

飼料用トウモロコシ栽培へのリビングマルチ導入による雑草の抑制と窒素肥沃度の向上

著者	魚住 順, 出口 新, 田中 治, 河本 英憲
雑誌名	東北農業研究センター研究報告
巻	106
ページ	15-26
発行年	2006-11-01
URL	http://doi.org/10.24514/00001198

doi: 10.24514/00001198

飼料用トウモロコシ栽培へのリビングマルチ導入による 雑草の抑制と窒素肥沃度の向上

魚住 順^{*1)}・出口 新^{*1)}・田中 治^{*1)}・河本 英憲^{*1)}

抄 録：シロクローバを用いたリビングマルチを飼料用トウモロコシ栽培に導入した場合の雑草への抑制効果と土壌の窒素肥沃度への向上効果を評価するため、2001～2005年に盛岡市の東北農業研究センターにおいて圃場試験を実施した。8月に播種されたシロクローバは9月下旬までには密な被覆を形成し、これは、翌年5月下旬にトウモロコシを不耕起播種するまでの間、播種床に越冬性の雑草が繁茂するのを抑制した。トウモロコシを不耕起播種する直前に刈り払われたシロクローバは、速やかに再生して夏雑草を抑制したが、それによってトウモロコシの生育が阻害されることはなかった。その結果、リビングマルチを導入した無除草栽培のトウモロコシの乾物収量は慣行栽培と差のない1.76～1.79 t/10 aに達した。また、リビングマルチの導入により、トウモロコシおよび後作ライコムギの窒素の吸収量は、リビングマルチを導入しなかった場合と比べ、それぞれ最大で6.1kg/10aおよび4.2kg/10a増加した。以上の結果より、シロクローバを用いたリビングマルチは、飼料用トウモロコシの低投入型栽培に有用な雑草への抑制効果と土壌の窒素肥沃度への向上効果を有すると判断した。

キーワード：シロクローバ、トウモロコシ、無除草剤栽培、ライコムギ、リビングマルチ

Weed Suppression and Nitrogen Supply by White Clover Living Mulch in Forage Corn: Sunao UOZUMI^{*1)}, Shin DEGUCHI^{*1)}, Osamu TANAKA^{*1)} and Hidenori KAWAMOTO^{*1)}

Abstract: Field experiments were conducted from 2001 to 2005 at the National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Japan to evaluate the efficacy of white clover living mulch on weed control and soil nitrogen fertility improvement in no-herbicide silage corn production. A thick sod of white clover, which had been sown in August and established by late September, prevented the dominance of winter annual weeds in the seeding bed of corn until late May when the corn was sod-seeded. The white clover mowed for the sod-seeding of the corn regrew rapidly and suppressed summer weeds without depressing corn growth. Consequently, the no-herbicide living mulch system produced corn yields of 17.6-17.9 t DM ha⁻¹, which did not differ from those from the conventional tillage. The white clover living mulch system improved soil nitrogen fertility, which resulted in higher N uptakes of corn and the succeeding crop of triticale by up to 61 and 42kgNha⁻¹, respectively, than those from the non-living-mulch system. The results suggest that the white clover living mulch system has the potential to control weeds and improve soil fertility, both of which can be useful for the low-input production of silage corn.

Key Words: Corn, Living mulch, No-herbicide cultivation, Triticale, White clover

緒 言

2005年10月に改正 J A S が制定され、新たに日本型有機畜産の具体像が示された。今後、乳肉についても有機生産への取り組みが本格化すると予想されるが、そのためにはまず、基幹飼料であるトウモロ

コシを無農薬で栽培する技術が必要である。リビングマルチとは、雑草の抑制 (Echtenkamp・Moomaw 1989)、土壌浸食や農薬流亡の抑制 (Elkins et al. 1983, Fischer・Burrill 1993, Grubinger・Minotti 1990, Hall et al. 1984, Wall et al. 1991)、化学肥料の節減 (Grubinger・Minotti

* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan)

2005年11月9日受付, 2006年5月8日受理

1990, Kumwenda et al. 1993), 土壌の物理性の改善 (Nicholson・Wien 1983) などのため, 主作物の畦間に生育させる被覆植生のことである (Fischer・Burrill 1993)。リビングマルチは, 省力化技術である不耕起栽培を補完する目的で導入されることが多いため, 主作物と被覆作物との競合の制御には, 省力性を損なわない除草剤の利用が一般的であるが (Blevins et al. 1990, Decker et al. 1994, Ebelhar et al. 1984, Echtenkamp・Moomaw 1989, Elkins et al. 1983, Fischer・Burrill 1993, Hargrove 1986, Kumwenda et al. 1993, Michell・Teel 1977, Moschler et al. 1967, Munawar et al. 1990, Nicholson・Wien 1983), 国内では, これを耕種的に行うことにより, その雑草への抑制効果を減農薬・無農薬栽培に応用しようとする試みがなされている (Araki・Ito 1999, 藤原・吉田 2000, 三浦・渡邊 2002, 細谷・米本 2003, 高橋ら 2003, 高橋ら 2004)。著者らは, シロクローバを用いたリビングマルチを飼料用トウモロコシの無農薬栽培に応用するための研究を実施しており, 前報 (魚住ら 2004) では, 8月に播種したシロクローバを翌年5月下旬に刈払った後にトウモロコシを播種すれば, 除草剤を用いることなくトウモロコシとシロクローバの競合を制御できることを報告した。この報告ではさらに, リビングマルチの導入により雑草が減少したことや, 低い窒素 (N) 施肥水準でも多収が得られたことを示したが, リビ

ングマルチの雑草への抑制効果や土壌のN肥沃度への向上効果を十分に立証するには至らなかった。また, 被覆作物として用いたシロクローバは飼料価値が高いことから, リビングマルチ栽培の副産物としてこれを採草利用することが想定できるが, 刈り払った残渣の除去が雑草の発生やN肥沃度に及ぼす影響は明らかになっていない。以上のような観点から本試験では, 前報においてトウモロコシとシロクローバの競合を制御するうえで有望と判断した「シロクローバ8月播種」+「トウモロコシ5月下旬播種」体系におけるリビングマルチの雑草への抑制効果と土壌のN肥沃度への向上効果を評価するとともに, シロクローバの刈り払い残渣の除去がこれらの効果に及ぼす影響を検討した。

