

## マメ科緑肥クロタラリア (*Crotalaria juncea*) を 利用したキャベツの窒素減肥

山本 拓<sup>1)</sup>・辻 正樹<sup>2)</sup>・中村哉志<sup>1)</sup>

**摘要：**夏季休閑期にマメ科緑肥クロタラリア (*Crotalaria juncea*) を栽培することによる、後作キャベツの減肥可能性を検討した。*C. juncea* 栽培後の窒素減肥量を *C. juncea* の標準的な窒素吸収量の 60%にあたる  $9 \text{ g-N m}^{-2}$  としたところ、緑肥を作付けせず慣行施肥量で栽培した夏季裸地区と同等の収量を得ることができた。試験で得られた *C. juncea* の窒素吸収量から算出される後作キャベツ栽培期間における窒素無機化推定量は  $6.1 \sim 8.6 \text{ g-N m}^{-2}$  と減肥量よりもやや少なかったが、クロタラリアの連用により、土壌から供給が見込まれる窒素量が夏季裸地区に比べ  $4.5 \sim 5.8 \text{ g-N m}^{-2}$  増加したため、 $9 \text{ g-N m}^{-2}$  の後作キャベツの減肥が可能であったと考えられた。以上のことから、クロタラリア連用ほ場においては、*C. juncea* を栽培することで、 $9 \text{ g-N m}^{-2}$  の窒素減肥が可能と示唆された。

**キーワード：**クロタラリア、*Crotalaria juncea*、マメ科緑肥、キャベツ、窒素減肥

### 緒 言

本県東三河地域の露地野菜栽培では、夏季休閑期に雑草抑制や土づくり、土壌物理性の改善を目的として緑肥の栽培が行われている。緑肥作物として主に栽培されている種類は雑草抑制効果が高く<sup>1)</sup>、収量が多い<sup>2)</sup>イネ科緑肥のソルガムである。ソルガムは炭素の固定量が多く、土づくり効果が高いが、C/N 比が高い<sup>2)</sup>。このため、すき込み後に窒素の取り込みがあり、土壌の窒素肥沃度の向上という点で劣る。一方、マメ科緑肥のクロタラリアは窒素固定を行うため窒素吸収量が多く、C/N 比が低い<sup>2)</sup>。このため、すき込み後の分解が早く、後作での窒素の利用、土壌の窒素肥沃度の向上が期待できる。

糟谷・廣戸<sup>3)</sup>はクロタラリア (*Crotalaria spectabilis*) の連用ほ場においてキャベツの減肥試験を行い、連用 4 年目で窒素  $2 \text{ g-N m}^{-2}$  の削減が可能であることを示した。*C. juncea* は *C. spectabilis* よりも窒素吸収量が多い<sup>2)</sup>ため、さらなる減肥が可能と考えられる。また、辻ら<sup>4)</sup>は黄色土壌における *C. juncea* の窒素無機化特性を明らかにし、クロタラリアすき込み後 3 か月程度の窒素無機化率が 60%であることを示した。

そこで、本研究では夏季に *C. juncea* を栽培するほ場において、後作キャベツの減肥可能性を栽培試験により検討した。

### 材料及び方法

#### 1 試験区の設定

試験ほ場の利用状況を表 1 に示した。試験は 2012 年から 2014 年までの 3 年間、夏季にクロタラリア (*C. spectabilis* 及び *C. juncea*) を栽培し、後作キャベツにおいて窒素を  $15 \text{ g-N m}^{-2}$  削減したほ場で行った。クロタラリアを連用した区において、夏季に *C. juncea* を栽培し、後作のキャベツで窒素の減肥試験を行った。

