２、Ⅲ－３）。この原因として、Ⅲ－３の2002年のようにリビングマルチの雑草抑制効果が不十分である場合が考えられる。本試験の場合、イヌビエやハルタデが優占し発生量も多かったことから、雑草を十分に抑制することはできなかった。このようにリビングマルチで防除が困難と思われる雑草種が優占している圃場では、Ⅲ－２で示したような六条オオムギによるリビングマルチと土壌処理除草剤を組み合わせる雑草抑制効果を高めることがダイズの収量の向上に最も有効と思われる。

それに対して、Ⅲ－２及びⅢ－３の2003年のように、ダイズと六条オオムギとの競合によって、ダイズの初期生育が抑制されたり倒伏が起こることによって、収穫期までにダイズの生育が回復しない場合

にも収量は低下する。この対応策として、まず、ダイズとの光競合をできるだけ回避できるようなオオムギ品種を選択することがあげられる。本研究では、麦類の品種の反復を設けておらず、品種の違いがダイズの収量や雑草抑制効果に及ぼす影響については検討できなかった。しかし、オオムギの草丈、株の開閉などの形態的特性や座止時期など生理的特性、さらに中野ら（2003）の報告にあるような地表面遮光能力は品種によって大きく異なることから、ダイズのリビングマルチ栽培に適した生育初期の被覆力が高いなどの特性を持つオオムギ品種の選抜や育種は今後の研究課題と考えられる。本試験を行った福島市では、ダイズの生育初期の平均気温は概ね20℃前後であった（Ⅲ－2）。オオムギの生育は気温によって大きな影響を受けることから、ダイズの生育初期の気温が福島市より低い地域においては、オオムギの生育がより旺盛になり、ダイズとの競合を助長する可能性がある。このような地域では、オオムギだけでなく、中村ら（2001）や辻ら（2005）のようにコムギや他のカバークロップ草種をリビングマルチとして利用することも競合の回避には有効と考えられる。そのためには、Ⅲ－1で行ったようなダイズ作に適したリビングマルチ草種の選定試験を、より多くの草種、栽培条件で行うことも必要であろう。

ダイズと六条オオムギの競合を回避しダイズの収量を高めるためには、ダイズの播種密度を高めることが有効と考えられる。筆者ら（未発表）は、関東地域では、ダイズの狭畦栽培と六条オオムギによるリビングマルチの組み合わせにより、無中耕・無除草剤でも雑草防除効果が高く、ダイズの収量も慣行栽培と同程度であることを確認している。辻ら（2005）は、北海道でコムギによるリビングマルチ栽培試験を行い、通常の播種密度ではダイズの収量は低下するが、密植により収量の低下を緩和できると報告している。このように、ダイズの播種密度を高めることは、ダイズ自身の被覆により遮光効果を高めることから雑草防除にも有効と考えられる。一方、播種密度を高めることは、倒伏を助長する可能性が高い（川島 1965）。そのため、ダイズのリビングマルチ栽培においては、倒伏に強いダイズ品種を利用することも重要であり、リビングマルチに適した品種の選定や新品種の開発が必要である。

わが国におけるリビングマルチ栽培に関する研究は、本研究が始まった1990年代後半から多くみられ

るようになり、対象とする主作物も本研究で取り上げたスイートコーン（トウモロコシ）やダイズのほか水稻、野菜など多岐にわたっている。嶺田ら（1997）はレンゲ草生マルチ中に水稻を直播した場合、堀元ら（2002）はヘアリーベッチの立毛中に入水し水稻を移植した場合の雑草抑制効果について報告している。藤原（2000）は、ヘアリーベッチ立毛中にショウガなどの野菜を移植し、雑草抑制及び肥料効果について検討している。倉井ら（1999）は、コンニャク栽培において、ライムギの混作が根腐れ病防除に有効であることを報告している。このように、リビングマルチ栽培については、除草剤など農薬の削減や窒素などの養分の作物への供給が期待できるという研究結果がみられるが、研究蓄積は海外に比べて未だ少なく、リビングマルチは農業現場ではほとんど利用されていないのが実状である。

