

沖縄県におけるソバの生育量と収量に及ぼす前作緑肥としての *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis* および *Sesbania rostrata* の施用効果の比較

鬼頭誠^{1,2)}

(¹⁾ 琉球大学農学部, (²⁾ 鹿児島大学大学院連合農学研究科)

要旨：本研究では、沖縄県でソバ栽培が行われない5月から9月に雑草防除や土壌流亡の軽減を目的とした3種緑肥作物（クロタリヤ属のジュンシアとスペクタビリスおよびセスバニア属のロストラータ）の生育量とソバに対する肥料効果を緑肥間で比較した。生育量と各種成分含有量はスペクタビリスで小さく、ジュンシアとロストラータは同程度であった。ただし、マグネシウム含有量はロストラータよりジュンシアで明らかに大きかった。緑肥施用後の無施肥で栽培した10月播きソバの生育量と子実重は概ね緑肥の施用量に応じており、特にロストラータを施用した場合には緑肥無施肥で化学肥料を施肥した場合と同程度であった。10月播きソバ栽培後に全ての処理区に同量の化学肥料を施肥して栽培した2月播きソバでは化学肥料区より緑肥施用区で生育量と子実重が高まる傾向が見られ、特にロストラータを施用した場合にその傾向が強かった。また、10月播きソバの播種54日後における初花節葉のSPAD値は緑肥施用区で化学肥料区より有意に高くなっており、子実の窒素含有率との有意な高い相関が認められた。緑肥施用区では無機態窒素の発現が化学肥料区より緩効化されるために生育後期まで窒素供給が持続することで側枝と側枝子実の発達が促されることが考えられた。

キーワード： *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *Sesbania rostrata*, 窒素無機化, 普通ソバ, 緑肥。

沖縄県での普通ソバ（以下、ソバ）の栽培は温暖な秋から春にまたがる10月下旬から5月上旬に連続して2作行うことが可能である。しかし、気温が高く台風も多く襲来する5月中旬から10月まではソバ栽培が行えない。そのため耕作放棄地の解消のためにソバ栽培を行なっている地域では無作付けになっている。またこの期間は梅雨や台風による多降雨時期であり、沖縄県の海洋汚染の原因になっている土壌流亡も懸念される。沖縄県での緑肥の利用はサトウキビに対する試験の報告はあるが、ソバに対する緑肥の施用効果に関する報告はない状況である（沖縄県農林水産部2006）。

クロタリヤ属の *Crotalaria juncea*（以下、ジュンシア）は窒素固定能が高く生育量も大きく、*C. spectabilis*（以下、スペクタビリス）とともに殺センチュウ機能を有しており各地で利用されている（Daimon ら 1995, Wang ら 2002, Kushida ら 2003, Daimon 2006, 岩崎・小松崎 2018）。また、セスバニア属の *Sesbania rostrata*（以下、ロストラータ）は同属の *S. cannabina* 以上に過湿条件での生育が可能であることが知られており（塩谷ら 1990, 大門 1999）、低リン耐性は *S. cannabina* と同程度以上であると報告されている（鬼頭 2022）。本報では、上述のような機能を有し広く利用されている3種の緑肥作物がソバの生育、収量および各種成分含有率に及ぼす影響を調べ、緑肥作物の施用効果を明らかにすることを試みた。

材料と方法

1. 試験区の設定

栽培試験を行った琉球大学農学部研究圃場（土壌タイプ：島尻マージ）は傾斜地に整備されたため、試験を開始した2017年の前年まで行った普通ソバ栽培では傾斜下部ほど生育量と収量が大きくなる傾向があった。そこで、3種緑肥（ジュンシア、スペクタビリスおよびロストラータ）の栽培区と緑肥無作付け区の4処理区を圃場の傾斜上部、中央および下部の3ブロックを設けた乱塊法で12区画を配置した。各区画は1.5 m × 1.2 m として区画間に0.5 mの間隔を空けた。また、試験開始前の各区画周辺に波板を土壌深10 cmまで差し込んで各土壌と施用後の緑肥の移動を抑制した。圃場は土壌表面を整地するだけで耕起は行わなかった。不耕起は2018年のソバ栽培試験を終えるまで継続した。したがって緑肥は鋤込まず表面施用した。

2. 緑肥施用前のソバの栽培およびその後の緑肥作物の栽培

2017年3月7日に各区画には条間0.3 mで4条、条長1.5 mとし窒素、リン酸、カリを各成分で2 g/m²相当量の化成肥料（高度化成 15-15-15）を用いて各条の土壌深3-5 cmの位置に側条施肥した。ソバ（品種 さちいずみ）は6 g/m²相当量を土壌深1 cm程度の位置になるよう4条に均等に播種した。同年5月19日まで栽培して各区画別に区画中央付近で平均的な生育を示した3個体の茎長、側枝数、主茎と側枝の花房数、子実数、子実重を測定した。

ソバ収穫後の2017年5月30日に全区画とも施肥は行わず、各緑肥作物を条間と株間が20 cmとして区画当たり35株となるように10粒点播し、6月30日までに間引いて株当たり1個体とした。また、ロストラータには予め単離してあった *Azorhizobium* sp. を1週間培養した菌懸濁液を6月20日に霧吹きで地上部に接種した。2種のクロタリア属には根粒菌の接種は行わなかった。

緑肥作物の生育量調査は各区画の中央付近の平均的な生育を示した2個体を8月31日に刈り取り、茎長および葉と茎の新鮮重と、70℃で72時間以上通風乾燥後の乾燥重を測定した。この2個体以外の区画内の個体も同日に全て地際で刈り取り新鮮重を測定し、2個体の測定値から換算して区画内の葉と茎の乾燥重を求めた。3種緑肥作物とも区画による生育量の差異が大きく、緑肥施用量を均等にするために、下記の量（重量はいずれも新鮮重）の緑肥を区画間で移動した。ジュンシアでは生育量の大きかった1区画から小さかった1区画に1.3 kg、スペクタビリスでは生育量の小さかった区画に他の2区画から各1.0 kg、ロストラータでは生育量の小さかった区画に生育量の最も大きかった区画から4.0 kgと次いで大きかった区画から1.0 kgを移動して、各緑肥区の生育量調査日に表面施用した。なお、乾燥重を測定した個体の約5 gは各種成分分析に用い、それ以外はそれぞれの区画に施用した。各種成分の含有率は各区画の緑肥別に行ったが、各種成分還元量は含有率×乾物還元量で求め、移動元の各緑肥の成分含有率と移動した乾物還元量から換算して各区画への各種成分還元量とした。