##### (1) 2015 年作

2015 年作の施肥設計を表 2 に示した。2015 年作は夏季に *C. juncea* を栽培しない「夏季裸地区」に対し、窒素を *C. juncea* の標準的な窒素吸収量である  $13 \sim 18 \text{ g-N m}^{-2}$  と同程度<sup>2)</sup>の  $15 \text{ g-N m}^{-2}$  削減する「N15 kg 減区」及び窒素吸収量の 60%である  $9 \text{ g-N m}^{-2}$  削減する「N9 kg 減区」を設定した。2012 年から 2014 年までの 3 作において、*C. spectabilis* 区、*C. juncea* 区ともに基肥及び追肥で減肥を行ったところ、夏季裸地区に比べ減収した。このため、「N15 kg 減区」は *C. juncea* すき込み後に放出される窒素を最大限活かすため、基肥で  $15 \text{ g-N m}^{-2}$  の減肥を行った。一方、「N9 kg 減区」は降雨により窒素が流亡することを考慮して、基肥で  $6 \text{ g-N m}^{-2}$ 、2 回の追肥でそれぞれ  $1.5 \text{ g-N m}^{-2}$  の減肥を行った。

本研究の一部は日本土壌肥料学会中部支部第95回例会(2016年3月)において発表した。

本研究は「生産コストの削減に向けた有機質資材の活用技術の開発委託事業」において実施した。

<sup>1)</sup>東三河農業研究所 <sup>2)</sup>東三河農業研究所(現園芸農産課)

表 1 試験ほ場の利用状況

|      | 試験区        | 2012年                   | 2013年 | 2014年 | 2015年                |                      | 2016年 |  |
|------|------------|-------------------------|-------|-------|----------------------|----------------------|-------|--|
|      |            | 緑肥連用試験                  |       |       | 窒素減肥試験               |                      |       |  |
| ほ場 1 | 緑肥の種類      | <i>C. spectabilis</i> 区 |       |       | N15 kg 減区            | N9 kg 減区             |       |  |
|      | キャベツ N 施用量 | 15 g m <sup>-2</sup>    |       |       | 15 g m <sup>-2</sup> | 21 g m <sup>-2</sup> |       |  |
| ほ場 2 | 緑肥の種類      | <i>C. juncea</i> 区      |       |       | N9 kg 減区             | N6 kg 減区             |       |  |
|      | キャベツ N 施用量 | 15 g m <sup>-2</sup>    |       |       | 21 g m <sup>-2</sup> | 24 g m <sup>-2</sup> |       |  |
| ほ場 3 | 緑肥の種類      | 夏季裸地区                   |       |       | 夏季裸地区                |                      |       |  |
|      | キャベツ N 施用量 | 30 g m <sup>-2</sup>    |       |       | 30 g m <sup>-2</sup> | 30 g m <sup>-2</sup> |       |  |

表 2 2015 年作の施肥設計

| 試験区       | 窒素施用量 (g-N m <sup>-2</sup> ) |            |            |      |
|-----------|------------------------------|------------|------------|------|
|           | 基肥                           | 追肥         |            | 合計   |
|           | 8/28<br>施用                   | 9/11<br>施用 | 10/6<br>施用 |      |
| N15 kg 減区 | 0                            | 7.5        | 7.5        | 15.0 |
| N9 kg 減区  | 9.0                          | 6.0        | 6.0        | 21.0 |
| 夏季裸地区     | 15.0                         | 7.5        | 7.5        | 30.0 |

表 3 2016 年作の施肥設計

| 試験区      | 窒素施用量 (g-N m <sup>-2</sup> ) |            |             |      |
|----------|------------------------------|------------|-------------|------|
|          | 基肥                           | 追肥         |             | 合計   |
|          | 8/29<br>施用                   | 9/16<br>施用 | 10/11<br>施用 |      |
| N9 kg 減区 | 9.0                          | 7.5        | 4.5         | 21.0 |
| N6 kg 減区 | 11.0                         | 7.5        | 5.5         | 24.0 |
| 夏季裸地区    | 15.0                         | 7.5        | 7.5         | 30.0 |

*C. juncea* の種は 2015 年 6 月 11 日、収穫調査は 8 月 21 日、すき込みは 8 月 24 日に行った。*C. juncea* すき込み後の窒素を有効活用するため、後作キャベツの定植は *C. juncea* すき込み 7 日から 10 日後を予定していたが、降雨が予想されたため、すき込み 4 日後の 8 月 28 日に定植を行った。また、キャベツの収穫は 11 月 24 日に行った。

