日作紀（Jpn. J. Crop Sci.）73（4）：436 ― 442（2004）

シロクローバを利用したスィ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

三浦重典*・渡邊好昭・小林浩幸・小柳敦史
（農業・生物系特定産業技術研究機構）

要旨：リビングマルチ栽培には土壌侵食の防止や雑草抑制効果などのメリットがあるが，作物との間に窒素の競合が起こることが懸念されていることから，シロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培体系における窒素の流れを調べた．試験を実施した3年間では，スィートコーンの収量及び窒素含有量はリビングマルチ栽培と慣行栽培で同じであった．シロクローバの窒素含有量は，播種時には6.85 gm^{-2}，中間刈取り時には4.87 gm^{-2} であり，両者の計である11.72 gm^{-2} の窒素が刈取りによって土壌中に供給されると考えられた．一方，スィートコーン栽培期間中のシロクローバの窒素吸収量は7.11 gm^{-2} であり，そのうちの5.10 gm^{-2} が固定由来窒素と推定され，土壌及び肥料由来窒素量は1.55 gm^{-2} と少なかった．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，3年間の平均でリビングマルチ栽培区が慣行栽培区より少なかった．重窒素を利用した ^{15}N トレーサー試験では，スィートコーンの吸収した窒素のうち27.3%（2.48 gm^{-2}）がシロクローバ刈取り残さ由来であり，土壌及び肥料由来窒素量は6.62 gm^{-2} であった．これらの結果より，リビングマルチ栽培ではシロクローバの刈取りにより土壌に供給された窒素の多くがスィートコーンに移行しており，一方で土壌及び肥料から収奪される窒素量及び窒素溶脱量が少ないことから，スィートコーンとシロクローバの間の窒素に対する競合は小さいと考えられた．リビングマルチ栽培では，窒素フロー図から推定した土壌からの窒素のアウトプット量が慣行栽培より2 gm^{-2} 程度少なく，窒素の施用量を低減できる可能性が示唆された．

キーワード：シロクローバ，スィートコーン，窒素固定，窒素フロー，窒素溶脱，リビングマルチ

作物の生育期間もしくは生育期間の一部に生きた植物で地面を覆うリビングマルチ栽培には，土壌侵食の防止，雑草の抑制，有用昆虫（天敵）の増加等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けるデメリットは，作物とリビングマルチ植物間の水分と窒素に対する競合であると考えられている（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 ら 1992）が，我が国のような比較的降雨量の多い地域においては，水分よりもむしろ窒素に対する競合が重要と考えられる．三浦・渡邊（2002）は，シロクローバによるリビングマルチを利用することで除草剤を用いずにスィートコーンを栽培することが可能で，収量及び品質は慣行栽培と同等であることを報告した．この結果は，シロクローバとスィートコーンとの間の窒素に対する競合が小さいことを示唆しているが，シロクローバの根粒による窒素固定やスィートコーンへの窒素移行など窒素の動態について十分な検討は行われていない．また，リビングマルチ栽培における窒素の競合について，定量的に解析した研究はみられない．

そこで，本報告では，シロクローバを利用したスィ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，シロクローバの根粒による固定窒素量，シロクローバ刈取り残さ（以下，シロクローバ残さという）からスィ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，シロクローバとスィ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．

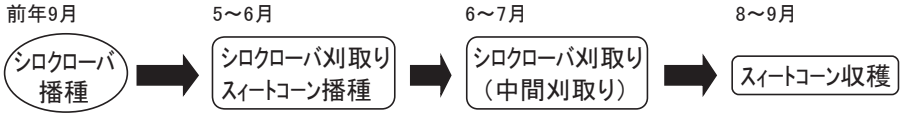
材料と方法

実験1．スィートコーン及びシロクローバの窒素含有量と固定窒素の寄与率の推定

試験は2000年から2002年にかけて福島市にある東北農業研究センター畑地利用部試験圃場で，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（H_2O）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，CV区とする）を設けた．試験区は，2000年と2001年が1区面積48 m^2（8 m × 6 m），2002年が35 m^2（7 m × 5 m）で3反復の乱塊法とした．

