研究報文

ギニアグラスとクロタラリアの混作によるバイオマスと 土壌窒素動態への影響

岩崎 明*・小松崎将一**

* 茨城大学大学院農学研究科, ** 茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター

Effects of Biculture of Guinea Grass (*Panicum maximum* Jacq.)
and Crotalaria (*Crotalaria spectabilis* Roth.) on Biomass Production and Soil Nitrogen Dynamics

Akira IWASAKI* and Masakazu KOMATSUZAKI**

*Graduate school of Agriculture, Ibaraki university

**Center for Field Science Reserch and Education, Ibaraki University

夏作カバークロップとしてイネ科やマメ科の作物が単独に用いられる場面が多いが、これらの混作による効果はほとんど検討されていない。本研究は茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター内圃場において、夏作カバークロップの混作を行いバイオマス生産と窒素溶脱への効果の比較を行った。試験区はギニアグラス (*Panicum maximum* Jacq. 品種：ナツカゼ) とクロタラリア・スペクタビリス (*Crotalaria spectabilis* Roth. 品種：ネマクリーン) をそれぞれの慣行の播種量を 100 として、ギニアグラス：クロタラリアの比率を変え設計を行った。処理区は「100：0 (ギニアグラス単作区)」・「75：25」・「50：50」・「25：75」・「0：100 (クロタラリア単作区)」・「0：0 (裸地区)」の 6 処理を 3 反復とし乱塊法により設置した。2016 年はカバークロップの地上部バイオマスや C/N 比、地上部炭素含有量はギニアグラス単作区で最も高くなり、混作ではやや低下した。2017 年ではカバークロップの地上部バイオマスはギニアグラス単作区と混作区の 75：25 区は同等であり C/N 比は単作区より混作で低下することが認められた。また土壌硝酸態窒素濃度において、両年ともにカバークロップの作付により有意な減少が認められた。2 年間の結果から、夏作カバークロップの混作により単作に比べて同等の圃場に還元できるバイオマス生産量を確保し、かつ C/N 比を低減させて、良質な有機物供給が可能であることが明らかとなった。

キーワード：ギニアグラス、クロタラリア、混作、窒素溶脱

1. 緒言

我が国では平成 23 年度から、環境保全に効果の高い営農活動に対して支援を行う環境保全型

2017 年 11 月 19 日受付

2018 年 2 月 9 日受理

Corresponding author

小松崎将一 Masakazu KOMATSUZAKI

〒300-0393 茨城県阿見町中央 3-21-1 茨城大学農学部
附属フィールドサイエンス教育研究センター

Center for Field Science Research & Education, 3-21-1
Chuo, Ami-machi, Inashiki-gun, Ibaraki-ken, Japan

E-mail : masakazu.komatsuzaki.fsc@vc.ibaraki.ac.jp

農業直接支払交付金の交付が実施されており、カバークロップの利用による取り組みが広がっている。交付金の対象となる実施面積は、平成 28 年度で 84,566 ha であり、うちカバークロップの利用によるものはその 2 割の 16,772 ha を占め増加傾向にある(農林水産省 2017)。このようにカバークロップの利用は国や地方で導入が進められており、各自自治体もカバークロップの利用マニュアルなどを作成し、推進を図っている。

現在利用されているカバークロップの多くは牧草・飼料作物として利用されていたものが多く、

主にイネ科とマメ科植物が利用されている。カバークロップは土壌浸食防止、緑肥、雑草抑制、線虫防除、土壌物理性改善、塩類集積除去など多面的な機能を有している（小松崎 2004）。このようにカバークロップの効果は多岐にわたるが、この中で代表的な機能としては窒素循環の改善がある。とくに、マメ科のカバークロップ利用による後作物への養分供給については、トウモロコシ（Komatsuzaki 2002）、トマト（Sugihara *et al.* 2013; 2016）、イネ（Asagi and Ueno 2009；小松崎 2009）、コムギ（平田ら 2017）の栽培において肥料投入量を慣行の半分から3分の1に減少できることを明らかにしている。