### (2) 2016 年作

2016 年作の施肥設計を表 3 に示した。2016 年作は夏季に *C. juncea* を栽培しない「夏季裸地区」に対し、窒素を 9 g-N m<sup>-2</sup> 削減する「N9 kg 減区」、削減量を 6 g-N m<sup>-2</sup> と減肥量を抑えた「N6 kg 減区」を設定した。*C. juncea* すき込み後の窒素の放出が、すき込み初期及び 40 日目以降に見られること<sup>3)</sup>が考えられたため、2016 年作の減肥は追肥 1 回目には行わず、基肥及び追肥 2 回目で行うこととした。

*C. juncea* の種は 2016 年 6 月 11 日、収穫調査、すき込みは 8 月 19 日に行った。後作キャベツの定植は *C. juncea* すき込み 10 日後の 8 月 29 日に行い、収穫は 11 月 22 日に行った。

## 2 耕種概要

試験は細粒質台地黄色土(豊橋市飯村町・東三河農業研究所)のほ場で行った。供試した *C. juncea* の品種は 2015 年が「ネマコロリ」(株式会社雪印種苗)、2016 年が「クロタラリア」(株式会社カネコ種苗)とした。また、緑肥のは種量は 6 g m<sup>-2</sup> とした。尚、2012 年以降、試験ほ場へ堆肥等有機物の施用は行わなかった。また、緑肥への施肥も行わなかった。

後作キャベツの栽培品種は年内収穫品種である「YR しぶき 2 号」(有限会社石井育種場)を用いた。栽植密度は畝間 60 cm、株間 33 cm とした。試験区の面積は各区 18 m<sup>2</sup> とし、2 反復で試験を行った。使用した肥料は窒素を硫酸、リン酸を過リン酸石灰、加里を硫酸カリとした。各種肥料の慣行施用量は愛知県キャベツ施肥基準量<sup>5)</sup>にあわ

せ、窒素を 30 g-N m<sup>-2</sup>、リン酸を 15 g-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> m<sup>-2</sup>、加里を 30 g-K<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> とし、減肥を行う試験区では、窒素の施用量を削減した。窒素は分施とし、リン酸及び加里は基肥で全量施用した。

## 3 調査内容

### (1) 土壌化学性

栽培試験開始前の 2012 年 4 月 9 日、2015 年作栽培開始前の 2015 年 3 月 9 日に地表から 20 cm までの土壌を採取した。採取した土壌について、2012 年は pH、全炭素、全窒素、可給態窒素、CEC、交換性塩基、可給態リン酸の分析を、2015 年は可給態窒素のみ分析を行った。

全炭素、全窒素は乾式燃焼法(スミグラフ NC-22F、株式会社住化分析センター、大阪)で分析した。可給態窒素は保温静置法により分析した<sup>6)</sup>。CEC はショーレンベルガー法により、交換性塩基は 1 N 酢酸アンモニウムで抽出後、原子吸光光度法(Z-5310、株式会社日立ハイテクサイエンス、東京)で分析した<sup>6)</sup>。可給態リン酸はトルオーグ法により分析した<sup>6)</sup>。

*C. juncea* 収穫調査時に地表から 20 cm までの土壌を採取した。採取した土壌について、可給態窒素の分析を行った。

### (2) 収穫調査

*C. juncea* は 1 区当たり 3 か所で 1 m<sup>2</sup> (1 m × 1 m) 内の地上部を刈り取り、新鮮重を測定した。試料の一部を乾燥・粉碎後、全窒素の含量を乾式燃焼法で測定した。乾物重と成分含有率から窒素吸収量を求めた。

キャベツは 1 区当たり 3 か所で隣接する株に欠損のない連続した 5 株の結球を収穫し、合計 15 株の結球重を測定した。結球重の平均と栽植株数から、収量を求めた。

### (3) 土壌中硝酸態窒素含量

*C. juncea* すき込み時からキャベツの 1 回目追肥までの期間、3 から 7 日程度の間隔で土壌を採取した。土壌の採取位置はキャベツの生育に影響が出ないよう、地表

表 4 2012 年栽培試験開始前土壌の化学性

| pH<br>(1:5) | T-C<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | T-N<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | 可給態<br>リン酸<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | CEC<br>(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) | 交換性塩基                        |                              |   |
|-------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|---|
|             |                              |                              |                                      |  | CaO<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | MgO<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | K <sub>2</sub> O<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |
| 6.3         | 10.0                         | 1.1                          | 340.9                                | 15.3   | 1.7                          | 0.3                          | 0.6                                       |

