

機関番号：82111
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2010
 課題番号：19780015
 研究課題名（和文） 緑肥作物を用いた種多様性によるバイオマス増加、安定への効果とそのメカニズムの解析
 研究課題名（英文） Mechanism of high biomass production and stability of intercropped green manure species
 研究代表者
 宮沢 佳恵（MIYAZAWA KAE）
 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター・カバークロープ研究チーム・主任研究員
 研究者番号：40370613

研究成果の概要（和文）：

数種の植物を混植すると生産性が高まることが知られているが、そのメカニズムとして、光や養水分が相補的に利用されるためであると考えられている。しかし、養分の相補的利用を考える上で重要な形態的特性である根の分布パターンは、混植した圃場条件では測定が困難なためほとんど行われてこなかった。そこで、新たに開発されたマルチカラー根染色法を用いて、単植と混植両方の3種類の緑肥作物の根の分布パターンを調査した。

ソルガムは、他の植物と混植にすると、単植に比べて根の分布が深くなり、混植によるバイオマスの増加にもっとも貢献していた。クロタラリアは単植、混植ともに深い根の分布パターンを示した。ヒマワリは根の分布が浅く、混植にすると特に降雨の少ない条件で著しく生育が劣った。本研究で明らかになった根の分布パターンは、それぞれの植物の混植での地上部の生育パターンの密接に関わっていた。

研究成果の概要（英文）：

Greater productivity under intercropping has been attributed to the complementary use of environmental resources. However, the rooting pattern of component species under intercropping, which is an important morphological feature considering the complementary uptake of nutrients, has been studied only rarely under field conditions because of inherent technical difficulties. I examined rooting patterns of three green manure species, both sole cropped and intercropped, using a newly developed multi-color staining technique.

Sorghum distributed roots deeper under intercropping than under sole cropping; it was the most important contributor to increased biomass under intercropping. Crotalaria had a deep rooting system under both sole cropping and intercropping. Sunflower, with a shallow rooting system, was suppressed extremely under intercropping, possibly because of water deficiency in late in the season. The rooting patterns of green manure species examined using multi-color staining were related closely to the aboveground performance of these species under intercropping.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	216,176	64,852	281,028
2009年度	683,824	205,147	888,971
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
総計	3,200,000	569,999	3,769,999

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・作物学・雑草学

キーワード：混植、環境変動、相互作用、マルチカラー染色、密度効果

1. 研究開始当初の背景

植物の種多様性と生産性や安定性との間には正の相関関係があることが示されている。植物種の多様化に伴って生産性が増加するメカニズムとしては、養分、水分、光が相補的に利用され、土地面積あたりの資源の利用効率が上がることや、植物同士のプラスの相互作用があることが挙げられる。安定性が増加するのは、様々な環境変動に対する反応が種毎に異なるため、変動に対する適応種がそれまでの優占種に代わって優占することなどにより、全体としてのバイオマスがある程度一定に保たれるためであると考えられている。

しかしながら、農業生産の現場においては、収穫や栽培管理の効率が劣るため、単一栽培が行われることが多い。したがって、根や地上部が同型で、養分吸収機構も同質となる単一栽培では、生育密度を増やしても一定以上の生産量は得られず、養分の利用効率が低いため土壌や水系への環境負荷はより大きくなる。また、近年特に顕著になっている年毎の気象変動に対する安定性も低い。

2. 研究の目的

本研究では、種多様性の高い植生に見られる現象を応用できる可能性のある緑肥作物の栽培において、種多様性の効果を検証し、そのメカニズムを解析する。緑肥作物の栽培も通常単一栽培で行われているが、管理が単純で収穫作業を必要としないため混植栽培が可能である。種多様性の効果が緑肥作物でも引き出されるならば、混植栽培によりバイオマスの増大と、環境変動に対して安定したバイオマス獲得が可能になる。また、単一栽培では回収しきれない養分を、養分獲得形態が異なる緑肥作物を混植で利用することによって回収できる。