カバークロップ利用による土壌有機物供給において特筆すべき点は、カバークロップバイオマスによる有機物供給とカバークロップが土壌残留養分を吸収することで養分溶脱防止機能につながる点である。土壌中に残留している養分は裸地条件であると無機化が有機化を上回り、一部は循環する一方で、降雨などによって土壌水と一緒に下方に溶脱してしまうリスクが高い（小川 2000）。特に露地野菜栽培などでは化学肥料投入量が作物吸収量に比べて多い傾向にあり、主作物が吸収しなかった残存養分が溶脱や表面流去し環境負荷となる場合がある（大橋・俣野 2003）。これらの後作においてカバークロップを作付することで、植物による窒素吸収を促し、溶脱抑制につながる（Holderbaum *et al.* 1990；Kuo *et al.* 1996, Sainju *et al.* 1998）。Abdul-Baki *et al.* (1997) および糟谷ら（2010）はブロッコリーやキャベツなどの主作物の前作に緑肥を導入し、すき込むことで地力を維持し、後作物の増収や減肥につなげられることを報告している。

カバークロップは導入される作付体系に応じて夏作物と冬作物が用いられる。日本では主作物が夏作として組み込まれることが多いためカバークロップの利用は冬作カバークロップが多く割合を占める。これに対し、夏作カバークロップの利用は冬作に比べ少なく研究も限られる。しかし、夏季の高温多雨の気候は土壌中の有機物分解や土壌養分の溶脱促進が危惧され、夏作カバークロップを利用し、環境保全と作物生産を両立することが望まれる。

また、夏作カバークロップにおいては、線虫対抗作物となるものも多く、植物寄生性線虫抑制、

有機物供給および溶脱防止などの総合的な効果が期待できる（水久保 2005）。とくに、大林ら（1989）や北上ら（1992）によるとギニアグラスやクロタリヤなどの夏作カバークロップでは植物寄生性線虫の密度を抑制することが報告されており環境保全型農業では農薬などの代替資材としても期待される。

夏作カバークロップのなかには、ギニアグラスやソルガムなどC₄植物が含まれており、夏季の強光下で効率的な光合成を行うため、多量のバイオマス生産が期待される。クロタリヤやセスバニアなどは熱帯原産のマメ科カバークロップでありこれらは深根性で養分吸収量も多く、根粒菌との共生窒素固定により夏場に旺盛に生育し、すき込み有機物量も多い（大門 2017）。一般にイネ科のカバークロップは高い炭素固定能を有し多量のバイオマス生産が期待されるが、C/N比が高い傾向にある。カバークロップのC/N比はすきこまれた後の土壌中の分解速度に影響し、高C/N比のカバークロップは分解が遅いことや後作で窒素飢餓を引き起こすリスクがある。これに対し、クロタリヤなどのマメ科のカバークロップは根粒菌との共生関係により窒素固定を行い、低いC/N比のバイオマス生産が期待できる。

このため、イネ科とマメ科の混作によってカバークロップの機能向上が期待される。冬作カバークロップの混作については比較的多く報告されており、イネ科作物とマメ科作物の生理的・形態的な違いに基づく養分と光の相補的な利用によって、地上部バイオマス量や養分吸収量が增大する効果が得られる（樽井ら 2011）。さらに、イネ科とマメ科の混作によってマメ科作物由来窒素がイネ科作物に供給されるという報告もある（Xiao *et al.* 2004；Rasmussen *et al.* 2007）。これにより、混作によってイネ科の高C/N比に起因する窒素飢餓のリスクを回避できる可能性がある。

これらの混作の効果は夏作カバークロップについても期待されるが、夏作カバークロップの混作による研究事例はほとんどみられない。このような背景から、本研究では夏作カバークロップの更なる利用拡大のために、夏作カバークロップの単作と混作の比較研究を行った。ここでは、夏作カバークロップの混作による地上部バイオマス、窒素吸収およびC/N比への影響と土壌窒素の動態

について報告する。

2. 材料および方法

1) 試験設計及び圃場管理

試験は茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター内の洪積台地畑（土性：CL, LiC）で2016年6月から8月（前作：コマツナなどの露地野菜）、2017年6月から9月（前作：タマネギ）に実施した。施肥は両年ともに無施肥で行った。