本論文の作成にあたり, 須山哲男畜産草地部長に御校閲の労を賜った。ここに厚くお礼申し上げる。

材料と方法

試験は2001年～2005年に盛岡市の東北農業研究センターの畑圃場 (多湿黒ぼく土) において実施した。圃場は1999年7月から2001年6月まで永年生牧草を採草しながら均一栽培し, 2001年7月に除草剤 (グリホサート) で枯殺したあと, ブラウ耕起とロータリ耕起を行って8月から本試験に供試した。

処理区の構成と施肥量を表1に示した。トウモロコシの播種床処理として, リビングマルチ区, 不耕起区および耕起区の3区を設定し, さらに, リビン

表1 試験区の構成と各区の施肥量

処理区No.	処 理 播種床処理	理			全処理区共通の施肥量 (kg/10a)		
		シロクローバの 刈り払い残渣の 除去の有無	除草の有無	トウモロコシ へのN施用量 (kg/10a)	シロクローバ 播種時	トウモロコシ 播種時	
					苦土石灰	P ₂ O ₅	K ₂ O
1 (LM基本型)	リビングマルチ	放置	無除草	0	150	20	20
2	リビングマルチ	除去	無除草	0	150	20	20
3	リビングマルチ	放置	除草	0	150	20	20
4	リビングマルチ	除去	除草	0	150	20	20
5	不耕起	—	無除草	0	150	20	20
6	不耕起	—	無除草	20	150	20	20
7	不耕起	—	除草	0	150	20	20
8	不耕起	—	除草	20	150	20	20
9	耕起	—	無除草	0	150	20	20
10	耕起	—	無除草	20	150	20	20
11	耕起	—	除草	0	150	20	20
12 (慣行栽培型)	耕起	—	除草	20	150	20	20

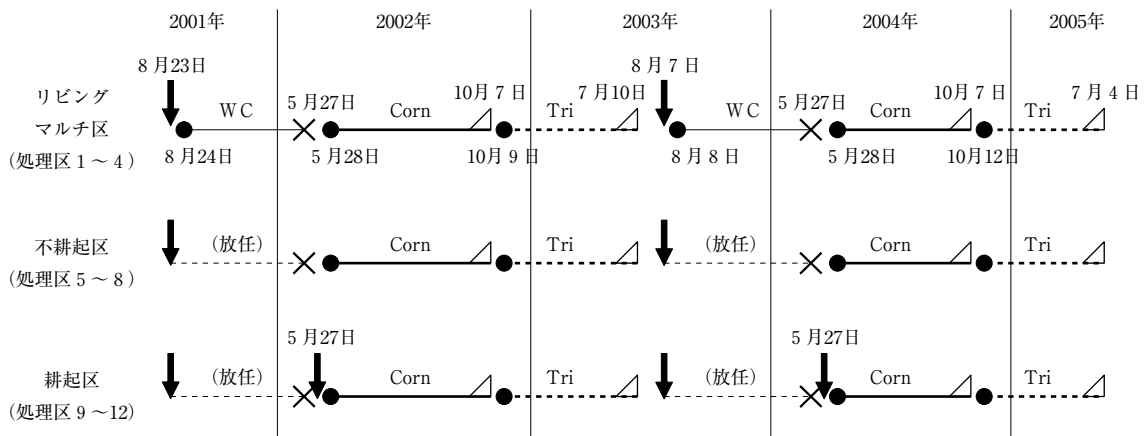


図1 各処理区の作付体系

WC：シロクローバ, Corn：トウモロコシ, Tri：ライコムギ
 ↓：耕起, ●：播種, ×：刈り払い, △：収穫

グマルチ区には、シロクローバの刈り払い残渣の除去の有無と除草の有無を組み合わせた4区を、不耕起区と耕起区には、除草の有無とトウモロコシへのN施用の有無を組み合わせた4区を設定した。以下、処理区の呼称は表1に示す処理区No.を用いる。ただしリビングマルチ区のうち、処理区1、すなわちシロクローバの刈り払い残渣を圃場に放置し、無除草・無Nで栽培した処理区をリビングマルチの基本型と位置づけ、特に「LM基本型」と呼称する。また、耕起区のうち、処理区12、すなわち除草して標準的な20kg/10aのN施肥を行った処理区を慣行栽培を想定した区と位置づけ、特に「慣行栽培型」と呼称する。1区面積は13.5㎡(4.5m×3m)とし、4反復の乱塊法に従い配置した。

各区の栽培体系を図1に示した。2001年8月23日に供試圃場全面に苦土石灰150kg/10aとP₂O₅ 50kg/10a(過リン酸石灰で30kg/10a, 熔リンで20kg/10a)を施用して耕深10cmでロータリ耕起し、翌8月24日に、リビングマルチ区のみシロクローバ(品種：フィア)2kg/10aを散播したのち全処理区を鎮圧した。越冬後の2002年5月27日にはシロクローバの現存量を調査した。各区とも試験区中央の地上部1㎡を地際から刈り取って、その生重を秤量して現存量とした。秤量したサンプルは、約500gを乾物率算出用サンプルとして縮分・採取したのち残りを試験地に戻した。現存量を調査した後、すべての不耕起区、すべての耕起区、およびリビングマルチ区のうち残渣を放置するLM基本型と処理区3の雑

草とシロクローバを自走式フレールモア(刈り取り高さ約5cm)で刈り払い・細切した。一方、リビングマルチ区のうち残渣を除去する処理区2と処理区4については自走式ロータリモア(刈り取り高さ約5cm)でシロクローバを刈り払った後、人力で残渣を圃場から除去した。その後、耕起区のみを耕深10cmでロータリ耕起したのち、全処理区共通にK₂O 20kg/10a(塩化カリウム使用)を、また、Nを施用する処理区6, 8, 10, 12にN20kg/10a(硫酸使用)を、いずれも全面に表面施用した。