LM区は，第1図に示す栽培体系に基づいて，シロクローバ（*Trifolium repens* L.，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．第1表に示す播種日にLM区のシロク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

2004年6月14日受理．＊連絡責任者（〒305-8666 つくば市中央農研セ．juten@affrc.go.jp）．本研究は農水省委託プロ「パイオニア特別研究」によった．



第1図　シロクローバによるスィートコーンのリビングマルチ栽培体系（三浦・渡邊2002）.

間隔（3.7株 m^{-2}）に移植ごてで深さ3 cm程度の穴を掘り，スィートコーン（*Zea mays* L., 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複合燐加安S555）を窒素成分で20 gm^{-2} となるよう土壌表面に散布した．CV区は，施肥後耕起してスィ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散布した．LM区では播種後約1ヶ月後（第1表）に条間のシロク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），スィ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（第1表）．栽培期間中，アワノメイガ防除剤を2回散布したが，除草剤の散布及び追肥は行わなかった．

第1表　スィートコーンの播種日と収穫日及びシロク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	CV区	6月22日	7月19日	9月 7日
	LM区	6月22日	7月19日	8月31日
2001	CV区	6月20日	7月17日	9月 5日
	LM区	6月20日	7月17日	8月30日
2002	CV区	6月20日	7月17日	9月 9日
	LM区	6月20日	7月17日	9月 5日

スィートコーンは，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 m^2 の面積内の雌穂収量を調査した．シロクローバはスィートコーンの播種前，中間刈取り時及びスィ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のコドラートを設け乾物重を調査した．スィートコーン，シロクローバとも乾物重測定後の試料を粉砕し，窒素含有率及び $\delta^{15}N$ 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．

シロクローバにおける固定窒素の寄与率（$\%N_{dfa}$）は，^{15}N 自然存在比（$\delta^{15}N$）を利用した ^{15}N 希釈法（Yoneyama 1987）により，次式を用いて算出した．

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

ここで，$\delta^{15}N_{sc}$ はスィートコーンの $\delta^{15}N$ 値，$\delta^{15}N_{wc}$ はシロクローバの $\delta^{15}N$ 値である．fは窒素固定のみを窒素源とするシロクローバの $\delta^{15}N$ 値であり，本試験ではf＝－2.6（無窒素で水耕栽培したシロクローバの $\delta^{15}N$ 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，本試験ではスィートコーンの $\delta^{15}N$ 値には，各年のLM区におけるスィートコーン生育期の $\delta^{15}N$ 値の平均値を代入し，スィートコーン播種時（スィートコーンが存在しない時期）を含む時期別のシロク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．

^{15}N 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．

実験2．窒素溶脱量の推定

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」（注：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，水分測定用プローブ（2000年はCV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（CV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）に土壌浸透水を回収して，溶存している硝酸態窒素濃度をオートアナライザー（ブラン・ルーベ社製）で分析した．窒素溶脱量は，土壌浸透水量と硝酸態窒素濃度の積により算出した．

実験3．シロクローバ残さからの窒素移行量の推定

2001年及び2002年に，シロクローバ残さからスィ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 ^{15}N トレーサー試験を行った．^{15}N でラベルするシロクローバは，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，30 atm-％の ^{15}N でラベルした NH_4NO_3（115 mg/L），$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$（50 mg/L），K_2SO_4（89 mg/L），$CaCl_2 \cdot 2H_2O$（147 mg/L），$MgSO_4 \cdot 7H_2O$（405 mg/L），$FeSO_4 \cdot 7H_2O$（5 mg/L），$MnSO_4 \cdot 5H_2O$（2.7 mg/L），H_3BO_3（2.9 mg/L），$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$（0.04 mg/L），$CuSO_4 \cdot 5H_2O$（0.04 mg/L）及び $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$（0.03 mg/L）である．シロクローバが十分生育するまで，じょろで2～3日おきに1回1ケース当たり2000 ml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潅水した．