2016年は3 m × 8 mを1区画とし、ギニアグラス（*Panicum maximum* Jacq. 品種：カネコ種苗、ナツカゼ）とクロタリア・スペクタビリス（*Crotalaria spectabilis* Roth. 品種：カネコ種苗、ネマクリーン）を供試した。慣行の播種量をギニアグラス（コート種子）は3 kg/10 a、クロタリアは6 kg/10 aを100として、それぞれの播種比率を0～100で表現した。すなわち、単作区を「100：0（ギニアグラス単作区）」・「0：100（クロタリア単作区）」とした。また、混作区は播種比率を変え「75：25」、「50：50」、「25：75」とし、対照区として「0：0（裸地区）」の6処理を3反復とし乱塊法により設置した。

2016年6月3日に圃場をロータリを用いて深さ15 cmで耕した。同年6月6日にカバークロップ種子を散播した。裸地区は2週に1度手取り除草を行った。しかし、裸地区を含め全ての処理区にメヒシバ（*Digitaria ciliaris* Koeler）などの雑草の混入が確認された。

2017年は、3 m × 3 mを1区画とした。標準播種量はギニアグラスでは2 kg/10 a、クロタリアでは5 kg/10 aとした。2017年6月27日に圃場を前年と同様に耕した。6月29日に条間15 cmで条播した。すべての処理区において条間の徹底除草を行った。

2) カバークロップのサンプリングと分析

カバークロップのサンプリングは、2016年8月4日（播種後60日目）に地上部を0.25 m²（0.5 m × 0.5 m）のコドラートを用いて区画ごとに刈り取った。また、翌年の2017年9月3日（播種後67日目）に地上部3 m²を区画ごとに刈り取った。両年ともに刈取後のサンプルは生重量を測定後、その一部を作物乾燥用オープンにより60℃で72時間乾燥し乾物率を測定しバイオマスを算

出した。また、相対収量（RY：relative yield）は以下により算出した。

$$RY_G = \frac{Y_{MG}}{Y_{SG}}$$

$$RY_C = \frac{Y_{MC}}{Y_{SC}}$$

$$RY_T = RY_G + RY_C$$

RY_G ：ギニアグラスの相対収量

Y_{MG} ：混作区のギニアグラスのバイオマス

Y_{SG} ：単作区のギニアグラスのバイオマス

RY_C ：クロタリアの相対収量

Y_{MC} ：混作区のクロタリアのバイオマス

Y_{SC} ：単作区のクロタリアのバイオマス

RY_T ：合計相対収量

さらにサンプルを乾燥・粉碎後、炭素および窒素含有率について炭素・窒素自動測定装置（J-Science Lab Co. LTD. 製JM3000CN）で測定した。

3) 土壌無機態窒素のサンプリングと分析

2016年6月10日（播種4日後）と8月6日（刈取2日後）、2017年7月4日（播種5日後）と9月6日（刈取3日後）に検土杖（大起理化学工業製 DIK-1640）を用いて0–30 cm、30–60 cm、60–90 cmの3層に分けて土壌を採取した。それぞれの区画ごとに2箇所採取し、それらを混和した。採取した土壌は湿土5 gを1 mol L⁻¹の塩化カリウム40 mlで抽出後、土壌1 kg当たりの硝酸態窒素濃度とアンモニア態窒素濃度を土壌・作物体総合分析機（島津製作所製、SPCA-6210）で測定した。

4) 統計解析

得られた結果は統計ソフト Stat View（SAS Institute Inc.）を用いて Tukey-Kramer 法による多重検定を行った。

3. 結果

1) カバークロップ地上部バイオマス

カバークロップの生育期間中の積算降水量は2016年では171.5 mm、2017年では243.0 mmであり2017年が高かったが、両年とも過去30年間の平年値と比較して少ない降水量であった（図1）。とくに、2016年は7月上・下旬と8月上旬の降水量が平年値と比較して著しく低かった。2017

図 1 カバークロップ生育期間中の旬別合計降水量と旬別平均気温
アメダス土浦観測所データより作成 (気象庁).