3. 研究の方法

試験に用いる緑肥作物として、マメ科植物、C4植物、C3植物のそれぞれの植物グループから播種時期が同じで、乾物収量が多く、アレロパシー効果の影響の少ないクロタラリア（マメ科）、ソルガム（C4）およびヒマワリ（C3）を選定した。マメ科植物は窒素固定を行うため他植物との窒素での競合が少なく、混植で他の植物のバイオマスを増す傾向があることが知られている。C4植物は、他グループの植物と光合成システムが異なり、高温、乾燥、貧栄養条件等の条件下で、他グル

ープの植物に比べてバイオマス確保と養分回収能力に優れているといわれている。C3植物は、低温、日照不足、富栄養等の条件ではC4植物よりもエネルギーの利用効率がよく生育が優れていることが示されている。

処理設計として、3種それぞれの単作、2種ずつの組み合わせの混作、3種類の混作の計7種類で乱塊法にて3反復で圃場に配置した。

2007年から2009年にかけて、気象条件および土壌窒素条件の異なる4作期それぞれにおいて生育と収量、および葉面積等の生長解析の構成要素を調査した。また、2007年の2作期では、それぞれの区画内に30Lの不織布ポットを埋め、生育途中で掘りあげて種毎に異なる色の染色液を注入することで根を染め分け（マルチカラー根染色）、深さ別の種毎の根域分布の解析を行なった。

4. 研究成果

(1) 混植によるバイオマス増加について
地上部バイオマスは、単作にくらべて混作で夏作、秋作ともに有意に増加した（図1）。

混作でのバイオマス増加のメカニズムとして、①光環境の改善、②養水分条件の改善、および③植物同士のプラスの相互作用の関与の可能性についてそれぞれ検討を行った。

①光環境の改善

一般的に、光環境がよいと植物のSLA（葉面積/葉重、値が大きいほど葉が薄いことを示す）は小さくなり、LWR（葉重/全体重、値が大きいほど葉への投資量が大きいことを示す）が大きくなる。しかし、混作条件では単作条件にくらべ、ヒマワリのSLAは大きく、ソルガムやヒマワリのLWRは小さくなる傾向が見られた（図2）。したがって、混作により光環境が改善された兆候は確認されなかった。

②養水分条件の改善

ソルガムの窒素含有量は単作に比べ混作で増加、クロタラリアでは減少する傾向が見られ、ヒマワリでは特に変化は見られなかった（図3）。地下部を深さ別に解析を行った結果、ソルガムの単・混作の処理と深さの間に交互作用が有意に検出された。すなわち、ソルガムでは単作の場合には深くなるにつれて根の量が減少するが、混作にすると深さ20cm以降の根量が増加する傾向が見られた（図4）。したがって、ソルガムに関しては、養水分条件が混作により改善した可能性があるが、クロタラリア、ヒマワリに関しては

その傾向は確認されなかった。

③植物同士のプラスの相互作用

4種類の組み合わせ(S+C, C+H, S+H, S+C+H)において、それぞれの植物のバイオマスの推移を単作時と比較すると、ソルガムはクロタラリアおよびヒマワリとの組み合わせ時に単作条件より生育がよく、クロタラリアはヒマワリとの組み合わせ時に生育がよくなった(図5)。しかし、ヒマワリはどの組み合わせでも単作条件に比べて生育が劣った。したがって、プラスの相互作用で構成種それぞれのバイオマスが大きくなるという傾向は確認されなかった。

以上より、緑肥作物の混作によりバイオマスの増加は、光や養水分の条件、プラスの相互作用よりも、混作条件で他種よりも有利な種のバイオマス増加に起因するところが大きいと考えられる。特にソルガムが他の植物に比べて大きくなる傾向があり、そのメカニズムの一つとして、ソルガムが混作条件でより深く多くの根を分布するという、根の分布パターンの可塑性をもっているためであることが考えられる

(2) 混植によるバイオマスの安定について

カバークロップのバイオマスは年次や季節によって異なった(図6)。特に、ソルガムは堆肥を投入した直後の2008年にバイオマスが大きく、クロタラリアはキャベツ栽培後で無機態窒素量が高かった2009年にバイオマスが少なくなった(表1)。2008年では播種前に牛糞堆肥を投入したため、全体的に区間のばらつきが大きくなったと考えられる。2009年はキャベツの作付けを行った跡地であるため土壌の無機態窒素含有量が大きく(表1)、マメ科のクロタラリアが抑制されたと考えられる。