上記処理の翌日の2002年5月28日にトウモロコシ(品種：33G26, RM118日)を播種した。全処理区共通に、不耕起播種機(みのる産業製PFK-2J)を用いて畦幅75cm, 播種量約10000粒/10aで播種し、播種後25日目に間引きにより6,500本/10aに調整した。生育期間中、除草区は適宜手取りで除草し、無除草区は放任した。トウモロコシの収量調査は、黄熟中期に達した2002年10月7日に行った。試験区中央の4畦(3.0m)×2.0mを地上10cmで刈り取り、雌穂の包葉を含む茎葉部と、子実部とに分けて生重を秤量した。茎葉部は、秤量した全量を2cm程度に細切し、乾物率算出用サンプルとして約1kgを縮分・採取した。子実部は、秤量したサンプルから生育中庸なものを15本採取して乾物率算出用サンプルとした。トウモロコシ収穫時の雑草の現存量は、試験区中央の4畦に挟まれる3畦間(2.25m)×2mの雑草を地際から刈り取り、イネ科雑草と広葉雑草に類別し、その生重を秤量して求めた。さらに、

秤量した全量を2 cm程度に細切し、約1 kgを乾物率算出用サンプルとして縮分・採取した。

トウモロコシ収穫後の2002年10月9日には、夏作に導入したりビングマルチの冬作へのNの残効を調査するために、ライコムギ(品種:ライダックス)を無施肥で播種した。全処理区共通に、トウモロコシの刈り株の畦間75cmの間に、不耕起播種機(みのる産業製PFK-2J)を用いて、幅30cmで2条ずつ約10kg/10aを播種した。ライコムギの栽培期間中は、全処理区を適宜手取りで除草した。収量調査は、糊熟期に達した2003年7月10日に行った。試験区中央の6畦(2.25m)×2mを地上5cmで刈り取り、生重を秤量した後その全量を2 cm程度に細切し、乾物率算出用サンプルとして約1 kgを縮分・採取した。

以後、2003年8月7日から2005年7月4日まで、上記とほぼ同じ播種期と栽培法で、シロクローバ、トウモロコシ、ライコムギの順で栽培し、同様の調査を行った。ただし、トウモロコシの不耕起播種にはJhon shearer社製NM9500を用い、ライコムギには基肥としてN、P₂O₅、K₂O各5、7、5 kg/10a

(化成肥料15-20-15使用)を播種直後に全区共通に全面に表面施用した。

シロクローバ、トウモロコシおよびライコムギのいずれについても、乾物率は、サンプルを70℃で5日間以上乾燥することにより算出した。また、2004年以降に現存量や収量を調査した作物は、乾燥した乾物率算出用サンプルの全量を1 mm目で粉碎し、ケルダール法によりN含有率を測定した。

結 果

1. トウモロコシ播種までのシロクローバと雑草の生育状況

リビングマルチ区では、2001年～2002年、2003年～2004年のいずれにおいても、シロクローバの定着直後からトウモロコシの播種日まで、ほぼシロクローバ単一の植生が維持された。表2にはリビングマルチ区におけるトウモロコシ播種時のシロクローバの乾物現存量と地上部の総N量を示した。乾物現存量の平均値は2002年が375kg/10a、2004年が301kg/10aであった。また、2004年における地上部の総N量の平均値は13.6kg/10aであった。

表2 トウモロコシの播種時におけるシロクローバの乾物現存量と地上部の総N量(リビングマルチ区)

処理区No.	処 理 播種床処理	処 理			乾物現存量 (kg/10a)		地上部の 総N量 (kg/10a)
		シロクローバの 刈り払い残渣の 除去の有無	除草の有無	トウモロコシ へのN施用量 (kg/10a)	2002年	2004年	2004年
1 (LM基本型)	リビングマルチ	放置	無除草	0	360	315	13.9
2	リビングマルチ	除去	無除草	0	385	295	13.5
3	リビングマルチ	放置	除草	0	381	290	13.1
4	リビングマルチ	除去	除草	0	375	303	13.7
		平	均		375	301	13.6

表3 トウモロコシ収穫時の雑草の乾物現存量(無除草区)

処理区No.	処 理 播種床処理	処 理			2002年			2004年		
		シロクローバ 刈り払い残渣 の除去の有無	トウモロコシ へのN施用量 (kg/10a)	乾 物 現存量 (kg/10a)	イネ科雑 草の割合 (%)	広葉雑草 の割合 (%)	乾 物 現存量 (kg/10a)	イネ科雑 草の割合 (%)	広葉雑草 の割合 (%)	
1 (LM基本型)	リビングマルチ	放置	無除草	0	14 b	100	0	42 d	72	28
2	リビングマルチ	除去	無除草	0	15 b	100	0	167 c	94	6
5	不耕起	-	無除草	0	279 a	59	41	198 c	51	49
6	不耕起	-	無除草	20	302 a	38	62	352 ab	13	87
9	耕起	-	無除草	0	275 a	100	0	288 bc	83	17
10	耕起	-	無除草	20	269 a	83	17	430 a	68	32

注. 同一文字を付さなかった処理区間には有意差有り (Tukeyの方法による, P ≤ 0.05)。

不耕起区と耕起区では、早春からハコベ、ノボロギク、スカシタゴボウ、ヒメムカシヨモギなどの越年性の雑草が優占し、トウモロコシの播種時には雑草の植被率が100%に達していた。

2. トウモロコシ播種後のシロクローバと雑草の発生状況

表3には、無除草区におけるトウモロコシ収穫時の雑草の乾物現存量を示した。

LM基本型では、トウモロコシの播種後も雑草の発生はほとんどみられず(図2, 3), 収穫時の雑草の乾物現存量は2002年が14kg/10a, 2004年が42kg/10aときわめて少なかった。なお、シロクローバは8月下旬までにはトウモロコシに被陰されて枯死したため(図4), リビングマルチ区の雑草の現存量にシロクローバが含まれることはなかった。