本研究で取り上げた二つのリビングマルチ栽培体系は、主として無除草剤による雑草防除を目指したものであり、優占する雑草の種類や発生量、気象など適用可能な条件はあるものの、一定の雑草防除効果を持ち、主作物の収量や品質も慣行栽培と同等に確保できる可能性が高いものである。加えて、ビニールマルチなどで問題となっている廃棄物処理の問題がないこと、シロクロバやオオムギの種子は安価で手に入りやすくコストがかからないこと、ダイズ作では中耕作業が省略できることなどのメリットがある。一方、リビングマルチ栽培が技術として普及するためには、播種作業の機械化は避けて通れない問題である。シロクロバによるリビングマルチ栽培では、シロクロバの刈り取り残さがある中でも播種精度の高い不耕起播種機の開発が必要であるが、わが国でもダイズなどを対象とした不耕起播種機が開発されており（唐橋 1990、濱口ら 2004）、これを利用・改良することで実用化は可能と考える。また、ダイズと麦類との同時播種機については、その開発と農家圃場での実証が進められている（小林ら 2008）。今後、リビングマルチ栽培が農業現場に普及することを期待したい。

引用文献

- 1) Angle, J.S.; Gross, C.M.; Hill, R.L.; McIntosh, M. S. 1993. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer applications. *J. Environ. Qual.* 22 : 141-147.
- 2) Araki, H.; Ito, M. 1998. Soil properties and vegetable production with organic mulch and no-tillage system, Japan. *J. Farm Work Research* 34 : 29-37.
- 3) Ateh, C. M.; Doll, J. D. 1996. Spring-planted winter rye (*Secale cereale*) as a living mulch to control weeds in soybean (*Glycine max*). *Weed Technol.* 10 : 347-353.
- 4) Boyd, N.S.; Gordon, R.; Asiedu, S.K.; Martin, R.C. 2000. The effects of living mulches on tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) *Biological Agriculture and Horticulture* 18 : 203-220.
- 5) Brandsaeter, L.O.; Netland, J.; Meadow, R. 1998. Yield, weeds, pests and soil nitrogen in a white cabbage-living mulch system. *Biol. Agric. Hortic.* 16 : 291-309.
- 6) Broadbent, F.E.; Nakashima, T.; Chang, G.Y. 1982. Estimation of nitrogen fixation by isotope dilution in field and greenhouse experiments. *Agron. J.* 74 : 625-628.
- 7) 中條博良, 大門弘幸. 1984. 混作, 間作, 輪作における作物の生長と窒素の動態. 第1報 アカローバとの混作初期におけるイネ科牧草の生長. *日作紀* 53 : 213-221.
- 8) Cooper, R. L. 1971. Influence of early lodging on yield of soybean. *Agron. J.* 63 : 449-450.
- 9) Corak, S.J.; Frye, W.W.; Smith, M.S. 1991. Legume mulch and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 : 1395-1400.
- 10) Costello, M.J. 1994. Broccoli growth, yield and level of aphid infestation in leguminous living mulches. *Biological Agriculture and Horticulture* 10 : 207-222.
- 11) Creamer, N.G.; Bennet, M.A.; Stinner, B.R.; Cardina, J.; Regnier, E.E. 1997. Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. *HortScience* 31 : 410-413.
- 12) DeGregorio, R.E.; Ashley, R.A. 1985. Screening living mulches and cover crops for weed suppression in no-till sweet corn. *Proc. Northeast. Weed Sci. Soc.* 39 : 80-84.
- 13) Deguchi, S.; Uozumi, S.; Tawaraya, K.; Kawamoto, H.; Tanaka, O. 2005. Living mulch with white clover improves phosphorus nutrition of maize of early growth stage. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51 : 573-576.
- 14) Deguchi, S.; Shimazaki, Y.; Uozumi, S.; Tawaraya, K.; Kawamoto, H.; Tanaka, O. 2007. White clover living mulch increases the yield of silage corn via arbuscular mycorrhizal fungus colonization. *Plant Soil* 291 : 291-299.
- 15) DeHaan, R.L.; Wyse, D.L.; Ehlke, N.J.; Maxwell, B.D.; Putnam, D.H. 1994. Simulation of spring-seeded smother plants for weed control in corn (*Zea mays*). *Weed Sci.* 42 : 35-43.
- 16) DeHaan, R.L.; Sheaffer, C.C.; Barnes, D.K. 1997. Effect of annual medic smother plants on weed control and yield in corn. *Agron. J.* 89 : 813-821.
- 17) Eberlein, C.V.; Sheaffer, C.C.; Oliveira, V.F. 1992. Corn growth and yield in an alfalfa living mulch system. *J. Prod. Agric.* 5 : 332-339.
- 18) Echtenkamp, G.W.; Moomaw, R.S. 1989. No-till corn production in a living mulch system. *Weed Technol.* 3 : 261-266.
- 19) 江原 薫. 1971. 栽培学大要. 養賢堂. 東京 : p.258-259.
- 20) Elkins, D.; Frederking, D.; Marashi, R.; McVay, B. 1983. Living mulch for no-till corn and soybeans. *J. Soil Water Conserv.* 38 : 431-433.
- 21) Ellis, D.R.; Guillard, K.; Adams, R.G. 2000. Purslane as a living mulch in broccoli production. *Am. J. Alternative Agric.* 15 : 50-59.
- 22) Fischer, A.; Burrill, L. 1993. Managing interference in a sweet corn-white clover living mulch system. *Am. J. Alternative Agric.* 8 : 51-56.
- 23) Fisk, J.W.; Hesterman, O.B.; Shrestha, A.; Kells, J.J.; Harwood, R.R.; Squire, J.M.; Sheaffer, C.C. 2001. Weed suppression by annual legume cover crops in no-tillage corn. *Agron. J.* 93 : 319-325.
- 24) 藤井義晴. 1990. ヘアリーベッチの他感作用によ