4作を平均すると収量はソルガム+クロタラリア、ソルガム+ヒマワリ、および3種の混作で大きく、変動係数も小さくなった(表2)。混作した場合、特にソルガムが他の植物に比べて大きくなる傾向があり、これがソルガムが入った混作で収量および安定性が高くなった要因のひとつである可能性がある。

窒素吸収量では、混作において増加あるいは安定するという傾向は認められなかった(表2)。ソルガムの窒素含有量は低いため、他の植物の窒素吸収量の減少をカバーしきれないことが考えられる。

以上より、緑肥作物の混作は、単作に比べて収量および安定性の増加の可能性を高めると考えられる。一方で、窒素吸収量に関しては必ずしも混作で増加するわけではない可能性が示された。

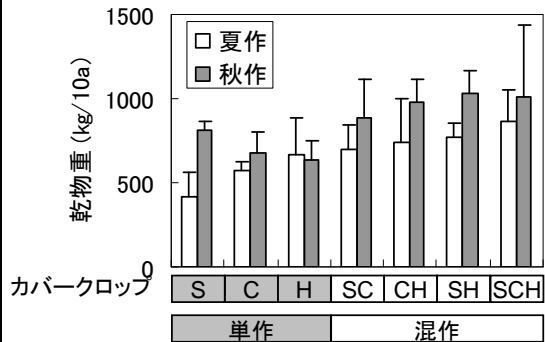


図1. 緑肥作物の収穫時の地上部バイオマス。S:ソルガム(グリーンソルゴー) C:クロタラリア(ネマコロリ) H:ヒマワリ(ロシアヒマワリ) 標準栽培時の収量(種苗会社のカタログによる)は、それぞれ700~900, 400~500, 400~700kg/10a。