表 1 ギニアグラスのバイオマス及び成分 (2016 年 8 月, 2017 年 9 月)

処理区		ギニアグラス地上部					
		バイオマス (DW-kg/10 a)	RY_G	C 含有率 (%)	N 含有率 (%)	C 含有量 (kg/10 a)	C/N 比
2016	100 : 0	763±39 a	1.00	42.9±0.3	1.8±0.0 b	327±16.8 a	23.7±0.6 a
	75 : 25	483±46 b	0.63	42.6±0.2	2.5±0.1 a	206±20.4 b	17.0±0.6 b
	50 : 50	411±60 b	0.54	43.0±0.4	2.2±0.2 ab	177±26.9 b	19.8±2.0 ab
	25 : 75	181±38 c	0.24	41.8±0.7	2.1±0.0 ab	76±15.5 c	20.0±0.6 ab
	0 : 100	—	—	—	—	—	—
2017	100 : 0	1039±53 a	1.00	41.3±0.8	2.4±0.0	429±29.6 a	16.8±0.2
	75 : 25	811±39 b	0.78	42.0±0.7	2.5±0.1	341±20.5 ab	16.9±0.5
	50 : 50	611±44 c	0.59	42.4±0.7	2.5±0.1	260±23.1 b	17.0±0.5
	25 : 75	321±32 d	0.31	42.1±0.7	2.3±0.1	135±13.4 c	18.0±0.6
	0 : 100	—	—	—	—	—	—

注 1) Tukey-Kramer 法による多重検定により各年データの同一の英添字間には $p < 0.05$ で有意差がない。
 注 2) 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75, 0 : 100 はギニアグラスとクロタラリアの標準播種量を 100 としたときのギニアグラス : クロタラリアの相対播種量である。
 注 3) RY_G はギニアグラス単作区に対しての相対収量である。

年では旬別にみても平年値よりも低いか同等の降水量であったが, 7 月上旬では平年値の 2 倍以上の降水が見られた。生育期間中の積算気温は 2016 年では 1419.8°C, 2017 年では 1719.6°C と 2017 年で高かった。また, 両年ともに平年値と概ね同等の気温であった。

カバークロップのバイオマスおよび吸収養分は混作割合によって大きく異なった (表 1, 表 2)。

混作により, 単作にくらべて両カバークロップともにバイオマスが減少した。2016 年はクロタラリアで相対収量が 75 : 25 区で 0.17, 50 : 50 区で 0.27, 25 : 75 区で 0.53 となった。2017 年はギニアグラスの相対収量は全ての混作区において播種比率に対して 3-5% 増加した。これに対し, クロタラリアの相対収量は全ての混作区において播種比率に対して 1-2% 低下した。

表2 クロタラリアのバイオマス及び成分 (2016 年 8 月, 2017 年 9 月)

処理区	クロタラリア地上部					
	バイオマス (DW-kg/10 a)	RY_C	C 含有率 (%)	N 含有率 (%)	C 含有量 (kg/10 a)	C/N 比
2016	100 : 0	—	—	—	—	—
	75 : 25	57 ± 10 b	0.17	43.2 ± 0.6	3.6 ± 0.2	24 ± 4.1 b
	50 : 50	91 ± 5 b	0.27	43.2 ± 0.3	3.2 ± 0.2	39 ± 2.3 b
	25 : 75	179 ± 34 b	0.53	44.2 ± 0.4	3.0 ± 0.2	79 ± 15.3 b
	0 : 100	340 ± 56 a	1.00	44.6 ± 0.3	3.0 ± 0.1	152 ± 25.7 a
2017	100 : 0	—	—	—	—	—
	75 : 25	180 ± 28 d	0.24	44.2 ± 0.6	2.7 ± 0.0 a	80 ± 12.9 c
	50 : 50	357 ± 11 c	0.48	44.2 ± 0.9	2.5 ± 0.0 b	158 ± 7.7 c
	25 : 75	543 ± 19 b	0.73	44.0 ± 0.7	2.4 ± 0.0 b	239 ± 11.3 b
	0 : 100	743 ± 69 a	1.00	44.8 ± 0.8	2.3 ± 0.0 c	332 ± 29.5 a

注 1) Tukey-Kramer 法による多重検定により各年データの同一の英添字間には $p < 0.05$ で有意差がない。

注 2) 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75, 0 : 100 はギニアグラスとクロタラリアの標準播種量を 100 としたときのギニアグラス : クロタラリアの相対播種量である。

注 3) RY_C はクロタラリア単作区に対しての相対収量である。

表3 カバークロップの合計地上部バイオマス及び成分 (2016 年 8 月, 2017 年 9 月)