3. 緑肥施用後のソバの栽培

緑肥施用後の10月25日に10月播きソバを緑肥栽培前の2017年3月播きソバと同様に播種した。ただし、緑肥無作付け区（以後、化肥区）は緑肥栽培前と同量の施肥を行い、3種の緑肥を施用した緑肥施用区（以後、ジュンシア施用区はjun区、スペクタビリス施用区はspe区、ロストラータ施用区はros区）は無施肥とし、12月18日（播種54日後）に初花節葉のSPAD値を各区画の中央付近の5個体で調査し、12月31日には平均的な生育をした中央付近の3個体の茎長、側枝数、主茎と側枝の花房数、葉重、茎重、子実数、子実重を測定した。そして、2018年1月3日に各区画の子実重を調査した。

10月播きソバ収穫後の2月13日に全ての処理区とも2017年3月播きソバと同量の施肥を行い、2月播きソバを播種した。初花節葉のSPAD値の測定は4月3日（播種49日後）に行い、10月播きソバと同様に各区画中央付近の5個体のソバの生育量調査と区画全体の収量調査を4月23日に行なった。

4. 緑肥の各種成分の分析法

緑肥の全炭素と全窒素含有率は元素分析装置（住友化学SUMIGRAPH NC-220F）で、リン含有率は乾式灰化後に

第1表 2017年緑肥栽培前に栽培したソバ播種時の土壌の成分組成。

| 項目 | |
|----------------------------------------------|-------|
| pH | 7.5 |
| EC (mS/m) | 8.3 |
| 全炭素 (g/kg) | 5.5 |
| 全窒素 (g/kg) | 0.8 |
| C/N | 6.8 |
| 無機態窒素 N (mg/kg) | 31.1 |
| 全リン (g/kg) | 3.4 |
| Ca 型リン (mg/kg) | n.d. |
| Al 型リン (mg/kg) | 175.6 |
| Fe 型リン (mg/kg) | 886.3 |
| リン酸吸収係数 (g/kg) | 12.0 |
| 交換性陽イオン (mmol _c ⁺ /kg) | K |
| | Ca |
| | Mg |
| | 4.2 |
| | 185.0 |
| | 14.6 |

1:30 (v:v) 硝酸液に溶解してバナドモリブデン酸法で比色定量して求めた (Kretzschmar ら 1991)。また、カリウム、カルシウム、マグネシウム含有率は硫酸-過酸化水素分解 (水野・南 1980) した後、原子吸光光度計 (日立ハイテク Z2010) で定量した。

5. 土壌成分の分析法

2017年と2018年の2月播きソバ播種時、2017年の緑肥播種時、10月播きソバ播種時に各区画につき9ヶ所から線虫スコップ（内径25 mm、コテ長200 mm、藤原製作所）を用いて土壌深10 cmまでの土壌を採取し、混和した後に風乾して粒径を2 mm以下とし、既報と同様に常法にしたがい理化学性を求めた (鬼頭 2019)。ただし、本試験開始時の2017年のソバ播種時は区画別ではなく試験圃場全体から15ヶ所の土壌を採取して混和したものを用いて分析した (第1表)。

6. 統計処理法

3種緑肥の生育量と各種成分含有量、および各区画のソバの生育量と子実収量の結果はTukey法により多重比較検定した。ソバの子実重に及ぼす形質などを明らかにするための相関分析は、Pearson法で相関分析を行い、相関係数の有意性検定を行った。

結 果

1. 2017年2月播きソバの生育量と子実重

緑肥栽培前の2017年3月播きソバの生育量や子実重には、設定した処理区間に有意な差は認められなかった (第2表)。

2. 緑肥作物の生育量と成分含有率

2017年に栽培した緑肥作物の生育量は3種とも前作のソバと同様に区画間の差異が大きく有意差は認められない

第2表 各処理区に設定した区画の緑肥栽培前のソバの生育量.

| 処理区 | 茎長 (cm) | 側枝数 (No./ 個体) | 主茎花房数 (No./ 個体) | 側枝花房数 (No./ 個体) |
|-------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 化肥区 | 40.9 ± 2.4 | 2.8 ± 0.8 | 6.4 ± 0.6 | 17.3 ± 9.0 |
| jun 区 | 40.0 ± 2.2 | 1.9 ± 0.4 | 5.4 ± 0.6 | 4.0 ± 1.5 |
| spe 区 | 36.1 ± 1.3 | 2.9 ± 0.6 | 5.1 ± 0.5 | 12.3 ± 3.9 |
| ros 区 | 37.7 ± 1.4 | 3.2 ± 0.4 | 6.3 ± 0.4 | 11.9 ± 2.7 |
| 処理区 | 子実数 (No./ 個体) | 子実重 (g/ 個体) | 葉重 (g/ 個体) | 茎重 (g/ 個体) |
| 化肥区 | 71.8 ± 30.7 | 2.3 ± 1.0 | 0.9 ± 0.4 | 1.4 ± 0.5 |
| jun 区 | 28.6 ± 5.9 | 0.9 ± 0.2 | 0.2 ± 0.1 | 0.5 ± 0.1 |
| spe 区 | 45.5 ± 13.7 | 1.6 ± 0.6 | 0.6 ± 0.1 | 0.9 ± 0.2 |
| ros 区 | 58.8 ± 6.0 | 2.0 ± 0.2 | 0.7 ± 0.1 | 0.9 ± 0.1 |

平均 ± 標準誤差.

いずれの項目も処理区間に有意差なし (Tukey 法 $P < 0.05$, $n = 9$).