残渣を除去した処理区2についてもシロクローバの生育状況はLM基本型と差がなかったが, 2004年にはイヌビエを主体とするイネ科の夏雑草がLM基本型より多くみられ, 同年における処理区2の雑草の乾物現存量は, LM基本型より有意に多い167kg/10aとなった。

不耕起区(処理区5, 6)では, 刈り払い前に優占していた越年性の雑草がトウモロコシの播種後, 旺盛に再生して一時的に優占した。これらの雑草は7月以降徐々に衰退したが, 代わりにシロザ, アオビユ, イヌビエなどの夏雑草の優占度が高まり, 8月以降はこれらの夏雑草が繁茂する植生へと移行した。その結果, 不耕起区の収穫時の雑草の乾物現存量は, 無N区で198~279kg/10a, 有N区で302~352kg/10aと, いずれもLM基本型より著しく多くなった。

耕起区(処理区9, 10)では初期生育時から収穫時まで, イヌビエやメヒシバなどのイネ科の夏雑草が優占する植生が維持された結果, 乾物現存量に占めるイネ科雑草の割合は不耕起区より多くなった。ただし, 乾物現存量そのものは不耕起区と大差がなく, 不耕起区と同様に, 試験年次や施肥量にかかわらずLM基本型より有意に多かった。

3. トウモロコシの乾物収量

トウモロコシの乾物収量と子実割合を表4に示した。LM基本型の乾物収量は2002年が1757kg/10a, 2004年が1792kg/10aとなり, これらは慣行栽培型における2002年の1601kg/10aや2004年の1904kg/10aと有意な差はなかった。また, 飼料価値に影響する



図2 トウモロコシの生育初期(2002年6月20日)におけるLM基本型と処理区10の雑草の発生状況の違い



図3 トウモロコシの生育中期(2002年7月18日)におけるLM基本型と処理区10(耕起・無除草)の雑草の発生状況の違い



図4 トウモロコシの収穫直前(2002年10月5日)におけるリビングマルチの状況

子実割合についても, LM基本型が55.2~56.8%, 慣行栽培型が54.1~57.8%と, 両者の間に明確な差は認められなかった。

リビングマルチ区内で比較すると, 2002年, 2004年ともに, 残渣を除去した処理区2の乾物収量は, 残渣を放置したLM基本型より低く, 2004年にはそ

の差が有意となった。残渣の除去に伴う乾物収量の低下は、除草して雑草の影響を取り除いてある処理区3と処理区4の比較においても認められたが、その程度は上記の無除草の場合より小さかった。

リビングマルチを導入しなかった処理区5～12についてみると、乾物収量、子実割合ともに、総じて無除草区は除草区より低く、無N区は有N区より低かった。表5には、処理区5～12の乾物収量と子実割合について、「不耕起と耕起」、「無除草と除草」および「無Nと有N」を変動因とした3因子の分散分析の結果を示した。また、表6には主効果が有意となった変動因について、水準別の平均値を示した。「不耕起と耕起」の主効果は、乾物収量、子実割

合のいずれに対しても年次にかかわらず有意ではなかった。「無除草と除草」の主効果は、2002年の乾物収量、および2004年の乾物収量と子実割合に対して有意となった。水準別の平均値(表6)は、2002年の乾物収量については無除草が除草より544kg/10a低く、2004年の乾物収量と子実割合についてはそれぞれ無除草が除草より1072kg/10aおよび5.5ポイント低かった。「無Nと有N」の主効果は2004年の乾物収量と子実割合に対して有意となった。水準別の平均値(表6)は、乾物収量については無Nが有Nより458kg/10a低く、子実割合については無Nが有Nより4.5ポイント低かった。交互作用は、両年ともすべての組合せで有意ではなかった。

表4 トウモロコシの乾物収量と子実割合

処理区No.	処 理 播種床処理	処 理			2002年		2004年	
		シロクローバ 刈り払い残渣 の除去の有無	除草の有無	トウモロコシ へのN施用量 (kg/10a)	乾物収量 (kg/10a)	子実割合 (%)	乾物収量 (kg/10a)	子実割合 (%)
1 (LM基本型)	リビングマルチ	放置	無除草	0	1757 a	56.8	1792 abc	55.2 ab
2	リビングマルチ	除去	無除草	0	1597 abc	58.9	1143 ef	52.9 ab
3	リビングマルチ	放置	除草	0	1751 a	60.0	1841 abc	55.8 a
4	リビングマルチ	除去	除草	0	1657 ab	59.9	1427 de	53.9 ab
5	不耕起	—	無除草	0	1102 bc	55.7	342 g	44.7 d
6	不耕起	—	無除草	20	1096 bc	55.0	982 f	50.1 ab
7	不耕起	—	除草	0	1698 a	57.6	1466 cde	50.9 abc
8	不耕起	—	除草	20	1732 a	56.7	1940 a	55.5 ab
9	耕起	—	無除草	0	1007 c	58.5	443 g	44.8 d
10	耕起	—	無除草	20	1226 abc	57.3	777 fg	52.2 abc
11	耕起	—	除草	0	1578 abc	57.0	1523 abcde	52.2 abc
12 (慣行栽培型)	耕起	—	除草	20	1601 ab	57.8	1904 ab	54.1 ab

注. 同一文字を付さなかった処理区間には有意差有り (Tukeyの方法による, $P < 0.05$)。

表5 乾物収量および子実割合の分散分析によるF値 (リビングマルチ区を除く)

変動因	2002年				2004年			
	乾物収量		子実割合		乾物収量		子実割合	
	自由度	F値	自由度	F値	自由度	F値	自由度	F値
主効果								
不耕起と耕起 (A)	1	0.3 n.s.	1	3.6 n.s.	1	0.1 n.s.	1	0.1 n.s.
無除草と除草 (B)	1	33.4***	1	0.8 n.s.	1	271.3***	1	36.6***
無Nと有N (C)	1	0.5 n.s.	1	0.4 n.s.	1	49.3***	1	25.4***
2 因子交互作用								
A × B	1	0.6 n.s.	1	2.5 n.s.	1	0.2 n.s.	1	0.1 n.s.
B × C	1	0.2 n.s.	1	0.3 n.s.	1	0.2 n.s.	1	1.8 n.s.
A × C	1	0.3 n.s.	1	0.2 n.s.	1	2.3 n.s.	1	0.1 n.s.
3 因子交互作用								
A × B × C	1	1.5 n.s.	1	3.5 n.s.	1	3.4 n.s.	1	3.3 n.s.