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（H_2O）：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（H_2O）：6.0）の圃場で行った．圃場の1区面積は2001年が20 m^2（5 m × 4 m），2002年が35 m^2（7 m × 5 m）で，2001年は6月28日，2002年は6月20日に実験1のLM区と同様にスィートコーンを播種した．試験区内には塩ビ板で1.8 m × 1.8 m（深さ15 cm）の枠を設け，枠内で刈取ったシロクローバを上記の水耕栽培により^{15}Nでラベルした同生重のシロクローバと置き換えた．2001年は7月25日，2002年は7月13日に中間刈取りを行った．中間刈取り時にもスィートコーン播種時と同様に塩ビ板で枠を設け，枠内の刈り取ったシロクローバを^{15}Nでラベルした同生重のシロクローバと置き換えた．各処理とも2001年は2反復，2002年は3反復で行った．

スィートコーン及びシロクローバの生育調査は，中間刈取り時及びスィートコーン収穫時（2001年は9月7日，2002年は9月5日）に行った．枠内からスィートコーンは4個体を，シロクローバは25 cm × 25 cm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^{15}N含有率を測定・分析した．

結　　果

1．スィートコーン及びシロクローバの窒素含有量と固定窒素の寄与率の推定（実験1）

スィートコーンの生育は，2000年と2001年は順調であったが，2002年は成熟期である8月中旬頃気温が低く日照時間が少なかったことなどから，地上部乾物重及び雌穂収量とも少なかった．3年間をとおして，LM区はCV区よりスィ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（第1表）．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，窒素含有量の平均値はCV区で9.39 gm^{-2}，LM区で9.10 gm^{-2}であった（第2表）．

LM区のシロクローバの乾物重は，スィートコーン播種時には152.5 gm^{-2}であったが，中間刈取り時までに再生したシロクローバは98.6 gm^{-2}，中間刈取りからスィートコーン収穫時までに再生したものは46.1 gm^{-2}と漸減した（第2表）．シロクローバの窒素含有量は，播種時には6.85 gm^{-2}，中間刈取り時には4.87 gm^{-2}であり，両者の計である11.72 gm^{-2}の窒素が刈取りによって土壌中に供給されると考えられた．^{15}N希釈法により推定したシロクローバの固定窒素の寄与率は，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ーバの固定由来窒素含有量はそれぞれ3.15 gm^{-2}，1.95 gm^{-2}で，両者の和である5.10 gm^{-2}がスィートコーン生育期間中の固定窒素量と推定された（第3表）．

第2表　スィ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ーバの乾物重．

処理	年次	スィートコーン（収穫時） 地上部乾物重（gm^{-2}）	窒素含有量（gm^{-2}）	雌穂収量（gm^{-2}）	シロクローバの乾物重 播種時（gm^{-2}）	中間刈取り時（gm^{-2}）	収穫時（gm^{-2}）
CV区	2000	526	10.55	1107			
	2001	522	9.78	1244			
	2002	463	7.86	782			
	平均	504	9.39	1044			
LM区	2000	611	10.83	1211	182.2	83.3	54.9
	2001	501	8.46	1120	144.9	148.4	53.2
	2002	503	8.01	812	138.2	64.0	30.1
	平均	538	9.10	1047	152.5	98.6	46.1
分散分析	処理	ns	ns	ns	−	−	−
	年次	*	*	**	*	**	*

雌穂収量は生重，播種時＝スィートコーンの播種時，中間刈取り時＝シロクローバの中間刈取り時，収穫時＝スィートコーンの収穫時（以降の図表も同じ）．
スィートコーンは処理と年次を二元配置(3反復)とした分散分析，シロクローバは年次間(3反復)の分散分析，*は5%水準，**は1%水準で有意．