第3表 3種緑肥の生育量と乾物還元量.

| | 茎長 (cm) | 葉重 (g/m ²) | 茎重 (g/m ²) | 茎葉重 (g/m ²) | 葉割合 (%) |
|---------|--------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------|
| ジュンシア | 255.7 ^a | 363.2 ^a | 873.1 ^a | 1236.3 ^a | 29.7 |
| スペクタビリス | 104.3 ^b | 193.7 ^a | 150.5 ^a | 344.3 ^a | 59.0 |
| ロストラータ | 267.3 ^a | 342.5 ^a | 968.5 ^a | 1311.0 ^a | 28.2 |
| | 葉還元量 (g/m ²) | | 茎還元量 (g/m ²) | 茎葉還元量 (g/m ²) | |
| ジュンシア | 359.1 ^a | | 859.1 ^a | 1218.2 ^a | |
| スペクタビリス | 209.3 ^b | | 146.8 ^b | 356.2 ^b | |
| ロストラータ | 354.8 ^a | | 914.9 ^a | 1269.7 ^a | |

異なる英小文字は有意差のあることを示す (Tukey 法 $P < 0.05$).

もののジュンシアとロストラータは葉、茎ともにほぼ同程度の生育量を示し、スペクタビリスに比べて葉重で2倍弱、茎重で6倍程度、茎葉重で4倍程度大きかった (第3表). なお、乾物還元量は緑肥の種別に均等となるように調整をしたため生育量とは異なり、スペクタビリスでジュンシアとロストラータより有意に小さかった. 茎長もスペクタビリスは1m程度であったが、ジュンシアとロストラータは約2.5mと有意に高くなっていた. また、葉の乾物重割合はジュンシアとロストラータで30%程度であったのに対してスペクタビリスでは60%程度と高かった.

窒素含有率は葉ではジュンシアとロストラータは同程度であり、スペクタビリスで有意差はないが低くなっていた (第4表). そのため葉のCN比は3種とも20以下であったが、ジュンシア、ロストラータの順に低く、スペクタビリスではジュンシアより有意に高くなっていた. 一方、茎ではスペクタビリスの窒素含有率が高く、次いでロストラータ、ジュンシアの順に有意に低くなり、CN比はジュンシアで他の2種より有意に高くなっていた. リン含有率も窒素含有率と同様の傾向が見られ、葉ではジュンシアとロストラータで高く、茎ではスペクタビリスで高くなっていた. 葉のカリウムとカルシウム含有率は3種に有意な差異はなく、マグネシウム含有率はジュンシアでスペクタビリスとロストラータより有意に高くなっていた. 茎のカリ

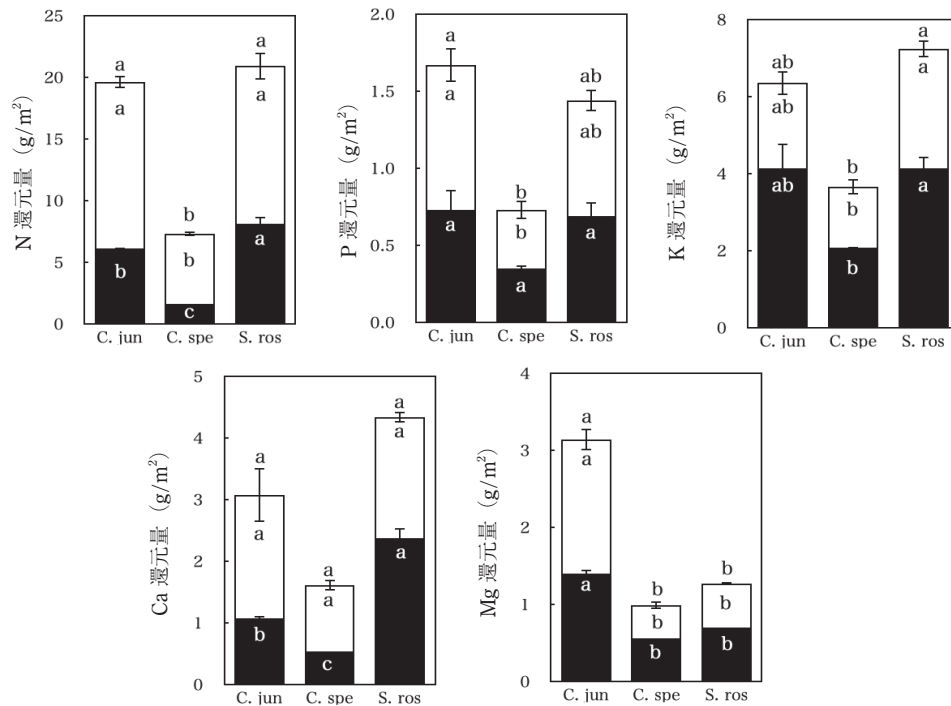
第4表 3種緑肥の各種成分含有率.

| | 窒素含有率 (g/kg) | | C/N | |
|---------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | 葉 | 茎 | 葉 | 茎 |
| ジュンシア | 37.9 ^a | 7.0 ^b | 11.6 ^b | 66.6 ^a |
| スペクタビリス | 28.0 ^a | 10.3 ^a | 15.6 ^a | 41.6 ^b |
| ロストラータ | 36.4 ^a | 8.8 ^{ab} | 13.0 ^{ab} | 52.7 ^b |
| | リン含有率 (g/kg) | | カリウム含有率 (g/kg) | |
| | 葉 | 茎 | 葉 | 茎 |
| ジュンシア | 2.4 ^a | 0.8 ^b | 6.3 ^a | 4.8 ^b |
| スペクタビリス | 1.9 ^a | 2.3 ^a | 7.7 ^a | 14.0 ^a |
| ロストラータ | 2.1 ^a | 0.7 ^b | 8.8 ^a | 4.5 ^b |
| | カルシウム含有率 (g/kg) | | マグネシウム含有率 (g/kg) | |
| | 葉 | 茎 | 葉 | 茎 |
| ジュンシア | 0.4 ^a | 1.2 ^b | 4.9 ^a | 1.6 ^b |
| スペクタビリス | 0.2 ^a | 3.6 ^a | 2.2 ^b | 3.7 ^a |
| ロストラータ | 0.3 ^a | 2.6 ^a | 1.7 ^b | 0.8 ^c |

異なる英小文字は有意差のあることを示す (Tukey 法 $P < 0.05$).