- る雑草の制御－休耕地・耕作放棄地や果樹園への利用. 農業技術 50: 199-204.
- 25) 藤井義晴. 1995. 被覆作物や地被植物による雑草制御－アレロパシーの役割に注目する. 植調 29: 152-159.
- 26) 藤原伸介. 2000. 被覆性マメ科牧草を用いたライブマルチ栽培法. 農業及び園芸 75: 691-699.
- 27) 藤原俊六郎. 1994. 施肥法の原理. 松坂泰明・栗原淳監修, 土壌・植物栄養・環境事典 博友社, 東京. p.300-366.
- 28) Galloway, B.A.; Weston, L.A. 1996. Influence of cover crop and herbicide treatment on weed control and yield in no-till sweet corn (*Zea mays* L.) and pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.). Weed. Tech. 10: 341-346.
- 29) Garibay, S.V.; Stamp, P.; Ammon, H.U.; Feil B. 1997. Yield and quality components of silage maize in killed and live cover crop sods. Eur. j. Agron. 6: 179-190.
- 30) Grubinger, V.P.; Minotti P.L. 1990. Managing white clover living mulch for sweet corn production with partial rototilling. Am. J. Altern. Agric. 5: 4-12.
- 31) 濱口秀生, 中山壮一, 梅本雅. 2004. 汎用型不耕起播種機による大豆不耕起狭畦栽培マニュアル. 中央農研研究資料 5: 1-21.
- 32) Hartwig, N.L.; Ammon, H.U. 2002. Cover crops and living mulches. Weed Sci. 50: 688-699.
- 33) 平島利昭, 能勢 公, 袴田共之, 奥村純一. 1971. 極寒冷地域における放牧草地の維持管理法. 第1報 イネ科牧草に対するシロクロバの窒素移譲. 北海道道立農試集報 23: 44-54.
- 34) Hooks, C.R.R.; Valenzuela, H.R.; Defrank, J. 1998. Incidence of pests and arthropod natural enemies in zucchini grown with living mulches. Agric. Ecosys. Environ. 69: 217-231.
- 35) 堀元栄枝, 荒木 肇, 伊藤一幸, 藤井義晴. 2002. ヘアリーベッチ (*Vicia villosa* Roth) を利用した水田における雑草制御と水稻収量への影響. 雑草研究 47: 168-174.
- 36) 星川清親. 1985. 新編食用作物 訂正第5版. 養賢堂, 東京. p.1-697.
- 37) 井上一博, 宮川英雄, 佐々木和則. 2000. 大麦のマルチ効果を利用した大豆の省力栽培法. 東北農業研究 53: 103-104.
- 38) Jo, J.; Yoshida, S.; Kayama, R. 1981. Influence of soil acidity and applied nitrogen on the growth and chemical compositions of ladino clover and alfalfa. J. Japan Grassl. Sci. 27: 79-84.
- 39) 唐橋 需. 1990. 不耕起播種機. 農業及び園芸 65: 162-168.
- 40) 川島良一. 1965. 大豆の密植多収栽培法. 農業及び園芸 40: 770-774.
- 41) Kobayashi, H.; Miura, S.; Oyanagi, A. 2004. Effects of winter barley as a cover crop on the weed vegetation in a no-tillage soybean. Weed Biol. Manage. 4: 195-205.
- 42) 小林浩幸, 穴戸力雄, 櫻井貴雄, 好野奈美子, 内田智子, 山下伸夫, 酒井真次, 坂上 修, 小柳敦史. 2008. ムギ類をリビングマルチとして利用するダイズ栽培のためのムギ類・ダイズ同時播種機. 雑草研究 53: 63-68.
- 43) Komatsuzaki, M. 2002. New cropping strategy to reduce chemical fertilizer application to silage corn production using subterreanean clover reseeded. Japan. J. of Farm Work Research 37: 1-11.
- 44) 近岡一郎, 大林延夫, 椎名清治. 1982. 緑肥作物等の夏作への導入とキタネグサレセンチュウおよびサツマイモネコブセンチュウの発生動向. 日本線虫研究会誌 11: 19-23.
- 45) 小阪進一, 村山三郎. 1987. 混播草地における草種の競合に関する研究 第12報 刈取り高さの相違が生育, 収量および草種構成におよぼす影響－利用5年間の推移－. 北草研報 21: 105-110.
- 46) Kumwenda, J.D.T.; Radcliffe, D.E.; Bridges, D.C. 1993. Reseeding of crimson clover and corn grain yield in a living mulch system. Soil Sci. Am. J. 57: 517-523.
- 47) 倉井耕一, 木村 守, 遠山明子. 1999. コンニャクの根腐病防除におけるライムギ混作の効果. 栃木農試研報 48: 1-12.
- 48) Liebl, R.; Simmons, W.; Wax, L.M.; Stoller, E.W. 1992. Effect of Rye (*Secale cereale*) mulch on weed control and soil moisture in soybean (*Glycine max*). Weed Technol. 6: 838-846.
- 49) Mallarino, A.P.; Wedin, W.F.; Goyenola, R.S.; Perdomo, C.H.; West, C.P. 1990. Legume species