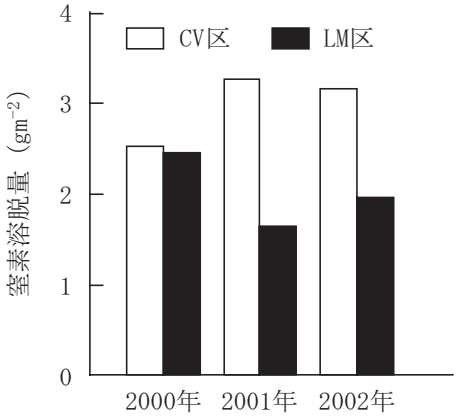
第3表　シロクローバの$\delta^{15}N$値，全窒素含有量，固定由来窒素含有量及び固定窒素の寄与率．

測定（推定）値	調査時期 播種時(A)	中間刈取り時(B)	収穫時(C)	シロクローバ残さからの窒素供給量(A+B)	スィートコーン栽培期間中のシロクローバの窒素吸収量(B+C)
$\delta^{15}N$値	−1.18±0.18	−1.01±0.77	−2.03±0.70		
全窒素含有量(gm^{-2})	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(gm^{-2})	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

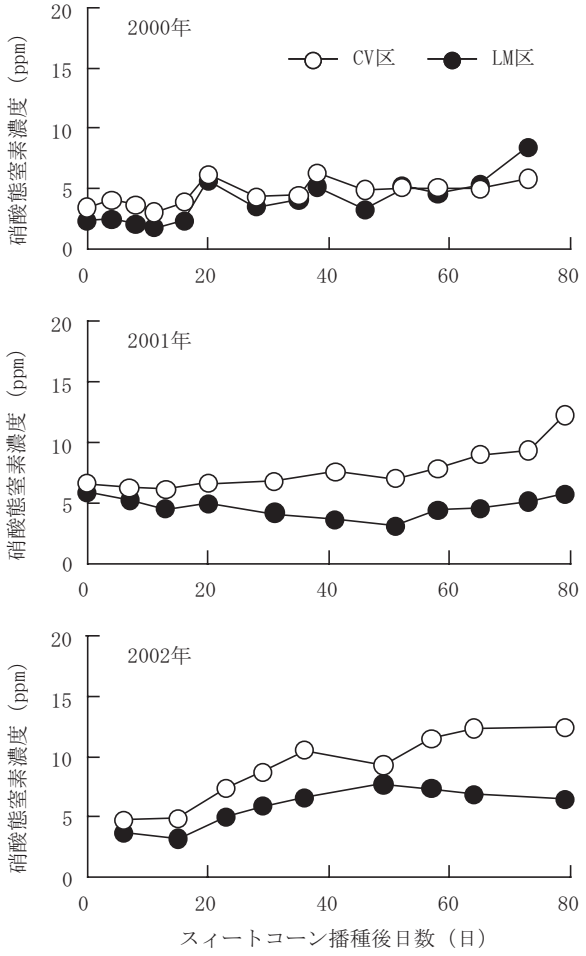
2000〜2002年の平均値±標準誤差(n＝3)．

2．窒素溶脱量の推定（実験 2）

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 CV 区と LM 区で同じであったが，2001 年と 2002 年には CV 区が LM 区より大きい傾向にあり（第 2 図），3 年間の平均では CV 区が 3．0 gm^{-2}，LM 区が 2．0 gm^{-2} であった．土壌浸透水の硝酸態窒素濃度の推移を第 3 図に示した．硝酸態窒素濃度は，2000 年は CV 区と LM 区ともほぼ同じ値で推移したが，2001 年及び 2002 年は CV 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，スィ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．