注. ***: 0.1%水準で有意差あり。

表6 主効果が有意となった変動因内の水準別の平均値

変動因	水準	2002年		2004年	
		乾物収量 (kg/10a)	子実割合 (%)	乾物収量 (kg/10a)	子実割合 (%)
無除草 と除草	無除草(A)	1108	-	636	47.6
	除草(B)	1652	-	1708	53.1
	A-B	-544	-	-1072	-5.5
無Nと 有N	無N(C)	-	-	943	48.1
	有N(D)	-	-	1401	52.6
	C-D	-	-	-458	-4.5

4. ライコムギの乾物収量

表7にライコムギの乾物収量を示した。2003年の乾物収量には明確な処理区間差がなかったが、2005年の乾物収量は、不耕起区や耕起区がリビングマルチ区より低くなる傾向がみられた。特に、トウモロコシを除草して無Nで栽培した処理区7と処理区11で低収となり、両処理区の乾物収量はリビングマルチ区のすべての処理区より有意に低かった。

5. トウモロコシとライコムギの地上部の総N量

表8には、2004年収穫のトウモロコシと2005年収穫のライコムギの地上部の総N量を示した。

表7 ライコムギの乾物収量

処理区No.	トウモロコシに対する処理				乾物収量 (kg/10a)	
	トウモロコシ の播種床処理	シロクロバの 刈り払い残渣の 除去の有無	トウモロコシ への除草の有 無	トウモロコシ へのN施用量 (kg/10a)	2003年	2005年
	1 (LM基本型)	リビングマルチ	放置	無除草	0	786 a
2	リビングマルチ	除去	無除草	0	719 a	964 abc
3	リビングマルチ	放置	除草	0	680 a	1068 a
4	リビングマルチ	除去	除草	0	792 a	993 abc
5	不耕起	-	無除草	0	769 a	770 bcd
6	不耕起	-	無除草	20	730 a	901 abcd
7	不耕起	-	除草	0	636 a	526 e
8	不耕起	-	除草	20	640 a	731 cd
9	耕起	-	無除草	0	713 a	831 abcd
10	耕起	-	無除草	20	508 a	923 abcd
11	耕起	-	除草	0	810 a	692 d
12 (慣行栽培型)	耕起	-	除草	20	756 a	841 abcd

注. 同一文字を付さなかった処理区間には有意差有り (Tukeyの方法による, $P < 0.05$)。

表8 2005年収穫トウモロコシと2006年収穫ライコムギの地上部の総N量

処理区No.	トウモロコシに対する処理				地上部の総N量	
	トウモロコシ の播種床処理	シロクロバの 刈り払い残渣の 除去の有無	トウモロコシ への除草の有 無	トウモロコシ へのN施用量 (kg/10a)	2003年 トウモロコシ (kg/10a)	2005年 ライコムギ (kg/10a)
	1 (LM基本型)	リビングマルチ	放置	無除草	0	16.9 ab
2	リビングマルチ	除去	無除草	0	10.2 cd	6.2 abc
3	リビングマルチ	放置	除草	0	17.9 a	7.7 a
4	リビングマルチ	除去	除草	0	13.8 bc	6.5 abc
5	不耕起栽培	-	無除草	0	3.0 f	5.2 bcd
6	不耕起栽培	-	無除草	20	7.7 de	6.0 abc
7	不耕起栽培	-	除草	0	11.8 c	3.5 d
8	不耕起栽培	-	除草	20	18.7 a	4.9 bcd
9	耕起	-	無除草	0	3.9 ef	5.9 abc
10	耕起	-	無除草	20	6.6 de	5.9 abc
11	耕起栽培	-	除草	0	12.5 c	4.7 cd
12 (慣行栽培型)	耕起栽培	-	除草	20	18.1 a	5.4 abc

注. 同一文字を付さなかった処理区間には有意差有り (Tukeyの方法による, $P < 0.05$)。

「リビングマルチ」と「除草」を共通処理とする処理区3と処理区4の総N量を比較すると、トウモロコシ、ライコムギともに残渣を除去した処理区4が、残渣を放置した処理区3よりも低く、トウモロコシではその差は有意となった。残渣の除去に伴う総N量の減少量は、処理区3と処理区4の差から、トウモロコシでは4.1kg/10a、ライコムギでは1.2kg/10aであった。

「除草」と「無N」を共通処理とする処理区3, 7, 11の総N量を相互に比較すると、トウモロコシとライコムギのいずれも、リビングマルチを導入した処理区3が、リビングマルチを導入しなかった処理区7, 11より有意に高かった。リビングマルチの導入による総N量の増加量は、処理区3と処理区7の差および処理区3と処理区11の差から、トウモロコシでは5.4~6.1kg/10a、ライコムギでは30.~4.2kg/10aであった。