ウム、カルシウムおよびマグネシウム含有率はスペクタビリスで高い傾向にあり、ジュンシアでカルシウム含有率、ロストラータでマグネシウム含有率は他の2種に比べてかなり低くなっていた.

乾物還元量と各成分含有率の積で示す各成分含有量 (成



第1図 3種緑肥の各種成分還元量。

■ 茎 □ 葉

C. jun : ジュンシア C. spe : スペクタビリス S. ros : ロストラータ

異なる英小文字は緑肥種間に有意差のあることを示す (Tukey 法 $P < 0.05$, $n = 3$) .

カラム上部の英小文字は茎葉合計の検定結果。

エラーバーは標準誤差。

第5表 緑肥施用後に栽培した10月播きソバの収量関連形質と播種8週間後のSPAD値および子実収量。

| 処理区 | 茎長 (cm) | 側枝数 (No./ 個体) | 主茎花房数 (No./ 個体) | 側枝花房数 (No./ 個体) | 初花節花房 | | SPAD 値 | 子実収量 (g/m²) |
|-------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | | 花数 (No.) | 結実率 (%) | | |
| 化肥区 | 56.2 ^a | 3.1 ^a | 7.0 ^a | 10.1 ^{ab} | 32.6 ^{ab} | 24.5 ^a | 23.4 ^b | 121.5 ^A |
| jun 区 | 40.1 ^b | 2.8 ^{ab} | 6.1 ^a | 10.6 ^{ab} | 38.3 ^a | 19.5 ^{ab} | 28.6 ^a | 55.8 ^{AB} |
| spe 区 | 29.4 ^c | 1.9 ^b | 4.9 ^b | 3.6 ^b | 27.1 ^b | 13.3 ^b | 30.2 ^a | 21.4 ^B |
| ros 区 | 40.7 ^b | 2.9 ^{ab} | 6.1 ^a | 11.6 ^a | 34.6 ^{ab} | 20.6 ^{ab} | 31.2 ^a | 70.9 ^{AB} |

異なる英小文字は $P < 0.05$ で、英大文字は $P < 0.10$ で処理区間に有意差のあることを示す (Tukey 法)。

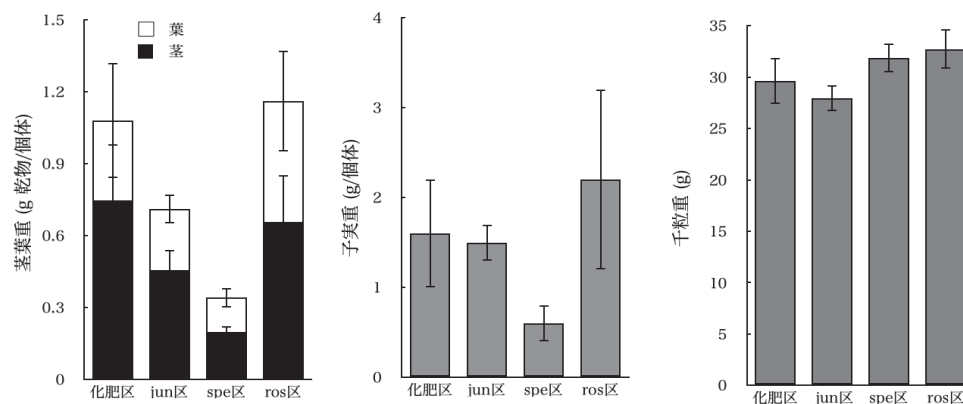
分還元量は、概ね乾物還元量を反映しており、スペクタビリスで最も少なくなっていた (第1図)。ジュンシアとロストラータでは窒素還元量は同程度であり、リン還元量はややジュンシアで多くなる傾向があった。カリウムとカルシウム還元量はロストラータで多くなる傾向が見られたが、マグネシウム還元量はロストラータで有意に少なく、生育量の小さかったスペクタビリスと同程度であった。

3. 緑肥施用後の10月播きソバと2月播きソバの生育量と子実重

緑肥施用後に栽培し、平均的な生育を示した3個体の10月播きソバの茎長は化肥区で最も長くなり、jun区とros区では同程度、spe区で最も短くなった (第5表)。葉重と茎重および子実重も有意差はないものの化肥区で最も

大きく ros 区 > jun 区 > spe 区の順に小さくなる傾向が認められ、概ね緑肥還元量を反映していた (第2図)。また、千粒重も処理区間に有意差はなかったが、jun区以外の緑肥区で化肥区より大きくなる傾向があった。区画当たりの子実重から換算した子実収量でも同様の傾向が見られ、spe区は有意に少なくなった。収量関連形質の側枝数、主茎および側枝花房数、初花節花房の花数と結実率はspe区で有意に低下した。jun区とros区は側枝数、主茎花房数、結実率で有意差はないが化肥区に比べてやや低下する傾向が見られたが (第5表)、子実重との相関係数が主茎花房数より高い側枝花房数はros区で化肥区より多くなる傾向も見られた (第5表、第7表)。

10月播きソバ子実の成分含有率は全ての成分とも有意差は認められず同程度であるが、窒素含有率は化肥区より



第2図 緑肥施用後に栽培した10月播きソバの生育量と子実重.

いずれの項目とも処理区間に有意差なし (Tukey法 $P < 0.05$, $n = 9$).

エラーバーは標準誤差.

第6表 緑肥施用後に栽培した10月播きソバ子実の各種成分含有率.

| 処理区 | N含有率 (g/kg) | P含有率 (g/kg) | K含有率 (g/kg) | Ca含有率 (g/kg) | Mg含有率 (g/kg) |
|------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 化肥区 | 15.6 | 2.74 | 4.32 | 0.37 | 1.90 |
| jun区 | 16.0 | 2.70 | 4.42 | 0.41 | 2.06 |
| spe区 | 16.5 | 2.42 | 3.76 | 0.35 | 1.78 |
| ros区 | 16.7 | 2.67 | 3.88 | 0.33 | 1.77 |

いずれの成分とも処理区間に有意差なし (Tukey法 $P < 0.05$).