表 5 土壌中可給態窒素の推移

| 試験区                     | 2012 年作                       | 2015 年作 |
|-------------------------|-------------------------------|---------|
|                         | 開始前<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |         |
| <i>C. spectabilis</i> 区 | 23.9                          | 38.2    |
| <i>C. juncea</i> 区      | 25.7                          | 44.2    |
| 夏季裸地区                   | 26.2                          | 16.7    |

表 7 *C. juncea* の窒素吸収量

| 年       | 試験区       | N 吸収量<br>(g m <sup>-2</sup> ) |
|---------|-----------|-------------------------------|
| 2015 年作 | N15 kg 減区 | 11.3                          |
|         | N9 kg 減区  | 10.2                          |
| 2016 年作 | N9 kg 減区  | 14.4                          |
|         | N6 kg 減区  | 13.2                          |

から 10 cm までとした。畝立て後は、畝上から畝下の表層 10 cm をスコップで崩し、崩した土壌を混和して採取した。採取した土壌について硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N) 含量を測定した。NO<sub>3</sub>-N は 10% 塩化カリウムで抽出後、流れ分析装置を用いて分析した。

## 結果及び考察

### 1 クロタラリア連用による可給態窒素の蓄積

2012 年栽培試験開始前土壌の化学性を表 4 に示した。試験ほ場の土壌は愛知県土壌診断基準値<sup>5)</sup>と比較して pH がやや低いものの、可給態リン酸、CEC は基準の範囲内であった。

2012 年作、2015 年作栽培開始前の土壌中可給態窒素量の推移を表 5 に示した。土壌中可給態窒素量は、2012 年から 2015 年にかけて *C. spectabilis* 区で 14.3 mg kg<sup>-1</sup>、*C. juncea* 区で 18.5 mg kg<sup>-1</sup> 増加したが、夏季裸地区では 9.5 mg kg<sup>-1</sup> 減少した。クロタラリア連用区ではクロタラリアにより新たに窒素固定された窒素が土壌にすき込まれ、蓄積したことにより、土壌中可給態窒素量が増加したと考えられた。また、*C. spectabilis* 区、*C. juncea* 区の土壌中可給態窒素量の増加量は同程度であった。

*C. juncea* 収穫調査時の可給態窒素量を表 6 に示した。2015 年作における可給態窒素量は、N15 kg 減区で 45.2 mg kg<sup>-1</sup>、N9 kg 減区で 48.6 mg kg<sup>-1</sup> であり、夏季裸地区に比べてそれぞれ、22.5 mg kg<sup>-1</sup>、25.9 mg kg<sup>-1</sup> 多かった。

2016 年作における可給態窒素量は、N9 kg 減区で 41.2 mg kg<sup>-1</sup>、N6 kg 減区で 45.9 mg kg<sup>-1</sup> であり、夏季裸地区に比べてそれぞれ、24.9 mg kg<sup>-1</sup>、29.6 mg kg<sup>-1</sup> 多かった。

表 6 *C. juncea* 収穫調査時の土壌中可給態窒素量

| 年       | 試験区       | 可給態窒素<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |
|---------|-----------|---------------------------------|
| 2015 年作 | N15 kg 減区 | 45.2                            |
|         | N9 kg 減区  | 48.6                            |
|         | 夏季裸地区     | 22.7                            |
| 2016 年作 | N9 kg 減区  | 41.2                            |
|         | N6 kg 減区  | 45.9                            |
|         | 夏季裸地区     | 16.3                            |

### 2 *C. juncea* の生育

*C. juncea* の窒素吸収量を表 7 に示した。2015 年作の窒素吸収量は標準的な *C. juncea*<sup>2)</sup> よりも少なく、N15 kg 減区で 11.3 g m<sup>-2</sup>、N9 kg 減区で 10.2 g m<sup>-2</sup> であった。後作キャベツ栽培期間中の窒素無機化量を 60%<sup>4)</sup> として計算すると、N15 kg 減区で 6.8 g m<sup>-2</sup>、N9 kg 減区では 6.1 g m<sup>-2</sup> 程度が窒素肥効として利用できると考えられた。