考 察

1. リビングマルチによる雑草への抑制効果

本試験の供試圃場が、雑草対策なしには十分な収量を得られない圃場であることは、不耕起区と耕起区における無除草処理により、多くの雑草が発生し(表3)、トウモロコシの乾物収量が著しく低下したこと(表4, 5, 6)から明らかである。このような圃場で同じく無除草で栽培したLM基本型で雑草の量がきわめて少なく(表3)、収量性も慣行栽培型並であったことから(表4)、シロクローバを用いたリビングマルチが雑草を強く抑制することが確認できた。シロクローバを被覆作物としたリビングマルチの雑草への抑制効果は、(三浦・渡邊 2002)のスイートコーン栽培、(高橋ら 2003, 2004)のアルファルファ栽培、(魚住ら 2000)のソルガム栽培においても報告されており、その雑草への抑制効果は、作物の無農薬栽培に利用しうる高い水準にあると考える。

(高橋ら 2003)は、確立したシロクローバの被覆植生が雑草の発芽を強く抑制したことを報告している。一方、(Abdin et al. 1998)と(細谷・米本 2003)は、マメ科の被覆作物が、その幼植物期に発芽した雑草に対してほとんど抑制効果を持たなかったことを報告し、また(Asai et al. 1995)は、越年性の雑草の発芽盛期に播種したシロクローバは、それより前に播種したものと比べて雑草への抑制効果が顕

しく劣ったことを報告している。これらの報告は、リビングマルチの雑草への抑制効果が、雑草の光発芽の抑制に強く依存することを示唆している。本試験において、一時的な遮光の解除を伴うシロクローバ残渣の除去が、シロクローバの生育に影響しなかったにもかかわらず、雑草の乾物現存量を増加させたことは(表3)、この推察を支持する結果と考える。

2. リビングマルチによる土壌のN肥沃度への向上効果

リビングマルチを導入しなかった不耕起区と耕起区では、Nを施用せずに栽培したことにより2004年のトウモロコシの乾物収量が著しく低下した(表4, 5, 6)。一方LM基本型では、同じくNを施用しなかったにもかかわらず、20kg/10aのNを施用した慣行栽培型と同等の乾物収量が得られた(表4)。これらのことから、シロクローバを用いたリビングマルチがトウモロコシ栽培時の土壌のN肥沃度を向上させることが確認できた。

本試験における2004年のシロクローバの地上部の総N量は平均13.6kg/10aであった(表2)。一方、このNを含む地上部を圃場から除去したことで、トウモロコシの総N量は4.1kg/10a減少した(表8, 処理区3-処理区4)。これらの関係から、2004年における残渣中のNの利用率は30%程度であったと推定できる。

ヘアリーベッチは主作物へのN供給能にすぐれる被覆作物として高く評価されているが(Blevins et al. 1990, Corak et al. 1991, Decker et al. 1994, Ebelhar et al. 1984, Hargrove 1986, McVay et al. 1989, Power・Zachariassen 1993, Stute・Posner 1995, Varco et al. 1989, Wagger 1989)、その地上部の総N量は(Corak et al. 1991)により9.1kg/ha、(Blevins et al. 1990)により10.3kg/10a、(McVay et al. 1989)により9.8~15.5kg/10a、(Hargrove 1986)により12.0~18.8kg/10a、(Ebelhar et al. 1984)により20.9kg/10a、(Decker et al. 1994)により9.3~20.6kg/10aであったことが、また、被覆中のNのトウモロコシへの利用率は(Varco et al. 1989)により20~32%、(Wagger 1989)により30%であったことが報告されており、これらの値は本試験で示されたシロクローバの総N量である13.6kg/10aやその推定利用率である30%と大きな差はない。シロクローバのN供給能に関する報告は少ないが、前報(魚住ら 2004)

におけるシロクローバの乾物現存量が本試験を上回る430kg/10aに達していたことや、(三浦ら 2002)がシロクローバ被覆のNの約22~35%が主作物であるスイートコーンに移行すると推定したことなどを併せみると、シロクローバは、見かけ上の土壌へのNの還元量と、そのトウモロコシによる利用率に関して、ヘアリーベッチと概ね同等の能力を有すると考える。

リビングマルチによって節減できるNの量を把握するには、(Blevins et al. 1990)や(Decker et al. 1994)などの報告のように、多様なN施肥水準を設定して、代替可能な施肥Nの量を決定する必要がある。本試験はこれに対応できていないが、得られた結果から、代替可能な施肥Nの量をだまかにでも推定しておくことは、当面の施肥設計を立案するうえで有用と考える。

(三浦ら 2004)は、シロクローバを用いたスイートコーンのリビングマルチ栽培において、播種時のシロクローバ被覆の全Nの72%が固定N由来であったことを報告している。また、(Power・Zachariassen 1993)は、地温10℃においてシロクローバの全Nの約60%が固定Nに由来したことを報告している。これらに基づき、本試験におけるシロクローバ地上部のNに占める固定Nの割合を60~72%と仮定すると、2004年の総N量13.6kg/10aのうち(表2)、8~10kg/10aが固定Nとして圃場外から付加されたことになる。

一方、リビングマルチの導入により増加したトウモロコシの総N量は、リビングマルチを導入した処理区3と、導入しなかった処理区7、11との差から5.4~6.1kg/10aと示された(表8)。トウモロコシによる施肥Nの利用率については、(Hesterman et al. 1987)が硫安で50%、(Pang et al. 1997)が尿素で40~60%、(伊藤ら 2001)が被覆尿素で53%であったことを報告している。これらに基づき、施肥Nの利用率を50%と仮定して、トウモロコシの総N量を上記の5.4~6.1kg/10a増加させるのに必要な施肥Nの量を推定すると11~12kg/10aとなる。

以上のように、シロクローバの地上部の総N量からは8~10kg/10aの節減が、また、トウモロコシの総N量の変動からは11~12kg/10aの節減が可能と推定できる。両者は整合しないが、前者の8~10kg/10aの節減量には、越冬やトウモロコシとの競合過程で枯死した残渣や地下部のNが加味されて

いないことから、この違いに大きな矛盾はないと考える。シロクローバとほぼ同量のNを含むヘアリーベッチ被覆をトウモロコシ栽培に導入した場合の施肥Nの節減可能量については、(Blevins et al. 1990)により7.5kg/10a、(McVay et al. 1989)により9.9kg/10a、(Ebelhar et al. 1984)により9~10kg/10a、(Decker・McIntosh 1994)により13.5kg/10aと推定されている。これら既往の知見と上記の本試験の結果とを併せみて、シロクローバを用いたリビングマルチ栽培におけるNの節減量は10kg/10a程度と考える。