第7表 緑肥施用後に栽培した10月播きソバ子実の子実重およびSPAD値と花房数、茎葉重、子実窒素含有率との相関係数.

| | 主茎花房数 | 側枝花房数 | 葉重 | 茎重 | 子実窒素含有率 |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 子実重 | 0.590* | 0.840** | 0.960** | 0.915** | 0.674* |
| SPAD値 | -0.258 | 0.277 | 0.573 | 0.219 | 0.858** |

*, **: 5%, 1%水準で有意 (Pearson法, $n = 12$).

第8表 10月播きソバ収穫後に栽培した2月播きソバの収量関連形質と播種8週間後のSPAD値および子実収量.

| 処理区 | 茎長 (cm) | 側枝数 (No./個体) | 主茎花房数 (No./個体) | 側枝花房数 (No./個体) | 初花節花房 | | SPAD値 | 子実収量 (g/m ²) |
|------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|
| | | | | | 花数 (No.) | 結実率 (%) | | |
| 化肥区 | 47.1 ^a | 1.9 ^a | 4.3 ^{ab} | 3.1 ^a | 30.5 ^a | 18.3 ^a | 27.8 ^a | 54.9 ^a |
| jun区 | 42.9 ^a | 1.3 ^a | 4.1 ^b | 3.7 ^a | 33.4 ^a | 18.0 ^a | 25.3 ^a | 31.4 ^a |
| spe区 | 46.6 ^a | 2.1 ^a | 4.3 ^{ab} | 4.1 ^a | 28.9 ^a | 24.6 ^a | 28.0 ^a | 51.1 ^a |
| ros区 | 48.2 ^a | 2.4 ^a | 5.5 ^a | 5.8 ^a | 36.1 ^a | 22.2 ^a | 28.0 ^a | 54.0 ^a |

異なる英小文字は処理区間に有意差のあることを示す (Tukey法 $P < 0.05$).

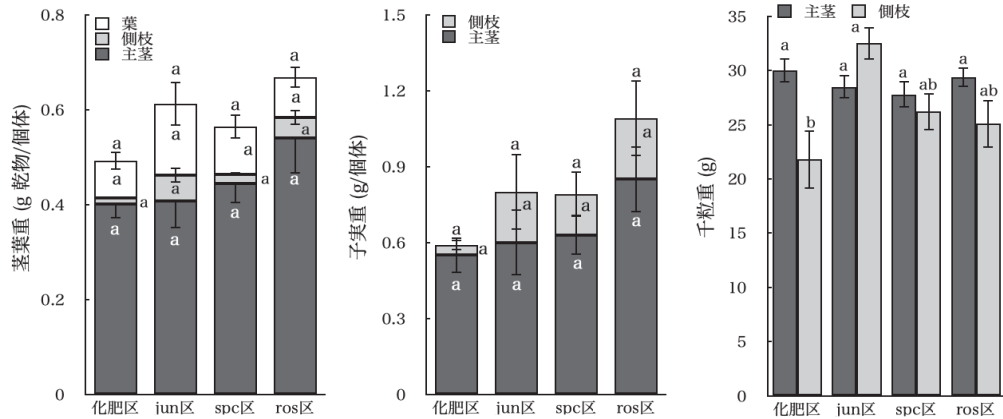
緑肥区で高くなる傾向が見られ、それ以外の成分ではjun区を除いた緑肥区で化肥区より低くなる傾向が見られた (第6表).

また、播種8週間後の初花節葉のSPAD値は化肥区に比べて緑肥区で有意に高くなっており、特にros区で最も高まっていた (第5表). なお、SPAD値は子実重との相関は見られなかったものの子実の窒素含有率とは有意な正の相関 ($r = 0.858$, $P < 0.01$) が認められた (第7表).

2018年の2月播きソバは緑肥区も化肥区と同量の施肥を行ったため茎長、茎葉重、収量とも有意な差異は認められなかったが、側枝数、主茎と側枝の花房数、初花節花房の花数と結実率は緑肥区で概ね大きくなる傾向があり、特にros区でその傾向は強かった. また、緑肥区の子実重と千粒重は側枝で化肥区より大きくなる傾向があり、特にjun区では化肥区より有意に大きかった (第8表, 第2図).

4. 土壌の理化学性

土壌pHはいずれの処理区とも全ての調査時で概ね同程度であった (第4図). 無機態窒素含有率は、2017年10月播きソバ播種時では緑肥区、特にros区では有意に高まっており、2018年2月播きソバ播種時にも緑肥区で高まっていた (第4図). 形態別無機リン含有率ではCa型リンはすべての調査時でほとんど検出されない程度であった. Al型リンと鉄型リンは処理区間に顕著な差はなかった (第4図). 交換性カリウム含有率は無機態窒素の場合と同様の緑肥施用効果が認められ、10月播きソバ播種時では緑肥区のjun区とros区で有意な上昇が見られた (第4図). 交換性カルシウムとマグネシウム含有率は処理区間に明確な傾向は認められなかった.