2016 年作の窒素吸収量は標準的な *C. juncea* と同程度であり、N9 kg 減区で 14.4 g m<sup>-2</sup>、N6 kg 減区で 13.2 g m<sup>-2</sup> であった。後作栽培期間中の窒素無機化量を 2015 年作と同様に計算すると、N9 kg 減区では 8.6 g m<sup>-2</sup>、N6 kg 減区では 7.9 g m<sup>-2</sup> 程度が利用できると考えられた。

### 3 *C. juncea* すき込み後の NO<sub>3</sub>-N の放出

2015 年作の土壌中 NO<sub>3</sub>-N 含量の推移を図 1 に示した。キャベツ定植後、N9 kg 減区は夏季裸地区と同様の NO<sub>3</sub>-N 含量の推移を示した。これは、*C. juncea* の分解により発現する窒素量が施肥量に上乗せされたため減肥区でも NO<sub>3</sub>-N 含量が維持できたと考えられた。一方、N15 kg 減区は夏季裸地区に比べ、NO<sub>3</sub>-N 含量が低く推移した。また、*C. juncea* すき込み後に増加した N9 kg 減区の NO<sub>3</sub>-N 含量は、すき込み 2 週間程度で低下した。

2016 年作の土壌中 NO<sub>3</sub>-N 含量の推移を図 2 に示した。キャベツ定植後、N9 kg 減区及び N6 kg 減区では夏季裸地区に比べ NO<sub>3</sub>-N 含量が多く推移した。これは、両区で *C. juncea* の分解により発現する窒素量が施肥量に上乗せされたためと考えられた。また、*C. juncea* すき込み後に増加した N9 kg 減区、N6 kg 減区の NO<sub>3</sub>-N 含量は、すき込み 3 週間程度で低下した。

N9 kg 減区において、2016 年作は夏季裸地区よりも NO<sub>3</sub>-N 含量が多く推移したが、2015 年作では同程度であった。これは、2015 年作では、*C. juncea* すき込みから 1 週間で 100 mm 以上の降雨があり、*C. juncea* の分解により発現した窒素が流亡したためと考えられた。

### 4 キャベツの収量

2015 年作のキャベツ収量を図 3 に示した。N15 kg 減区は 5.8 kg m<sup>-2</sup> であり、N9 kg 減区の 6.5 kg m<sup>-2</sup>、夏季

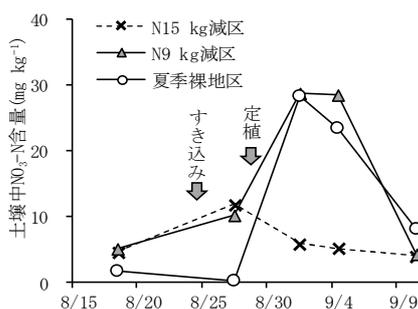
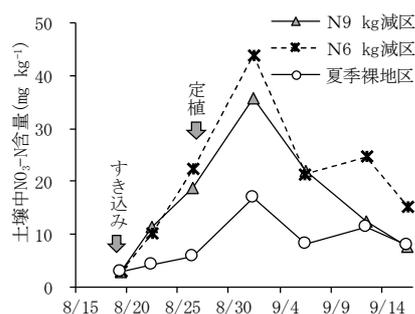
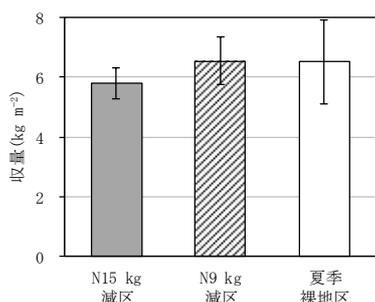
図1 2015年作の土壤中NO<sub>3</sub>-N含量の推移図2 2016年作の土壤中NO<sub>3</sub>-N含量の推移

図3 2015年作の収穫調査結果  
注) エラーバーは標準偏差を示す  
試験区間に有意差なし (Tukey 法)