処理区	カバークロップ地上部合計			
	バイオマス (DW-kg/10 a)	RY_T	C 含有量 (kg/10 a)	C/N 比
2016	100 : 0	763 ± 39 a	—	327 ± 17 a
	75 : 25	540 ± 55 ab	0.80	231 ± 24 ab
	50 : 50	501 ± 63 b	0.81	216 ± 28 b
	25 : 75	360 ± 31 b	0.76	155 ± 14 b
	0 : 100	340 ± 56 b	—	152 ± 26 b
2017	100 : 0	1039 ± 53 a	—	429 ± 30
	75 : 25	991 ± 39 a	1.02	421 ± 23
	50 : 50	968 ± 55 ab	1.07	418 ± 31
	25 : 75	864 ± 13 ab	1.04	374 ± 7
	0 : 100	743 ± 69 b	—	332 ± 30

注 1) Tukey-Kramer 法による多重検定により各年データの同一の英添字間には $p < 0.05$ で有意差がない。

注 2) 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75, 0 : 100 はギニアグラスとクロタラリアの標準播種量を 100 としたときのギニアグラス : クロタラリアの相対播種量である。

注 3) RY_T は合計相対収量であり, RY_G と RY_C の和である。

また, カバークロップの地上部バイオマスの合計 (イネ科とマメ科の合計) では, 2016 年はギニアグラス単作区で 763 DW-kg/10 a となり, 50 : 50 区, 25 : 75 区, クロタラリア単作区と比

べ有意に高かった (表 3)。2017 年ではギニアグラス単作区と 75 : 25 区でクロタラリア単作区と比べ有意に高い地上部バイオマスとなった。クロタラリア単作区は両年を通じて最も低かった。

図2 クロタラリア窒素含有率とクロタラリアバイオマスとの相関（2016年8月，2017年9月）

注1) *** は $p < 0.001$ であることを示す。

注2) 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75, 0 : 100 はギニアグラスとクロタラリアの標準播種量を 100 としたときのギニアグラス : クロタラリアの相対播種量である。

図3 カバークロップの窒素含有量（2016年8月，2017年9月）

注1) Tukey-Kramer 法による多重検定により図中の同の英添字間において 5%水準で有意差がないことを示す。グラフ中の縦棒は標準誤差を示す。

注2) 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75, 0 : 100 はギニアグラスとクロタラリアの標準播種量を 100 としたときのギニアグラス : クロタラリアの相対播種量である。

2) カバークロップの窒素含有率と C/N 比

カバークロップの窒素含有率では，2016 年のギニアグラスにおいて 75 : 25 区でギニアグラス単作区より高かった（表 1）。クロタラリアでは混作により窒素含有率が増加する傾向が認められた（表 2）。2017 年のクロタラリアで 75 : 25 区において窒素含有率は 2.7% とその他の処理区よりも高かった。とくにクロタラリアの播種比率が高いほど窒素含有率が低かった（図 2）。ギニアグラスでは播種比率と窒素含有率の間に相関関係は認められなかった。

カバークロップの C/N 比は，2016 年ではギニ

アグラス単作区で 23.7 と最も高かった（表 1）。これに対し，クロタラリアでは処理区による有意差はみられなかった（表 2）。また，2017 年はクロタラリア単作区で 19.9 とその他の区よりも高い値を示したが，ギニアグラスでは処理区による有意差はみられなかった。ギニアグラス単作区の C/N 比は 2016 年では 23.7，2017 年では 16.8 と年次間で 6.9 の差（ $p < 0.001$ ）があった。一方，クロタラリア単作区は 2016 年では 14.7，2017 年では 19.9 と年次間で 5.2 の差（ $p < 0.01$ ）がみられた。カバークロップ地上部合計の C/N 比を処理間で比較すると，2016 年のギニアグラス単作

図4 カバークロップ播種期における0-90 cm層の土壌硝酸態窒素濃度（2016年6月，2017年7月）
注）グラフ中の横棒は標準誤差を示す。

図5 カバークロップ刈取期における0-90 cm層の土壌硝酸態窒素濃度（2016年8月，2017年9月）
注1）グラフ中の横棒は標準誤差を示す。
注2）100：0，75：25，50：50，25：75，0：100はギニアグラスとクロタラリアの標準播種量を100としたときのギニアグラス：クロタラリアの相対播種量である。

区（23.7）ではその他の処理区よりも有意に高い値となった（表3）。2017年ではクロタラリア単作区が19.9とその他の処理区より有意に高い値を示した。このように単作ではC/N比が年次間において大きく変動したのに対し，混作区では2年間を通じて処理間での差は小さく，16.3-18.3の値を示した。