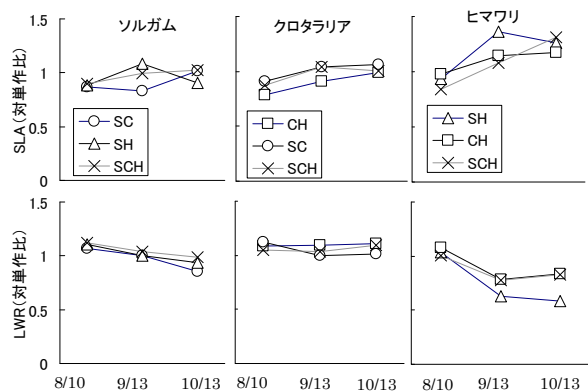


図2. 秋作の緑肥作物の混作条件でのSLAおよびLWRの推移。値はそれぞれの混作構成種について、単作に対する値の比(値が1の時は単作と同等であることを示す)。

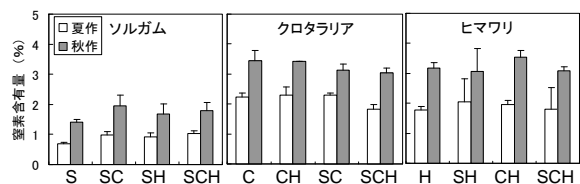


図3. 夏作・秋作の収穫時のそれぞれの構成種の窒素含有量。

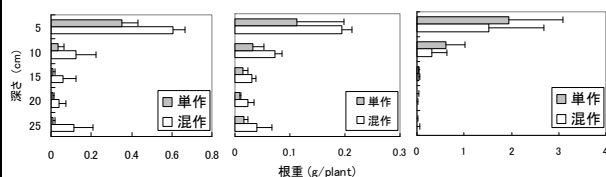


図4. 秋作の根の分布。混作のデータは3種類混作のもの。左からソルガム、クロタラリア、ヒマワリ。

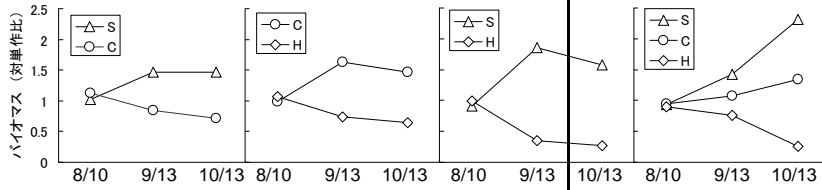


図 5. 秋作での混作での組みあわせそれぞれについて、構成種のバイオマスの推移。値は単作時のバイオマスに対する比。

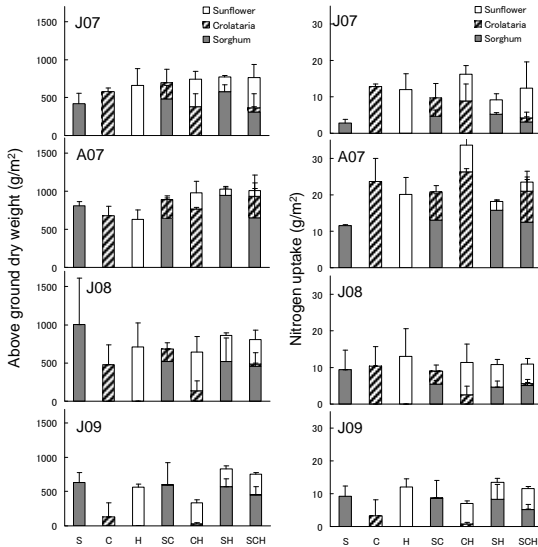


図 6.4 作期の緑肥作物の収量と窒素吸収量。それぞれの作期は
 J07 (2007年6月11日～8月23日)
 A07 (2007年8月3日～10月13日)
 J08 (2008年6月10日～8月12日)
 J09 (2009年6月12日～8月13日)

表 1. それぞれの作期の播種時の土壌無機態窒素含有量

	NO ₃ -N NH ₄ -N	
	(mg/kg soil)	
J07	0.08	8.1
A07	8.4	8.6
J08	2.2	1.1
J09	15.7	4.2

表 2. 収量および窒素吸収量の平均と変動係数

	Biomass		Nitrogen uptake	
	(g/m ²)		(g/m ²)	
	Average	C.V.	Average	C.V.
S	715.3	34.7	8.2	45.2
C	465.5	51.1	12.5	67.5
H	642.1	9.8	14.3	27.4
SC	717.1	17.1	12.0	48.7
CH	675.4	39.8	17.1	68.3
SH	873.1	12.7	12.9	30.6
SCH	832.1	14.5	14.6	40.4

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

① Kae Miyazawa, Toshifumi Murakami, Masae Takeda, Tohru Murayama
 Intercropping green manure species-effects on rooting patterns, Plant and Soil, 査読有、2010、331 巻、pp. 231-239
 100-125

② 宮沢佳恵、村上敏文、武田容枝、村山徹
 不織布ポットの埋設によるマルチカラー染色法の野外試験への適用、カバークロップ研究会、査読無、2010、4 巻、pp. 62-64

③ Kae Miyazawa, Masae Takeda, Tohru Murayama, Kazuhiro Watamabe
 Combining pre-transplanting phosphorus application and green manure incorporation: a trial for reducing fertilizer input, Soil Science and Plant Nutrition, 査読有、2011、57 巻、pp. 128-137

〔学会発表〕(計3件)

① 宮沢佳恵、村上敏文、村山徹、武田容枝
 緑肥作物の混作によるバイオマス増加への効果とそのメカニズムの解析、2008年3月27日、日本作物学会、つくば市

② 宮沢佳恵、武田容枝、村上敏文、村山徹
 緑肥作物を混作するとなぜバイオマスが増加するのか? 2008年9月9日、日本土壌肥料学会、名古屋市

③ 宮沢佳恵、武田容枝、村上敏文、村山徹
 緑肥作物の混作によるバイオマス増加と安定性への効果 2010年8月1日 東北農業研究センター・日本雑草学会合同シンポジウム、福島市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮沢 佳恵 (MIYAZAWA KAE)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター・カバークロップ研究チーム・主任研究員

研究者番号: 40370613