- and proportion effect on symbiotic dinitrogen fixation in legume-grass mixtures. *Agron. J.* 82 : 785-789.
- 50) Masiunas, J.B.; Eastburn, D.M.; Mwaja, V.N.; Eastman, C.E. 1997 The impact of living and cover crop mulch systems on pests and yields of snap beans and cabbabe. *J. Sustainable Agric.* 9 : 61-89.
- 51) 松尾和之, 窪田哲夫. 1990. 大豆晩播栽培における収穫ロス麦の雑草化による被害とその防除法. *農作業研究* 25 : 236-241.
- 52) McCracken, D.V.; Smith, M.S.; Grove, J.H.; MacKown, C.T.; Blevines, R.L. 1994. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 : 1476-1483.
- 53) McGourty, G. 1994. Cover crops for North Coast vineyards. *Practical Winery and Vineyard* 15 : 8-15.
- 54) 御子柴義郎, 藤澤一郎, 本多健一郎. 1991. 東北地方における畦畔シロクローバのダイズわい化ウイルス保毒実態. *北日本病虫研報* 42 : 31-33.
- 55) Miller S.S.; Eldridge, B.J. 1989. Plant growth regulators suppress established orchard sod and dandelion (*Taraxacum officinale*) population. *Weed Technol.* 3 : 317-321.
- 56) 嶺田拓也, 日鷹一雅, 榎本敬, 沖陽子. 1997. レンゲ草生マルチを活用した不耕起直播水稻作における雑草の発消長. *雑草研究* 42 : 88-96.
- 57) Moore, M.J.; Gillespie, T.J.; Swanton, C.J. 1994. Effect of cover crop mulches on weed emergence, weed biomass, and soybean (*Glycine max*) development. *Weed Technol.* 8 : 512-518.
- 58) 中村英明, 川村寿幸, 岩渕政博. 2001. 秋播き性コムギを用いた大豆の雑草防除法. *雑草研究* 46 : 291-295.
- 59) 中野尚夫, 杉本真一. 1999. 緑肥作物立毛中に不耕起播種した水稻の苗立ち. *日作紀* 68 : 357-363.
- 60) 中野和弘, 荒木肇, 福山利範, 濱田智和. 2003. 画像処理によるムギ類茎葉の地表面遮光能力の評価. *農業情報研究* 12 : 105-112.
- 61) Nicholson, A.G.; Wien, H.C. 1983. Screening turfgrass and clover for use as living mulches in sweet corn and cabbage. *J. Am. Hortic. Sci.* 108 : 1071-1076.
- 62) 西尾道德. 1989. 土壤微生物の基礎知識. 農山漁村文化協会, 東京. p.66-67.
- 63) 野口勝可, 中山兼徳. 1978. 畑作物と雑草の競合に関する研究. 第4報 作物群落内の光環境の时期的推移と除草必要期間の設定. *日作紀* 47 : 381-387.
- 64) 野口勝可. 1986. 畑作物と雑草の光競合に関する生態学的研究. *雑草研究* 31 : 96-101.
- 65) 野口勝可, 森田弘彦. 1997. 除草剤便覧. 農山漁村文化協会, 東京. p.1-461.
- 66) 大段秀記, 大門弘幸. 1998. クロタリヤ属植物の窒素固定量の評価とそのすき込みが後作コムギの窒素吸収に及ぼす影響. *日作紀* 67 : 193-199.
- 67) 大久保隆弘. 1976. 作物輪作技術論. 農山漁村文化協会. 東京 : p.1-291.
- 68) 大久保忠旦. 1984. マメ科飼料作物の共生窒素固定. 大久保忠旦他共著, 飼料作物学. 文永堂, 東京. p.141-152.
- 69) 酒井真次, 長沢次男, 橋本鋼二. 1985. 生産力検定試験からみたダイズの収量変動と気象条件による東北地方の地域的特徴. *日作東北支部報* 28 : 109-111.
- 70) 坂本辰馬, 奥地 進, 円木忠志, 船上和喜. 1965. 温州ミカン園における各種の土壤管理法の10年間の比較. *園学誌* 34 : 277-285.
- 71) 佐藤節郎. 1998. 被覆作物の雑草防除への応用. *植調* 32 : 196-203.
- 72) Sato, S.; Tateno, K.; Kobayashi, R.; Sakamoto K. 1998. Control of spiny amaranth (*Amaranthus spinosus* L.) with italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) living mulch in forage corn (*Zea mays* L.). *J. Weed Sci. Tech.* 43 : 317-327.
- 73) Stott, K.G. 1967. The effects of competition from ground covers on apple vigor and yield. *Proc. Assoc. Appl. Biol.* 3 : 327-330.
- 74) 田渕公清. 1998. ダイズー基礎編ー. 農業技術大系作物編 6, 農山漁村文化協会, 東京. p.111-115.
- 75) 玉田哲男. 1975. ダイズ矮化病に関する研究. *北海道立農試報告* 25 : 1-144.
- 76) Teasdale, J.R.; Daughtry, C.S.T. 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch

- (*Vicia villosa*). Weed Sci. 41 : 207-212.
- 77) 辻 博之, 松尾和之, 山本泰由. 1995. 火山灰土壌における不耕起が畑作物の初期生育に及ぼす影響. 日作紀 64 (別2) : 181-182.
- 78) 辻博之. 2000. 黒ボク土畑における陸稲干害に対する不耕起栽培と深根化による軽減効果. 根の研究 9 : 11-15.
- 79) 辻 博之, 大下泰正, 渡辺治郎, 奥野林太郎. 2005. コムギによるリビングマルチがダイズ生産と雑草抑制に及ぼす影響. 農作業研究 40 : 79-88.
- 80) 魚住順, 出口新, 伏見昭秀. 2004. シロクローバを用いたリビングマルチ栽培における飼料用トウモロコシの播種適期. 東北農研研報 102 : 93-100.
- 81) Wagger, M.G.; Cabrera, M.L.; Ranells, N.N. 1998. Nitrogen and carbon cycling in relation to cover residue quality. Soil and water conservation 53 : 214-218.
- 82) Wagger, M.G. 1989. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till corn. Agron. J. 81 : 533-538.
- 83) 山本泰由. 1995. 作付体系と持続的生産. 研究ジャーナル 18 (10) : 23-30.
- 84) Yano, K.; Daimon, H.; Mimoto, H. 1993. Effect of sunn hemp and peanut incorporated as green manures on growth and nitrogen uptake of the succeeding wheat. Jpn. J. Crop Sci. 63 : 137-143.
- 85) Yoneyama T. 1987. N₂ fixation and natural ¹⁵N abundance of leguminous plants and *Azolla*. Bull. Natl. Inst. Agrobiol. Resour. 3 : 59-87.

Cultivational Studies on Field Crop Production with Living Mulches

Shigenori MIURA

Summary

Living mulches are cover crops planted either before or with a main crop, and are maintained as a living ground cover for all or part of the growing season. The objective of this research is to explore the practicality of employing living mulch systems in Japanese upland agriculture. Especially, weed control efficacy, nitrogen competition between main crops and living mulch plants, and the growth and yield of main crops were investigated in both sweet corn-legume and soybean-winter cereal living mulch systems. The results are summarized as follows.