3) 地上部窒素含有量

地上部窒素含有量は地上部バイオマスや播種量に大きく影響された（図3）。2016年はカバーク

ロップ作付区では裸地に比べて有意な差がみられたが，カバークロップの処理間での差はみられなかった。2017年でクロタラリア単作区と比べてギニアグラス単作区，75：25区および50：50区で有意に高い値を示した。

4) 土壌無機態窒素

播種期の土壌硝酸態窒素濃度は，2016年と2017年で年次間差がみられ2017年が高かった（図4）。層位別にみると2016年では40-45 mg/kg，2017年では73-85 mg/kgの範囲であり層位別に

よる差は特にみられなかった。

土壌アンモニア態窒素についてはサンプリング時期によって差がみられ刈取期よりも播種期が高かったが、処理間での差異はなかった（データ省略）。刈取期の土壌硝酸態窒素濃度では、2016年は0–90 cm層において、裸地でカバークロップ作付区より有意に硝酸態窒素濃度が高かった（図5）。2017年では0–30 cm層で、カバークロップ作付区と比べ裸地で硝酸態窒素濃度が高かった。しかし、30–90 cm層ではいずれの処理区でも差はなかった。

4. 考察

夏作カバークロップが耕地環境において最も期待される効果は有機物供給能力であるが（Magdoff 2004）、カバークロップのバイオマスは天候条件などにより大きく異なる（Komatsuzaki and Waggener 2015）。今回の試験では、カバークロップのバイオマスは2016年より2017年が高かった。両年の生育期間中の積算降水量および積算気温も2016年より2017年が高くなり、このことがバイオマス生産に影響したものと考える。また、両年において播種方法も異なっていたことも考慮する必要がある。

2016年と2017年の合計相対収量を比較すると2016年では0.76–0.80に対し2017年では1.02–1.07を示している（表3）。2017年において、それぞれの草種における相対収量が向上した要因としては条播による影響が考えられる。ギニアグラスとクロタラリアの生育速度をみると、2016年と2017年ともに播種後40–50日までの草高はクロタラリアが先行し、その後はギニアグラスの生育が旺盛となりクロタラリアを追い越していた（データ省略）。このような生育速度の差異は条播と散播の条件下でも生じたものと考えられる。特に条播であると雑草防除が容易に行えるのに対し散播では防除を行うことができず、雑草の混入が確認された。このような雑草の侵入によってもそれぞれの相対収量の差異に影響を及ぼしたものと考える。

本研究では、夏作カバークロップの窒素含有率が単作および混作により大きく異なった点が注目される。さらに、カバークロップの分解特性としてC/N比をみると、2016年ではギニアグラス単作区が最も高かったのに対し、2017年ではクロ

タラリア単作区が最も高かった。ギニアグラス単作区のC/N比は2017年のほうが2016年に比べ6.9低くなっていた。播種期の土壌硝酸態窒素濃度では、2017年は0–30 cmで73 mg/kgと2016年よりも30 mg/kg以上高い濃度であった。このことがギニアグラスのC/N比に影響した可能性がある。一方でクロタラリア単作区のC/N比は2017年で2016年よりも5.2高くなった。このようなクロタラリアのC/N比の年次間差は生育期間や降水によって影響を受けるとする糟谷ら（2010）の報告と同様であった。マメ科における窒素含有量は窒素吸収量と根粒菌による窒素固定量がある。クロタラリアの窒素含有率は2016年と比べて2017年で0.7%低くなっていたことや播種期の硝酸態窒素濃度の違いがあったことから窒素吸収量や窒素固定量に年次間で差があった可能性がある。今後、これらについても検討する必要がある。このように、単作条件下では個々のカバークロップのC/N比が年次間において大きく変化したのに対し、混作区のC/N比は年次間において大きな差はなかった。このことは、単作よりも混作のほうが安定したC/N比のカバークロップを提供できる可能性があり、今後さらに検討する必要がある。