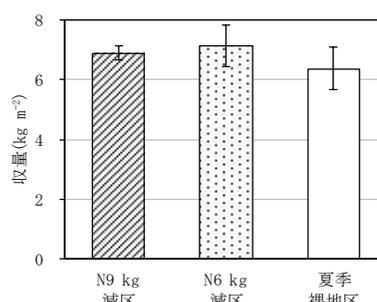


図4 2016年作の収穫調査結果  
注) エラーバーは標準偏差を示す  
試験区間に有意差なし (Tukey 法)

裸地区の  $6.5 \text{ kg m}^{-2}$  に比べ収量が少ない傾向であった。土壌から供給が見込まれる窒素量を、可給態窒素量から作土の厚さ  $20 \text{ cm}$ 、礫を除いた仮比重を  $0.98$  として計算すると、N15 kg 減区で  $8.9 \text{ g-N m}^{-2}$ 、N9 kg 減区で  $9.5 \text{ g-N m}^{-2}$ 、夏季裸地区で  $4.4 \text{ g-N m}^{-2}$  であった。N15 kg 減区で収量が少なかった要因として、夏季裸地区に対する土壌から供給が見込まれる窒素量の上乗せ分と *C. juncea* の無機化により供給される窒素量の合計が  $11.3 \text{ g-N m}^{-2}$  と減肥量よりも少なかったことが考えられた。一方、N9 kg 減区では供給される窒素量が  $11.2 \text{ g-N m}^{-2}$  と減肥量に対し余裕があったため、収量が維持できたと考えられた。また、N15 kg 減区はキャベツ定植後の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の土壌中含量も少なく推移しており、生育初期の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の不足が、キャベツの生育を抑制し、収量に影響を与えたと考えられた。

2016年作のキャベツ収量を図4に示した。N9 kg 減区、N6 kg 減区の収量は、それぞれ  $6.9 \text{ kg m}^{-2}$ 、 $7.2 \text{ kg m}^{-2}$  であり、夏季裸地区の  $6.4 \text{ kg m}^{-2}$  に比べ多い傾向であった。2015年作と同様に土壌から供給が見込まれる窒素量を計算すると、N9 kg 減区で  $8.1 \text{ g-N m}^{-2}$ 、N6 kg 減区で  $9.0 \text{ g-N m}^{-2}$ 、夏季裸地区で  $3.2 \text{ g-N m}^{-2}$  であった。N9 kg 減区、N6 kg 減区で増収した要因として、土壌から供給が見込まれる窒素量の上乗せ分と *C. juncea* の無機化により供給される窒素量の合計がそれぞれ  $13.5 \text{ g-N m}^{-2}$ 、 $13.7 \text{ g-N m}^{-2}$  であり、両区とも減肥量に対し窒素の供給量に余裕があったことが考えられた。

以上のことから、クロタラリア連用ほ場では *C. juncea* を栽培することで  $9 \text{ g-N m}^{-2}$  の後作キャベツの窒素減肥が可能と示唆された。尚、図1、2で示したように、*C. ju*

*ncea* の肥効はすき込み後2週間程度で減少する傾向にある。このため、減肥を行う場合は *C. juncea* すき込み後2週間までの定植とする必要があると考えられた。また、本試験ではクロタラリア連用ほ場で土壌中可給態窒素量の増加が認められた。このことから、クロタラリアは土壌肥沃度が低いほ場での利用に適すると考えられた。

## 引用文献

1. 長崎県農林技術開発センター. 緑肥(カバークロップ)栽培マニュアル. (2013). <https://www.pref.nagasaki.jp/e-nourin/nougi/manual/ryokuhi-manual.pdf>. (2019. 8. 15参照)
2. 愛知県農業総合試験場. 夏季の緑肥栽培による環境保全的露地野菜栽培. (2010). <http://www.pref.aichi.jp/nososi/seika/singijutu/singijiyutu96.pdf>. (2019. 5. 21参照)
3. 糟谷真宏, 廣戸誠一郎. 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 (2010)
4. 辻正樹, 山本拓, 竹内将充. 黄色土における緑肥クロタラリア (*Crotalaria juncea*) の窒素無機化特性. 愛知農総試研報. 49, 67-73 (2017)
5. 愛知県農林水産部農業経営課. 農作物の施肥基準 (2016). <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/0000085287.html>. (2019. 5. 21参照)
6. 土壤環境分析法編集委員会編. 土壤環境分析法. 博友社. 東京. p.195-385 (1997)