Sweet corn-legume living mulch system

- 1) To select the most suitable living mulch plant, weed biomass and the growth and yield of sweet corn were examined in a sweet corn-legume living mulch system. Weed growth was effectively suppressed by alfalfa, red clover and white clover without herbicide application. Both the stand rate and yield of sweet corn with white clover as the mulch crop were larger than those of conventional cultivation, but alfalfa reduced the yield of sweet corn. Red clover also reduced the yield of sweet corn. The nitrogen absorption rate of sweet corn increased with its growth, but nitrogen absorption of mulch plants decreased with the growth of sweet corn. These results suggest that white clover is the best of the three legumes for weed control, without reduction of sweet corn yield.
- 2) The relationship between sowing times and sweet corn stand rate was investigated. Stand and yield of sweet corn sowing in May reduced compared to those sown in June. However, stand and yield in transplanted sweet corn were same as conventional regardless of sowing time. Sweet corn stand rates were correlated with the ratio of relative growth rate of sweet corn to relative growth rate of white clover.
- 3) To estimate nitrogen competition between crop and mulch plants, nitrogen flow in the sweet corn-white clover system was compared with that in conventional cultivation. During the sweet corn growing period, the amount of nitrogen supplied from white clover residue to the soil was approx. 11.7 g m^{-2} . Nitrogen uptake by sweet corn was 9.1 g m^{-2} , and by white clover was 7.1 g m^{-2} , 72% of which was from nitrogen fixation. Leached nitrate totaled 2.0 g m^{-2} , which is lower than in conventional cultivation. Tracer examination using ^{15}N showed that 27% of the nitrogen absorbed by sweet corn was from white clover residue. The estimation of nitrogen flow showed that nitrogen removal from soil in the living mulch system was about 2 g m^{-2} smaller than that in conventional cultivation. Sweet corn yields with living mulch were higher than with conventional cultivation when nitrogen fertilizer was applied at lower rates. These results suggest that nitrogen competition between sweet corn and white clover is small, and the amount of nitrogen fertilizer application could be reduced in a sweet corn-white clover living mulch system.

Soybean-winter cereal living mulch system.

- 1) To select the most suitable living mulch plant, weed biomass and the yields of soybean cultivated with 3 kinds of cover crops were examined. Weed growth was effectively suppressed by winter-type six-rowed hulled barley and oats drilled in the soybean inter-row spaces. Soybean yields with drilled barley living mulch was comparable to conventional cultivation using standard seeding, but yields with drilled oats reduced because of lodging in both soybean and oats. Hairy vetch broadcast into the inter-row spaces of soybean covered the ground slowly, resulting in high weed biomass and low soybean yields.
- 2) Because of the initial potential for weed suppression by the winter-type six-rowed hulled barley living mulch system, soybean growth and yields were investigated in detail. Inter-row barley drilled just after soybean seeding in late May emerged 3 days earlier than soybean. Barley grew taller than soybean until late June. The leaves of barley turned to yellow early in July, and died early in August. Weeds were suppressed without the use of herbicides or mechanical tillage. In addition, combination treatment of living mulch and herbicide suppressed weeds more effectively. The dry weight of soybean in the barley mulch system was the same or less than in conventional cultivation in growing period, but soybean yields showed same as conventional. The risk of soybean lodging increased with barley as the living mulch plant.
- 3) Weed control, and soybean growth and yield were investigated with three winter cereals. Six-rowed hulled barley, naked barley and wheat, which have different morphological and physiological characteristics, were used as living mulches. Each winter cereal grew well until the beginning of July. Six-rowed hulled barley and naked barley died off between the end of July and the beginning of August. Wheat lasted growing until the middle to end of August. Weed dry matter in the six-rowed hulled barley system was lower than controls, and was negatively correlated with the multiplied dominance ratio (MDR). Soybean yields in the six-rowed hulled barley mulch system were the highest among the three cereals, but were only 67 to 85% of conventional cultivation yields because of weeds and lodging. Winter-type six-rowed hulled barley was more suitable than naked barley or wheat as a mulch crop because the MDR was higher, die-off was earlier, weed dry matter was lower, and soybean yields were higher in the six-rowed hulled barley living mulch.

In conclusion, this research shows that the sweet corn-white clover and soybean-winter barley living mulch systems showed high weed control efficacy without herbicides without significantly affecting main crop production, in part because nitrogen competition between the main crop and living mulch plants is small. These results may provide an effective contribution to crop and weed management in upland field agriculture in Japan.