カバークロップの環境保全機能として、窒素溶脱防止効果大きい。これは、カバークロップの窒素吸収により、土壌中の硝酸態窒素濃度が減少するためである。2016年では0–90 cmで低い硝酸態窒素濃度を示し溶脱が抑制されたが、2017年では30–90 cmで裸地とは差が見られなかった。これは2016年と2017年の降水・気温パターンの差異の影響が考えられる。とくに、2017年は播種直後の7月上旬に全降水量の約47%の降雨が集中して降っており、カバークロップの生育が小さい時期のため硝酸態窒素の溶脱が生じた可能性が高い。そのため溶脱した硝酸態窒素が9月の硝酸態窒素濃度に反映したと考える。しかし、刈取後の0–30 cmでは両年ともに裸地よりもカバークロップ作付区で硝酸態窒素濃度が低下し溶脱が抑制されたものと考えられる。

夏作カバークロップの混作のメリットを考えると、気候条件、播種条件や耕地環境などが変化する中で、イネ科およびマメ科のカバークロップを混作することで、バイオマス生産や養分吸収が安定する傾向が認められた点は興味深い。とく

に、イネ科カバークロップが高い C/N 比を示してもマメ科がそれを低減し、地上部合計 C/N 比を改善することが認められる等、土壌の肥培管理的なメリットが大きい。

夏作カバークロップは植物体として前作の残留養分を吸収し圃場に養分を保持することからも夏作作物の休閑期間への導入や秋・冬作作物の生産に寄与することが期待される。特に多肥傾向にある野菜生産の現場では夏作カバークロップの利用は作物生産と環境負荷軽減に大きく貢献できる。また、地球温暖化に伴う近年の異常気象の頻発は今までとは異なる気候パターンを生じ、作物生産体制を不安定化させる要因となっている。この中でカバークロップによる硝酸態窒素の溶脱抑制は単作と同等の効果が混作でも認められた。特にイネ科のギニアグラスは気候条件や圃場の窒素条件に左右されやすいが、マメ科のクロタラリアと混作することによりバイオマス生産能の維持と C/N 比改善など安定的なカバークロップ利用を可能とすることが期待される。

謝辞

本研究の遂行に当たり、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センターの荒城雅昭氏およびカネコ種苗株式会社の西本淳氏並びに茨城大学農学部の岡山毅氏に多大なるご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- Abdul-Baki A A, Morse R D, Teasdale J R and Devine T E (1997) : Nitrogen requirements of broccoli in cover crop mulches and clean cultivation, *Journal of Vegetable Crop Production* 3 (2) : 85-100.
- Asagi N and Ueno H (2009) : Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various ¹⁵N-labelled green manures, *Plant and Soil* 322 : 251-262.
- 大門弘幸 (2017) : 緑肥作物の栽培と利用, 牧草と園芸 65 (3) : 1-6.
- 平田聡之・野口大輔・荒木 肇 (2017) : 北海道道央部の 2 つの春コムギ栽培体系におけるヘアリーベッチ導入による窒素肥料の削減, 農作業研究 52 (3) : 133-142.
- Holderbaum J F, Decker A M, Meisinger J J, Mulford F R and Vough L R (1990) : Fall-seeded legume cover crops for no-tillage corn in the humid east, *Agronomy Journal* 82 (1) : 117-124.
- 糟谷真宏・廣戸誠一郎 (2010) : 秋冬キャベツ栽培の夏季休閑期への緑肥作物導入による窒素収支の改善, 愛知農総試研報 42 : 141-146.
- 北上 達・大久保憲秀・山本敏夫 (1992) : クロタラリア・スペクタビリスによるサツマイモネコブセンチュウ制御技術, 関西病虫害研究会報 34 : 33-34.
- 気象庁 (2017) : 茨城県土浦アメダスデータ, http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=40&block_no=0324&year=&month=&day=&view=. (2018 年 2 月 6 日閲覧).
- Komatsuzaki M. (2002) : New cropping strategy to reduce chemical fertilizer application to silage corn production using subterranean clover reseeded, *Japanese Journal of Farm Work Research* 37 : 1-11.
- 小松崎将一 (2004) : 畑作でのカバークロップ利用, 農作業研究 39 (3) : 157-163.
- 小松崎将一 (2009) : 黒ボク土壌水田での裏作カバークロップの窒素吸収量と土壌窒素の動態, 農作業研究 44 (4) : 201-210.
- Komatsuzaki M and Waggener M G (2015) : Nitrogen recovery by cover crops in relation to time of planting and growth termination, *Journal of Soil and Water Conservation* 70 (6) : 385-398.
- Kuo S, Sainju U M and Jellun E (1996) : Winter cover cropping influence on nitrogen mineralization, pre-sowing soil nitrate test, and corn yields, *Biology and Fertility of Soils* 22 (4) : 310-317.
- 水久保隆之 (2005) : 対抗植物、天敵微生物等を利用した線虫防除技術, https://www.naro.affrc.go.jp/training/files/2005_1-06.pdf. (2017 年 11 月 10 日閲覧).
- Magdoff F, Weil R R (2004) : Soil organic matter in sustainable agriculture, CRC press, Boca Raton, Florida.
- 農林水産省 (2017) : 環境保全型農業直接支払交付金 平成 28 年度実施状況, http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/mainp.html (2017 年 10 月 22 日閲覧).