3. リビングマルチ栽培後の残存Nの後作ライコムギによる吸収

リビングマルチの導入は、トウモロコシだけでなく後作ライコムギの総N量も増加させ、その増加量は、夏作にリビングマルチを導入した処理区3と導入しなかった処理区7、11との差から3.0~4.2kg/10aと示された(表8)。ライコムギの施肥Nの利用率に関する報告はなく、節減可能な施肥Nの量を推定するのは難しいが、少なくとも総N量の増加量に相当する3.0~4.2kg/10a程度の節減は期待できると考える。

(Stute・Posner 1990)と(Wilson・Hargrove 1986)は、枯死したマメ科被覆のNの60%は10週目までに無機化するが、残りの40%のNの放出はきわめて緩効的であることを報告している。上記のライコムギの総N量の増加には、このような緩効的なNの放出が貢献したと考えられる。被覆作物による緩効的、長期的な土壌肥沃度への影響はこれまでほとんど検討されていないが、本試験の上記ライコムギの結果により、その解明の重要性が提起されたと考える。

4. トウモロコシの収量性へのリビングマルチの影響

トウモロコシの乾物収量と子実割合に対する「不耕起と耕起」の主効果が有意でなかったことから(表5)、リビングマルチ栽培が不耕起栽培であることは、その収量性にほとんど関与しなかったと判断でき、LM基本型の多収性の大部分はリビングマルチが有する雑草への抑制効果と土壌のN肥沃度への向上効果で説明できると考える。しかし、マメ科の被覆作物の有益な効果はこれらだけでなく、土壌団粒の発達や透水性の改善(McVay et al. 1989)、耕土の流亡抑制(Wall et al. 1991)、土壌水分の保持

(Moschler et al. 1967), 主作物のリン酸吸収の改善 (Deguchi et al. 2005), 虫害の低減 (Lambert et al. 1987) なども報告されている。また逆に, 被覆作物の導入が地温の低下や水分の競合をもたらす, トウモロコシの収量が低下したとする報告もある (Abdin et al. 1998, Blevins and Frye 1993, Corak et al. 1991)。リビングマルチがN肥沃度を向上させることは, 本試験の結果から明白であるが, LMの高い収量性に, 上記報告にある種々の効果が潜在的, 複合的に関与した可能性は否定できない。リビングマルチによるN肥沃度の向上が収量性に及ぼす影響を正確に, かつ量的に把握するには, さらに詳細なN施肥試験の実施が不可欠と考える。

5. シロクローバの採草利用

(Michell・Teel 1977) は, エンバクとヘアリーベッチを混播した被覆植生のNの約90%が地上部に存在することを報告している。また, (Moschler et al. 1967) は, ライムギをリビングマルチとしたトウモロコシ栽培において, トウモロコシの播種前にライムギを刈り取って利用すると, トウモロコシの収量が低下したことを報告している。さらに本試験では, 被覆作物であるシロクローバを刈り払い後に除去すると雑草が増加し (表3), トウモロコシの総N量も低下すること (表8) が示された。これらの結果から, 被覆作物の採草利用は基本的には避けるべきと考える。ただし, リビングマルチを東北北部に導入すればトウモロコシが2年1作となることから (魚住ら 2004), その減収への対策として, トウモロコシへの施肥Nを増加するなどの手法で被覆作物の採草利用を可能とする技術については, 今後も継続して検討すべきと考える。

引用文献

- 1) Abdin, O.; Coulman, B. E.; Cloutier, D.; Faris, M. A. Zhou, X.; Smith D. L. 1998. Yield and yield components of corn interseeded with cover crops. *Agronomy Journal* 90 : 63-68.
- 2) Araki, H.; Ito, M. 1999. Soil properties and vegetable production with organic mulch and no-tillage system. *Japanese Journal of Farm Work Research* 98 : 29-37.
- 3) Asai, M.; Ito, M.; Kusanagi, T. 1995. Effects of seeding methods and mowing on the establishment of white clover (*Trifolium repens* L.) cover for weed suppression. *Weed Research* 40 : 20-28.
- 4) Blevins, R. L.; Herbek, J. H.; Frye, W. W. 1990. Legume cover crops as a nitrogen source for no-till corn and grain sorghum. *Agronomy Journal* 82 : 769-772.
- 5) Blevins, R. L., Frye, W. W. 1993. Conservation tillage: An ecological approach to soil management. *Advances in Agronomy* 51 : 33-78.
- 6) Corak, S. J.; Frye, W. W.; Smith, M. S. 1991. Legume mulch and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. *Soil Science Society of America Journal* 55 : 1395-1400.
- 7) 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 Science and Plant Nutrition* 51 : 573-576.
- 8) Decker, A. M.; Clark, A. J.; Meisinger, J. J.; Mulford, f. R.; McIntosh, M. S. 1994. Legume cover crop contribution to no-tillage corn production. *Agronomy Journal* 86 : 126-135.
- 9) Ebelhar, S. A.; Frye, W. W; Blevins, R. L. 1984. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. *Agronomy Journal* 76 : 51-55.
- 10) Echtenkamp, G. W.; Moomaw, R. 1989. No till corn production in a living mulch system. *Weed Technology* 3 : 261-266.
- 11) Elkins, D.; Frederking, D.; Marashi, R.; McVay, B. 1983. Living mulch for no-till corn and soybeans. *Journal of Soil and Water Conservation* 38 : 431-433.
- 12) Fischer, A.; Burrill, L. 1993. Managing interference in a sweet corn-white clover living mulch system. *American Journal of Alternative Agri-culture* 8 : 51-56.
- 13) 藤原伸介, 吉田正則. 2000. 被覆作物ヘアリーベッチのアレロパシーとマルチ資材としての利用に関する研究. *四国農業試験場報告* 65 : 17-32.
- 14) Grubinger, V. P.; Minotti, P. L. 1990. Managing white clover living mulch for sweet corn pro-