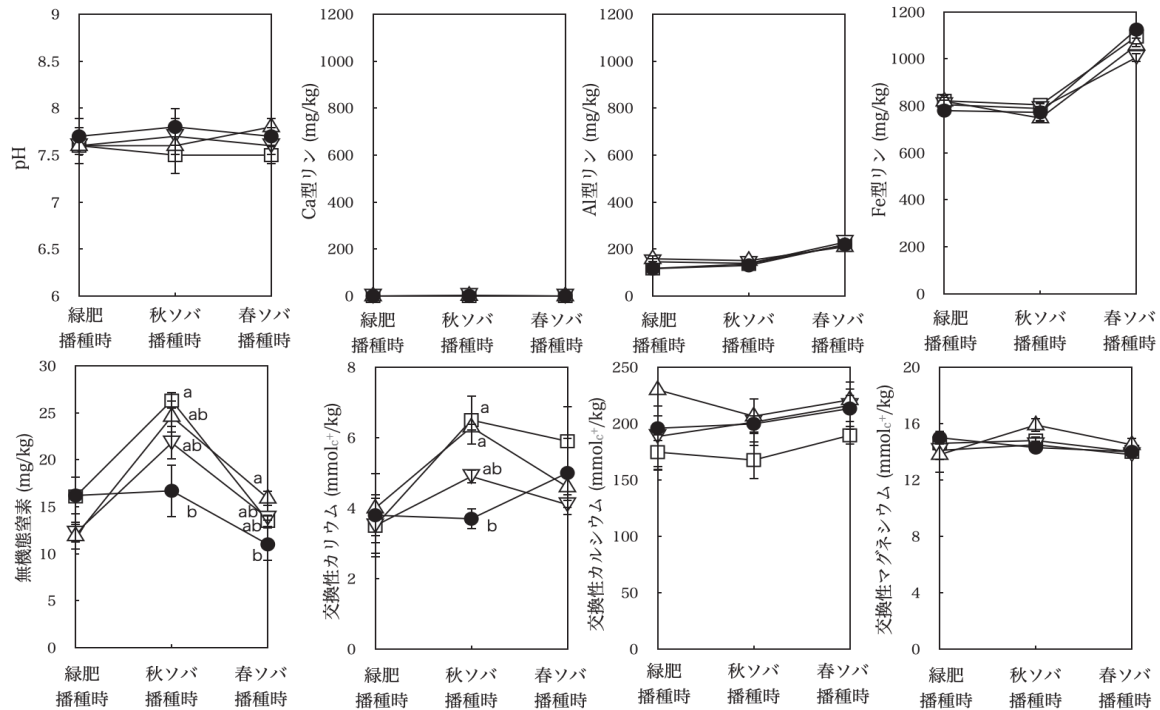


第3図 10月播きソバ栽培後に栽培した2月播きソバの生育量と子実重。

異なる英小文字は処理区間に有意差のあることを示す (Tukey 法 $P < 0.05$, $n = 15$)。

カラム上部の英小文字は茎葉合計の検定結果。

エラーバーは標準誤差。



第4図 緑肥、10月播きソバおよび2月播きソバ播種時の土壌成分含有率の推移。

● 化肥区 △ jun区 ▽ spe区 □ ros区

異なる英小文字は処理区間に有意差のあることを示す (Tukey 法 $P < 0.05$, $n = 3$)。

エラーバーは標準誤差。

考 察

ジュンシア、スペクタビリスおよびロストラータは日本各地で既に広く試験が行われて利用されているが (中野 1994, 辻ら 2017, 五味ら 2020, 大谷 2020), 沖縄県でのソバ栽培に対する緑肥の施用効果に関する報告は見当たらない (沖縄県農林水産部 2006)。そこで、沖縄県でのソバ非作付け時期の5月下旬から9月におけるこれら緑肥作物の

生育量と施用効果を調査した。

緑肥の生育量と各種成分含有率はジュンシアとロストラータでマグネシウムを除き、ほぼ同程度であったが、スペクタビリスはこれら2種に比べて非常に小さかったため、窒素、リン、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの還元量も小さくなり、緑肥効果は最も低く考えられた。事実、緑肥施用後の10月播きソバの生育量と子実重はspe区で最も小さくなる傾向にあった。なお、緑肥

のカルシウム含有率はジュンシアの茎ではロストラータより有意に低く、マグネシウム含有率は葉と茎ともにロストラータで有意に低くなっていた。そのため還元されるカルシウムはロストラータで多くなる傾向があり、マグネシウムはロストラータで有意に少なくなっていた。栽培土壌や栽培期間などは違うが、リンを十分量施肥した場合、ジュンシアはロストラータより窒素固定に由来する窒素含有率とマグネシウム含有率がやや高くなることも報告されており (Mappaona ら 1995)、緑肥の生育量と各種成分含有率の差は種の特性とと考えられる。また、茎長が短いスペクタビリスは栽培した区画の間隔が 0.5 m であったため茎長の長い他の 2 種による遮光があった可能性もある。なお、本試験では緑肥は無施肥で栽培しており、既報 (Mappaona ら 1995) と同様に有効態リンとされる Ca 型リンは検出されない土壌であったが、鉄型リンを非常に多く含む土壌である。また、栽培期間も既報より長く、ジュンシアは鉄型リンなどを利用することにより、既報で見られた以上にロストラータとのマグネシウム含有率の差が明確になった可能性もある。

緑肥により還元される各種成分量と土壌の成分含有率の関係について見ると、無機態窒素含有率と交換性カリウム含有率是对応した結果になっていたが、還元量に差異がみられたカルシウムとマグネシウムは、それぞれ土壌中の含有率とは対応していなかった。一般に植物体中のカリウムは多くがイオン状態で存在しているのに対して、カルシウムとマグネシウムは有機化合物などと結合している割合が高いため土壌中への放出がカリウムに比べてカルシウムとマグネシウムで遅いことが関係していると考えられる。

緑肥施用後に無施肥で栽培した緑肥区の 10 月播きソバは化肥区に比べて茎長が短くなり、主茎花房数がやや少なくなったが、側枝花房数は spe 区以外で減少せず、播種 8 週間後の初花節葉の SPAD 値は化肥区より有意に高くなっていた。これは緑肥還元による窒素の無機化量が初期生育時には少なく、生育後期に多くなったためと思われる。窒素の施肥量を同量にし、基肥のみより基肥と追肥に分けて施肥した場合には、ソバの子実重が増加傾向を示した報告 (杉本 2004) と同様の結果であった。なお、既報では子実重を主茎と側枝に分けていないため本試験の結果と単純には比較できないが、本試験で側枝の子実重と千粒重が高まる傾向にあった ros 区は、主茎より遅れて発達する側枝花房数が多くなり、子実重が大きくなる傾向になったことも考えられる。なお、還元窒素量が同程度の jun 区と ros 区で茎葉重と子実重が異なる傾向が見られたのは両緑肥の CN 比やその他成分含有率の違いによる窒素の放出様式の違いが考えられる。還元した緑肥など有機物からの窒素の放出は CN 比に大きく依存していることはよく知られている。ジュンシアの葉の CN 比はロストラータよりやや低いが、乾物割合の多い茎の CN 比ではジュンシアよりロストラータで有意に低くなっていた。CN 以外の要因として、本試験で