- 小川吉雄 (2000) : 地下水の硝酸汚染と農法転換
－流出機構の解析と窒素循環の再生, 農山漁
村文化協会.
- 大橋 哲・俣野 修 (2003) : 黒ボク土野菜畑に
おける牛ふんおがくず堆肥および被覆肥料由
来窒素の溶脱, 日本土壤肥科学雑誌 74(5) :
631-635.
- 大林延夫・森東海雄 (1989) : ギニアグラス及び
マリーゴールドの栽培によるキタネグサレセ
ンチュウの防除効果, 関東東山病虫害研究会
年報 36 : 204-206.
- Rasmussen J, Eriksen J, Jensen E S, Esbensen, K
H and Hogh-Jensen H (2007) : In situ carbon
and nitrogen dynamics in ryegrass-clover
mixtures: Transfers, deposition and leaching,
Soil Biology and Biochemistry 39(3) : 804-815.
- Sainju U M, Singh B P and Whitehead W F (1998) :
Cover crop root distribution and its effects on
soil nitrogen cycling, Agronomy Journal 90 :
511-518.
- Sugihara Y, Ueno H, Hirata T and Araki H (2013) :
Uptake and distribution of nitrogen derived
from hairy vetch used as cover crop by tomato
plant, Journal of the Japanese Society for
Horticultural Science 82(1) : 30-38.
- Sugihara Y, Ueno H, Hirata T, Komatsuzaki M and
Araki H (2016) : Contribution of N Derived
from a Hairy Vetch Incorporated in the
Previous Year to Tomato N Uptake under Hairy
Vetch-tomato Rotational Cropping System, The
Horticulture Journal, 85(3) : 217-223.
- 樽井 新・松村 篤・大門弘幸 (2011) : ヘアリー
ベッチとエンバクの混作における養分動態と
後作トウモロコシへの緑肥効果, 第 232 回日
本作物学会講演会 P 82.
- Xiao Y, Li L and Zhang F (2004) : Effect of root
contact on interspecific competition and N
transfer between wheat and fababean using

direct and indirect 15N techniques, Plant Soil
262 : 45-54.

Abstract

Gramineae and Leguminosae are used as summer
cover crops in monoculture; however, their biculture
system has not been studied well. This study
compared the effects of biculture of summer cover
crops on biomass production and nitrogen leaching
in the fields of the Field Science Education Center,
Ibaraki University. The fields were seeded using
different seeding ratios of guinea grass (*Panicum
maximum* Jacq. cv. Natsukaze) and crotalaria
(*Crotalaria spectabilis* Roth. cv. Nemaclan). We
prepared six combinations of the biculture in
the following seeding ratios: 100:0 (guinea grass
monoculture), 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 (crotalaria
monoculture), and 0:0 (bare). In 2016, the above-
ground biomass of the cover crop, the C/N ratio, and
the amount of absorbed carbon were highest in the
harvested guinea grass monoculture crop compared
with the other seeding ratios. In 2017, the above-
ground biomass in the guinea grass monoculture crop
and in the 75:25 biculture crops were almost similar,
while it was lowest for crotalaria monoculture crop.
On the other hand, the C/N ratio was the highest in
the crotalaria monoculture crop. The concentration of
nitrate in the soil decreased significantly due to the
cover crop uptake in the both years. The results of
these two years showed that it is possible to increase
the decomposability of the residue and promote the
supply of organic matter necessary for agricultural
productivity of the land, securing biomass production,
by lowering the C/N ratio.

Key Words

biculture, crotalaria, guinea grass, nitrogen reaching