第２図　スィートコーン栽培期間中の窒素溶脱量の比較．



第３図　土壌浸透水の硝酸態窒素濃度の推移．

3．シロクローバ残さからの窒素移行量の推定（実験 3）

2001，2002 年の 2 年間平均の収穫時におけるスィートコーンの地上部乾物重は 525 gm^{-2}，窒素含有量は 8．97 gm^{-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ー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%がシロクローバ残さ由来と推定された（第 4 表）．スィートコーン栽培期間中に再生したシロクローバの窒素含有量のうちシロクローバ残さ由来窒素の寄与率は中間刈り取り時には 7．7%，収穫時には 4．2%であった（第 5 表）．

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，シロクローバによるスィ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（第 6 表，第 4 図）．リビングマルチ栽培では，

第４表　^{15}N トレーサー試験におけるスィートコーンの地上部乾物重，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

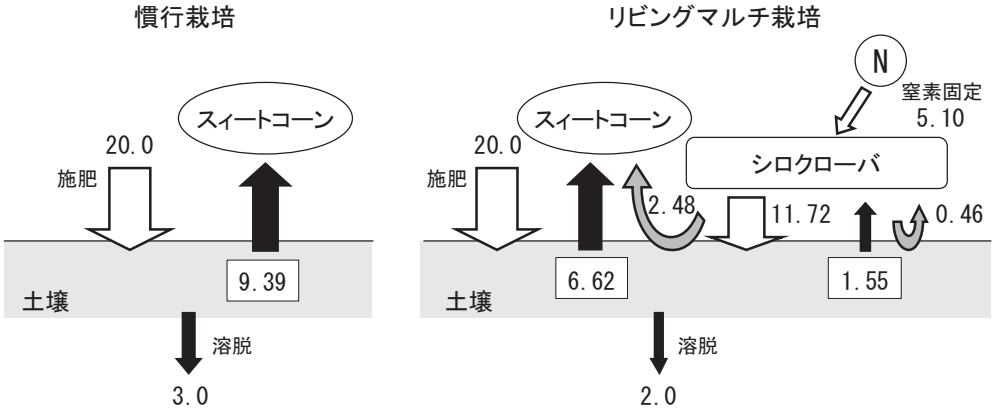
第５表　^{15}N トレーサー試験における再生したシロクローバの残さ由来窒素の寄与率と含有量（地上部）．

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

残さ由来窒素の含有量は，残さ由来窒素の寄与率に第3表の全窒素含有量を乗じて算出した推定値．

第6表　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
スィートコーンの窒素吸収量(A)	9.10	第2表
うち　シロクローバ残さ由来(B)	2.48	A×27.3/100（第4表）
うち　土壌及び肥料由来(C)	6.62	A−B
シロクローバの窒素吸収量(D)	7.11	第3表
うち　固定窒素由来(E)	5.10	第3表
シロクローバ残さ由来(F)	0.46	0.37＋0.09（第5表）
土壌及び肥料由来(G)	1.55	D−E−F
窒素の溶脱量(H)	2.0	第2図の3年間の平均
土壌からのアウトプット量	10.17	C+G+H



第4図　スィ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（gm^{-2}）.

スィートコーンの窒素吸収量のうち6.62 gm^{-2}が土壌及び肥料由来と推定された．また，シロクローバの窒素吸収量のうち1.55 gm^{-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10.17 gm^{-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12.39 gm^{-2}であった．すなわち，リビングマルチ栽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 gm^{-2}程度小さいと推定された．

考　　察

リビングマルチ栽培における作物の収量は，リビングマルチの草種，組み合わせる作物，栽培管理法などによって異なる．Garibayら（1997），Brandsæterら（1998）は，リビングマルチの草種や除草剤等による再生の管理がリビングマルチ栽培したトウモロコシやキャベツの乾物生産量や収量に影響を与え，これには窒素に対する競合が関与していると考察している．一方，私達は既報（三浦・渡邊2002）において，シロクローバによるスィートコーンのリビングマルチ栽培では，スィートコーンの収量は慣行栽培と同等であり，シロクロー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等がスィートコーンとシロクローバ間の窒素競合を抑制している可能性があることを示唆した．本試験においても，リビングマルチ栽培したスィ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（第2表）から，窒素競合は小さかったものと推測される．