は調査していないが、リグニンやポリフェノール含有率との関係も報告されており (今野・菊池 1996)、これらを含めた分解特性の調査も必要と思われる。また、spe 区では平均的な 5 個体の茎葉重と子実重は極めて小さくなり、区画当たりの子実収量は有意に減少した。スペクタビリスは茎葉の葉割合が大きいとされており (Daimon ら 1995)、本試験でもジュンシアとロストラータの約 2 倍であった。そのため土壌に還元した際に養分の分解と放出が早くなると考え本試験で供試した。しかし、生育量が他の 2 種に比べて小さく、緑肥の還元量、窒素還元量が jun 区と ros 区に比べて極めて少なく、ソバに対する肥料効果が小さかったと考える。

ソバに対する緑肥の施用効果はレンゲを用いた報告があり、愛媛県で行われた試験ではソバの収量の増加や長雨による湿害の軽減効果が認められている (杉本ら 2000)。一方、窒素施肥量が多くなるとソバの第 2 節茎のリグニン含有率の低下により倒伏が起こりやすくなることも示されている (Wang ら 2015)。用いる緑肥の違いや気象環境の異なる地域での緑肥還元後の緑肥からの窒素の無機化量、土壌中での窒素の動態も含めてさらに調査することが必要である。

窒素以外に交換性カリウム含有率は緑肥の還元量に応じて高まっていたが、ソバの生育量や収量に対するカリウムの影響が小さいとの報告があり、本試験のソバの生育量と子実重には効果が現れなかったと考える (村山ら 1998, Hayashi 2001)。また、リン、カルシウム及びマグネシウム含有率は化肥区を含めて処理間に有意差はなく、本試験のソバの生育量と子実重への影響が見られなかったと考えている。なお、沖縄県の酸性土壌である国頭マージでは苦土石灰の施用でソバの収量が高まることが報告されているが (原ら 2011)、本試験を行った島尻マージは酸性ではなく、交換性カルシウムと交換性マグネシウムもソバの生育に影響していなかったことから緑肥のこれら成分の影響が見られなかったと思われる。しかし、緑肥の経年的な施用効果については今後検討する必要がある。特に、国頭マージでのソバ栽培においては交換性カルシウムと交換性マグネシウムに影響する可能性もあり、国頭マージでも本試験と同様の試験をする必要がある。

ソバ子実の各種成分含有率はいずれの成分とも有意な差は認められなかった。しかし、播種 8 週間後の初花節葉の SPAD 値と子実窒素含有率には有意な相関が認められ、緑肥施用による窒素の緩効化の影響が示唆された。生育量および子実重だけでなく、子実の各種成分含有率や品質と緑肥施用による窒素の緩効化の関係については今後の詳細な調査が必要である。なお、茎葉重と子実重に有意差が見られなかったのは、緑肥の還元量を調整したが、ソバ栽培時にも傾斜圃場による土壌水分環境などの影響があったためと考える (魏ら 2000, 諸泉 2003)。ソバは過湿による生育量および収量の影響が大きい作物であるが (杉本・佐藤 2000, 山口ら 2015)、ソバに限らず水ストレスは植物全般

に葉の矮小化や気孔の閉鎖など生育に大きな影響を及ぼす(高橋 1982)。ソバにおいても水分ストレスで主茎長が短くなり花房数も減少し、肥料効率も低下することが知られている(Hagiwara ら 2002)。そのため本試験では傾斜の上部の区画で水分ストレスによる影響が強くなったと考える。また、降水量の多い場合には傾斜の下部で湿害が多くなる可能性もあり、耕作放棄地など傾斜地でソバ栽培を行なっている現地での土壌水分とソバの生育量、収量の関係は降水量との関係で今後調査も必要である。

10月播きソバ収穫後に栽培した2月播きソバでは緑肥区も化肥区と同量の施肥を行なっている。そのため生育量、子実重およびその他収量関連形質とも化肥区に比べて緑肥区で低下することはなく、有意差はないものの緑肥区、特にros区で大きくなる傾向も見られた。緑肥の施用効果は10月播きソバ播種時より弱くなったと思われるが、2月播きソバ播種時にも無機態窒素含有率は緑肥区で高くなっており、2月播きソバ栽培期間中にも緑肥に由来する窒素の無機化はあったと思われる。そのことが側枝子実重、側枝子実千粒重を化肥区より大きくしたと推察している。

本試験では緑肥の土壌中での分解特性は調査していないが、本試験で用いた3種の中で有望と思われるロストラータを中心に分解特性と窒素放出量の推移を調査する必要がある。また、土壌の有機物含有率や各種成分含有率に対する緑肥の施用の経年効果もあると思われる。これらを明らかにすることで、緑肥施用による10月播きソバ、2月播きソバの施肥量の詳細な検討が可能になると考える。