- duction with partial rototilling. *American Journal of Alternative Agriculture* 5 : 4-12.
- 15) Hall, J. K.; Hartwing, N. L.; Hoffman L. D. 1984. Cyanazine losses in runoff from no-tillage corn in "living" and dead mulch vs. unmulched, conventional tillage. *Journal of Environmental Quality* 13 : 105-110.
 - 16) Hargrove, W. L. 13-17. 1986. Winter legumes as a Nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agronomy Journal* 78 : 70-74.
 - 17) Hesterman, O. B.; Russelle, M. P.; Sheaffer, C. C.; Heichel, G. H. 1987. Nitrogen utilization from fertilizer and legume residues in legume-corn rotations. *Agronomy Journal* 79 : 726-731.
 - 18) 細谷 肇, 米本貞夫. 2003. 畦間被覆作物によるトウモロコシ畑のワルナスビ防除. 関東東海北陸農業研究成果情報 平成14年度 I : 110-111.
 - 19) 伊藤豊彰, 橋本三尚, 井上博道, 三枝正彦. 2001. デントコーン栽培における付属農場産牛ふんコンポストの肥料代替効果および適正投入量. 川渡農場報告 17 : 1-8.
 - 20) Kumwenda, J. D. T.; Radcliffe, D. E.; Hargrove, W. L.; Bridges, D. C. 1993. Reseeding of crimson clover and corn grain yield in a living mulch system. *Soil Science Society of America Journal* 57 : 517-523.
 - 21) Lambert, J. D. H.; Arnason, J. T.; Serratos, A.; Philogene, B. J. R.; Faris, M. A. 1987. Role of Intercropped red clover in inhibiting European corn borer (Lepidoptera:Pyralidae) damage to corn in eastern Ontario. *Journal of Economic Entomological* 80 : 1192-1196.
 - 22) McVay, K. A.; Radcliffe D. E.; Hargrove, W. L. 1989. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. *Soil Science Society of America Journal* 53 : 1856-1862.
 - 23) Michell, W. H.; Teel, M. R. 1977. Winter-annual clover crops for no-tillage corn production. *Agronomy Journal* 69 : 569-573.
 - 24) 三浦重典, 小林浩幸, 小柳敦史. 2002. シロクローバを用いたスイートコーンのリビングマルチにおける窒素フローの推定. 日本作物学会紀事 71(別): 92-93.
 - 25) 三浦重典, 渡邊好昭. 2002. マメ科リビングマルチ条件下で栽培したスイートコーンの生育及び収量. 日本作物学会紀事 71 : 36-42.
 - 26) 三浦重典, 渡邊好昭, 小林浩幸, 小柳敦史. 2004. シロクローバを利用したスイートコーンのリビングマルチ栽培体系における窒素フローの推定. 日本作物学会紀事 73 : 436-442.
 - 27) Moschler, W. W.; Shear, G. M.; Hallock, D. L.; Sears R. D.; Jones, G. D. 1967. Winter cover crops for sod-planted corn : Their selection and management. *Agronomy Journal* 59 : 547-551.
 - 28) Munawar, A.; Blevins, R. L.; Frye, W. W.; Saul, M. R. 1990. Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agronomy Journal* 82 : 773-777.
 - 29) Nicholson, A. G.; Wien, H. C. 1983. Screening of turfgrasses and clovers for USE as living mulches in sweet corn and cabbage. *Journal-American Society for Horticultural Science* 108 : 1071-1076.
 - 30) Pang, X., P.; Letey, J.; Wu, L. 1997. Yield and nitrogen uptake prediction by CERER-Maze model under semiarid condition. *Soil Science Society of America Journal* 61 : 254-256.
 - 31) Power, J. F.; Zachariassen, J. A. 1993. Relative nitrogen utilization by legume cover crop species at three soil temperatures. *Journal of the American Society of Agronomy* 85 : 134-140.
 - 32) Stute, J. K.; Posner, J. L. 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. 1990. *Agronomy Journal* 87 : 1063-1069.
 - 33) 高橋俊, 八木隆徳, 鈴木悟. 2003. シロクローバのリビングマルチによるアルファルファ単播草地の雑草侵入抑制 1. アルファルファ単播草地における雑草実生の時期別発生並びに生育型の異なるシロクローバ品種の秋期におけるマルチ効果. 日本草地学会誌 49(別): 116-117.
 - 34) 高橋俊, 八木隆徳, 鈴木悟. 2004. シロクローバのリビングマルチによるアルファルファ単播草地の雑草侵入抑制 2. 秋期にマルチ処理した雑草の越冬後の生育ならびに夏期の出芽雑草へのマルチ効果. 日本草地学会誌 50(別): 74-75.
 - 35) 魚住 順, 黒川俊二, 吉村義則. 2000. ソルガム栽培におけるマメ科被覆作物の雑草防除およ

- び緑肥効果. 日本草地学会誌 46(別): 86-87.
- 36) 魚住順, 出口新, 伏見昭秀. 2004. シロクローバを用いたリビンゲマルチ栽培における飼料用トウモロコシの播種適期. 東北農業研究センター研究報告 102 : 93-100.
- 37) Varco, J. J.; Frye, W. W.; Smith, M. S.; MacKown, C. T. 1989. Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop. *Soil Science Society of America Journal* 53 : 822-827.
- 38) Wagger, M. G. 1989. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till corn. *Agronomy Journal* 81 : 533-538.
- 39) Wall, G. J.; Pringle, E. A.; Sheard, R. W. 1991. Intercropping red clover with silage corn for soil erosion control. *Canadian Journal of Soil Science* 71 : 137-145.
- 40) Wilson, D. O.; Hargrove, W. L. 1986 Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. *Soil Science Society of America Journal* 50 : 1251-1254.