そこで，まずシロクローバの根粒による固定窒素量を^{15}N自然存在比（$\delta^{15}N$）を利用した^{15}N希釈法により推定した．その結果，シロクロー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，スィ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（第3表）．Mallarinoら（1990）はトールフェスクとシロクローバの混播草地のシロクロー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．シロクロー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，本試験でシロクローバにおける固定窒素の寄与率がスィートコーン収穫時に高まったことは，スィ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ものと推察される．スィートコーン生育期間中のシロクローバの窒素吸収量は 7.11 gm^{-2} と多かったが，そのうち土壌及び肥料由来のものは 1.55 gm^{-2} と少なかった（第 6 表）．特に中間刈取り以降は，シロクローバの再生が鈍化して乾物生産量が小さかったこと（第 2 表）や固定窒素の寄与率が高まったこと（第 3 表）から，土壌及び肥料由来の窒素吸収量は少なく（第 6 表），スィ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ーバの混播草地において，レッドトップに対するシロクロー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ィートコーンの窒素含有量の 27.3％がシロクローバ残さ由来であった（第 4 表）．このことは，シロクローバ残さが比較的速やかに分解されて，窒素がスィ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%）のシロクローバ残さから高い割合でスィートコーンに窒素が移行していたことから（第 4 表），中間刈取りはスィ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，窒素溶脱量を土壌水分の測定と土壌浸透水中の硝酸態窒素濃度から推定した。TDR 土壌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（第 2 図）．リビングマルチ栽培では施肥に加えてシロクローバ残さがあることから，土壌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 90 cm の深さから採取した土壌浸透水の硝酸態窒素濃度は，慣行栽培区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（第 3 図）．このことは，リビングマルチ栽培ではスィートコーン生育期間中には，土壌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，土壌表面から 210 cm 深までの硝酸態窒素濃度を比較した結果，土壌表面から 60 cm 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等の無機化速度が遅いこと，余剰窒素の有機化が起こりやすいこと，脱窒やアンモニア揮発が起こ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，スィートコーン播種前までのシロクローバによる窒素吸収，シロクローバ残さからの窒素供給とスィ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さったことが主要因になったと考えられる．本試験では，スィ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，シロクロー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も，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，シロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培では，シロクローバとスィートコーン間の窒素の競合を抑制する要因が多く，これによりスィートコーンの乾物生産量や収量は慣行栽培と同等（第 2 表）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（第 6 表，第 4 図）．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は 10.17 gm^{-2} であったのに対し慣行栽培では 12.39 gm^{-2} と高かった．すなわち，リビングマルチ栽培では，シロクローバによる土壌からの窒素の収奪があるもののその量は少なく，一方で，シロクローバ残さからスィートコーンへの窒素移行や窒素溶脱量の減少により，系全体としては土壌からの窒素のアウトプット量が慣行栽培より 2 gm^{-2} 程度小さいと推定された．

本試験では，脱窒，土壌水の表面流去による窒素の流出，シロクロー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．一般に畑地における施肥窒素の利用率は 40～60％であること（藤原 1994）を考慮すれば，本試験におけるシロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培では，窒素フローから推定した 2 gm^{-2} 以上の窒素減肥が可能であると考えられる．これについては，圃場レベルでの施肥試験を行うことにより検証していく予定である．

謝辞：秋田県農業試験場の金田吉弘博士（現秋田県立大学），進藤勇人研究員，三浦恒子研究員ほか職員の方々には，^{15}N の測定に当たって測定装置の使用及び分析結果のとりまとめに御配慮と御助言をいただきました．深く感謝いたします．