引用文献

- 大門弘幸 1999. 熱帯原産マメ科植物の緑肥利用に関する研究の現状と種々の作付体系への導入の期待. 日作紀 68: 337-347.
- Daimon, H. 2006. Traits of the genus *Crotalaria* used as a green manure legume on sustainable cropping systems. JARQ. 40: 299-305.
- Daimon, H., Takada, S., Ohe, M. and Mimoto, H. 1995. Interspecific differences in growth and nitrogen uptake among *Crotalaria* species. Jpn. J. Crop Sci. 64: 115-120.
- 五味敬子・山崎修平・馬場久美子・望月寛徳・長坂克彦 2020. マメ科緑肥クロタリヤ (*Crotalaria spectabilis*) を利用した後作ハクサイ (*Brassica rapa* L var. *pekinensis* Rupr.) の減肥. 山梨県農技研報 12: 21-26.
- Hagiwara, M., Ota, A. and Inoue, N. 2002. Effect of water stress on growth and fertilization rate of common buckwheat. Fagopyrum 19: 63-69.
- 原貴洋・荒川祐介・竹内誠人・住秀和・塩野隆弘・高嶺(山口)典子・照屋寛由・生駒泰基 2011. 南西諸島の極強酸性土壌における家畜ふん堆肥施用がソバ (*Fagopyrum esculentum* Moench) の生育と収量に及ぼす影響. 日作紀 80: 35-42.
- Hayashi, H. 2001. Effects of elements on growth and dry matter production of common buckwheat in andosol. The proceeding the 8th ISB. 16-21.
- 岩崎明・小松崎将一 2018. ギニアグラスとクロタリヤの混作によるバイオマスと土壌窒素動態への影響. 農作業研究 53: 43-52.
- 鬼頭誠 2019. 赤玉土と赤色土(国頭マーグ)を用いたラッカセイ, ダイズ, セスバニアの低リン耐性の比較ならびに菌根菌接種の影響. 日作紀 88: 108-116.
- 鬼頭誠 2022. *Sesbania cannabina* と *S. rostrata* の生育量および各種成分吸収に及ぼす栽培土壌とリン施肥の影響. 日作紀 91: 1-8.
- 今野一男・菊池晃二 1996. 緑肥窒素の無機化に及ぼす化学成分の影響. 土肥誌 67: 419-421.
- Kretschmar, R.M., Hafner, H., Bationo, A. and Marschner, H. 1991. Long- and short-term effects of crop residues on aluminium toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in an acid sandy soil. Plant Soil 136: 215-223.
- Kushida, A., Suwa, N., Ueda, Y. and Momota, Y. 2003. Effects of *Crotalaria juncea* and *C. spectabilis* on hatching and population density of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines* (Tylenchida: Heteroderidae). Appl. Entomol. Zool. 38: 393-399.
- Mappaona, Yoshida, S. and Kitou, M. 1995. Difference in phosphorus response among tropical green manure legumes growth under limed and unlimed soil conditions. Soil Sci. Plant Nuri. 41: 9-19.
- 水野直治・南松雄 1980. 硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法. 土肥誌 51: 418-420.
- 諸泉利嗣 2003. 傾斜草地における表層土壌水分と土壌物理性の空間分布調査. 岡山大学環境理工学部研究報告 8: 81-85.
- 村山敏・小穴洋一郎・中山利明・荻原英雄 1998. 有機物及び三要素肥料の長期連用がソバの生育・収量に及ぼす影響. 北陸作物学会報 33: 118-120.
- 中野寛 1994. 西南暖地における緑肥作物〈南西諸島のサトウキビ地帯のためのピジョンピー〉. 牧草と園芸 42: 9-12.
- 沖縄県農林水産部 2006. 春～夏の緑肥, おきなわの緑肥. 4-16.
- 大谷卓編 2020. クロタリヤ, 緑肥利用マニュアル. 農研機構中央農研センター. 58-69.
- 塩谷哲夫・古賀野完爾・伊藤滋吉 1990. 熱帯マメ科緑肥作物による低湿重粘土輪換田の土壌改良 第1報 セスバニア, クロタリヤ: その生育特性と土壌物理性改善効果. 農作業研究 25, 59-68.
- 杉本秀樹 2004. 窒素施肥法の違いが夏ソバの生育・収量におよぼす影響-乾物生産と窒素吸収に着目して-. 日作紀 73: 181-188.
- 杉本秀樹・黒野真伸・高野圭子・河野靖・佐藤亨 2000. 夏ソバに対する緑肥レンゲの有効性. 日作紀 69: 24-30.
- 杉本秀樹・佐藤亨 2000. 生育時期別過湿処理の差異が夏ソバの子実収量に及ぼす影響. 日作紀 69: 189-193.
- 高橋英一 1982. 水ストレスと植物の生育. 化学と生物 20: 380-389.
- 辻正樹・山本拓・竹内将充 2017. 黄色土における緑肥クロタリヤ (*Crotalaria juncea*) の窒素無機化特性. 愛知県農総試研報 49: 67-73.
- Wang, C., Ruan, R. W., Yuan, X. H., Hu, D., Yang, H., Li, Y. and Yi, Z. L. 2015. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the lignin synthesis in the culm in relation to lodging resistance of buckwheat. Plant Prod. Sci. 18: 218-227.
- Wang, K. H., Sipes, B. S. and Schmitt, D. P. 2002. *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review. Nematropica 32: 35-57.
- 魏江生・山本太平・井上光弘・坂口巖 2000. ガラス室条件下の砂斜面における牧草の生育特性と水ストレスに及ぼす二, 三の地形的要因. 農業土木学会論文集 209: 57-66.
- 山口典子・原貴洋・土屋史紀・手塚隆久・小林透・田坂幸平・田中章浩 2015. 国頭マーグ土壌におけるソバ湿害発生と畝立て栽培の導入による湿害回避効果. 土肥誌 86: 198-201.

Comparison of Effects of *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis* and *Sesbania rostrata* Green Manures on Common Buckwheat Growth and Yield in Okinawa : Makoto KITOU^{1,2)} (¹⁾*Fac. Agric., Ryukyu Univ., Senbaru, Nishihara 903-0213, Japan;* ²⁾*Kagoshima Univ.*)

Abstract : Three kinds of green manure crops (*Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *Sesbania rostrata*) were cultivated from May to September were cultivated to evaluate biomass production and subsequent buckwheat growth in Okinawa. Biomass and uptake of several minerals were smallest in *S. spectabilis* and highest in *C. juncea* and *S. rostrata*, but Mg uptake was significantly higher in *C. juncea* than in *S. rostrata*. The growth and grain yield of the autumn buckwheat depended on the green manure biomass. In particular, they were similar following *S. rostrata* as application of inorganic fertilizer alone (control plot). The growth and grain yield of February sown buckwheat sown in February and grown with inorganic fertilizer in all plots after buckwheat sown in October was marginally better in the green manure plots than in the control plot. SPAD values in the leaf at the first flowering node at 54 days after sowing were significantly higher in the green manure plots than in the control plot. The SPAD value had a significant high positive correlation with the grain N content. I consider that N mineralization was slower in the green manure plots than in the control plot. I infer that the development of branches and grains was promoted in the green manure plots as a result of continued N supply until the late growth stage.

Key words : Common Buckwheat, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, Green manure, *Sesbania rostrata*, Nitrogen mineralization.