引用文献

Angle, J.S., C.M. Gross, R.L. Hill and M.S. McIntosh 1993. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer

applications. J. Environ. Qual. 22 : 141－147.
Brandsæter, L.O., J. Netland and R. Meadow 1998. Yield, weeds, pests and soil nitrogen in a white cabbage - living mulch system. Biol. Agric. Hortic. 16 : 291－309.
Broadbent, F.E., T. Nakashima and G.Y. Chang 1982. Estimation of nitrogen fixation by isotope dilution in field and greenhouse experiments. Agron. J. 74 : 625－628.
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 アカク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.
Eberlein, C.V., C.C. Sheaffer and V.F. Oliveira 1992. Corn growth and yield in an alfalfa living mulch system. J. Prod. Agric. 5 : 332－339.
Echtenkamp, G.W. and R.S. Moomaw 1989. No-till corn production in a living mulch system. Weed Technol. 3 : 261－266.
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，東京．300－366.
Garibay, S.V., P. Stamp, H.U. Ammon and B. Feil 1997. Yield and quality components of silage maize in killed and live cover crop sods. Eur. J. Agron. 6 : 179－190.
Hartwig, N.L. and H.U. Ammon 2002. Cover crops and living mulches. Weed Sci. 50 : 688－699.
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ーバの窒素移譲．北海道立農試集報 23 : 44－54.
Jo, J., S. Yoshida and R. Kayama 1981. Influence of soil acidity and applied nitrogen on the growth and chemical compositions of ladino clover and alfalfa. J. Japan Glassl. Sci. 27 : 79－84.
Mallarino, A.P., W.F. Wedin, R.S. Goyenola, C.H. Perdomo and C.P. West 1990. Legume species and proportion effect on symbiotic dinitrogen fixation in legume - grass mixtures. Agron. J. 82 : 785－789.
三浦重典・渡邊好昭 2002. マメ科牧草リビングマルチ下で栽培したスィートコーンの生育及び収量．日作紀 71 : 36－42.
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.
Yano, K., H. Daimon and H. Mimoto 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.
Yoneyama, T. 1987. N_2 fixation and natural ^{15}N abundance of leguminous plants and *Azolla*. Bull. Natl. Inst. Agrobiol. Resour. 3 : 59－87.

Estimation of Nitrogen Flow in a Sweet Corn - White Clover Living Mulch System : Shigenori MIURA*, Yoshiaki WATANABE, Hiroyuki KOBAYASHI and Atsushi OYANAGI (*Natl. Agr. Res. Cent., Tsukuba 305-8666, Japan*)

Abstract : To estimate the nitrogen competition between crops and living mulch plants, we compared the nitrogen flow in the sweet corn (*Zea mays* L.) - white clover (*Trifolium repens* L.) living mulch system (LM) with that in the conventional cultivation (CV). The field experiments were conducted in 2000 - 2002. Yield and total nitrogen content of sweet corn in LM were the same as that in CV. During the sweet corn growing period, the amount of nitrogen supplied from white clover residue to soil was estimated to be 11.72 gm^{-2}. On the other hand, nitrogen taken up by white clover was 7.11 gm^{-2}, and 1.55 gm^{-2} of which was from soil and fertilizer. The amount of nitrate leached out in LM was about 2.0 gm^{-2}, which was lower than that in CV. The experiment using ^{15}N showed that 27.3 % (2.48 gm^{-2}) of nitrogen taken up by sweet corn was from the white clover residue and 6.62 gm^{-2} was from soil and fertilizer. The estimation of nitrogen flow showed that the nitrogen removal from soil in LM was about 2 gm^{-2} less than that in CV. These results suggest that nitrogen competition between sweet corn and white clover would be small. We consider that the rate of nitrogen fertilizer application could be reduced by using this living mulch system.

Key words : Leaching of nitrates, Living mulch, Nitrogen fixation, Nitrogen flow, Sweet corn, White clover.