

《短報》

夏季緑肥栽培による土壌中硝酸態窒素の溶脱低減効果及び後作への影響

高田敦之・小勝淑弘・曾我綾香

Mitigating Effect of Green Manure Cultivation during the Summer on Nitrate Leaching and Succeeding Cropping

Atsushi TAKADA, Yoshihiro KOKATSU and Ayaka SOGA

摘 要

夏季に緑肥作物（エンバク）を栽培し、硝酸態窒素の溶脱低減効果、秋冬ダイコン及び秋冬ダイコン後の春キャベツの生産性への影響を検討した。夏季裸地区では、表層（0-15 cm）の $\text{NO}_3\text{-N}$ が下方へ溶脱したのに対し、緑肥区では、表層から下層にかけての $\text{NO}_3\text{-N}$ がエンバクに吸収された。エンバクすき込み後、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は一旦増加した後減少した。この $\text{NO}_3\text{-N}$ の減少は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ がすき込みにより増加した土壌微生物に取り込まれた後、不溶性の形態に変化したことに起因する可能性が考えられた。次に、秋冬ダイコン及び春キャベツの生産性への影響については、慣行施肥では裸地区と同等であったが、窒素無施用の場合、春キャベツの生育が著しく抑制された。ダイコンに比べてキャベツの窒素吸収量は2倍以上あり、緑肥すき込みにより土壌バイオマスが増加することで窒素飢餓が生じ易い条件になったためと推察された。以上のこと等から、夏季におけるエンバク栽培は、窒素溶脱低減効果を有し、すき込み後の窒素は溶脱しにくいこと、また、極端な減肥栽培をしなければ後作の生産性に対するマイナス影響もないと考えられた。

キーワード：裸地，緑肥，硝酸態窒素溶脱

Summary

We evaluated cultivation of a green manure crop (oat) during the summer for reduction of nitrate leaching and effects on the productivity of autumn-winter Japanese radish and subsequently cultivated spring cabbage. While the surface (0-15 cm) $\text{NO}_3\text{-N}$ leached towards deeper layers in the plot where the manure crop was not cultivated in the summer, the $\text{NO}_3\text{-N}$ in the upper and lower layers was absorbed by the oats in the green manure plot. After plowing-in the oats, the $\text{NO}_3\text{-N}$ level increased temporarily and then declined. This reduction in $\text{NO}_3\text{-N}$ may be attributed to a plowing-induced increase of soil microorganisms that consumed $\text{NO}_3\text{-N}$ and converted it to an insoluble form. For the productivity of autumn-winter Japanese radish and spring cabbage, the productivity levels of the radish and cabbage in the green manure plots were comparable with those in the plot without the green manure crop when a conventional fertilizer was used, but the spring cabbage productivity was markedly reduced when the fertilizer used was nitrogen free. Given that cabbage absorbs more than twice as much nitrogen as radish, the cabbage productivity was reduced presumably because the green manure plowing increased the soil biomass and produced a soil condition in which nitrogen starvation can more readily occur. These results indicate that the oat cultivation during the summer reduces nitrogen leaching that leads to less nitrogen leaching after plowing, and is not expected to adversely affect the productivity of crops cultivated thereafter unless an extremely low level of fertilization is used.

Key words: bare ground, green manure, nitrate leachig

緒言

三浦半島では秋～春にダイコン、キャベツ、夏季にスイカ、カボチャ、メロン等が栽培されている。スイカ、カボチャ及びメロンの作付面積は漸減傾向にあり（農水省 1993, 2012）、夏季裸地畑が増加している。この期間は高温多雨であるため、土壌中の窒素代謝が盛んになり、生じた NO₃-N が溶脱する恐れがあるが、緑肥作物の導入により N 溶脱を抑え、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（糟谷・廣戸 2010, 愛知県 2010）。

三浦半島における緑肥栽培の始まりは、1973 年頃である。ダイコンの重要害虫であるキタネグサレセンチュウに対してアフリカンマリーゴールドが高い防除効果を有すること等が明らかとなり、現地に普及した（近岡ら 1971, 大林 1989）。その後、エンバクやギニアグラス等も導入されたが、除草や定植労力の負担、後作物の生育不良や品質低下等の懸念もあり、三浦半島における緑肥栽培面積は 1995 年の約 120 ha をピークに減少している（神奈川県横須賀三浦農改セ 2002）。

一方、三浦半島の一部の地下水中硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素濃度が環境基準値を超過する事例が明らかになり、その主たる起源に生活排水や農業の施肥窒素が考えられた（宮下 2004）。この報告を受け、神奈川県では 2006 年度に三浦市硝酸性窒素対策打合せ会を設置し、市や農協、普及指導機関、研究機関等が協力して、減肥や緑肥栽培を推進している。

本研究では、夏季休閑畑で緑肥作物を栽培することによる硝酸態窒素溶脱低減効果及び後作の秋冬ダイコン及び春キャベツの生育への影響について検討したので報告する。

材料及び方法

試験は、当所内の腐植質及び多腐植質黒ボク土の圃場（神奈川県三浦市、年平均気温 15.8°C、年平均降水量 1,557 mm）で実施した。

1. 緑肥作物による窒素溶脱低減効果

2012 年 5 月 11 日、指標として N10 kg/10 a を尿素を用いて全面約 15 cm の深さまで混和した。試験区は、エンバク品種「ヘイオーツ」を 5 月 11 日に散播

（播種量：15 kg/10 a）した緑肥区及び何も作付けない裸地区を設け、1 区 24 m² の 2 反復とした。土壌サンプルはハンドオーガー（大起理化工業製）を用いて深さ 90 cm まで採土し、15 cm 毎の 6 層に区分した。採土日は、6 月 7 日及び 7 月 10 日で、風乾後 2 mm ふるいを通したサンプルをフローインジェクション分析装置（アクア・ラボ FA100）により、NO₃-N 濃度を分析した。緑肥は、7 月 6 日に収穫した穂のみを刈り落とし、7 月 30 日に地上部全体をハンマーモアで粉碎後すき込んだ。

2. 緑肥作物すき込み後の窒素形態変化

前述 1 で供試したエンバクの穂を 2012 年 7 月 6 日に、茎葉を 7 月 26 日に各々 1 m² 刈りとり、生重及び乾物重を測定した。TN 含量及び TC 含量はデュマ法（Elementar 社製 vario MAX CN）により分析し、エンバクの窒素吸収量及び C/N 比を算出した。緑肥すき込み前後の土壌は前述同様、2012 年 7 月 10 日、8 月 7 日、9 月 11 日、10 月 12 日、11 月 13 日、12 月 11 日、2013 年 1 月 11 日、2 月 8 日、3 月 5 日及び 2011 年 12 月 11 日にサンプリングし、NO₃-N 及び NH₄-N 濃度をフローインジェクション分析装置（アクア・ラボ FA100）により、可給態 N 濃度を保温静置法（30°C・4 週間）により分析した。

3. 緑肥作物のすき込みが後作の生産性に及ぼす影響

2009 年～2012 年まで、緑肥区と裸地区における後作の生育への影響を毎年圃場を変えて調査した。緑肥作物にはエンバク野生種「ヘイオーツ」を供試し、2009 年は 5 月 19 日に条間 50 cm で条播し（播種量：6 kg/10 a）、2010～2012 年は散播により（播種量：15 kg/10 a）、2010 年 4 月 26 日、2011 年 4 月 22 日、2012 年 5 月 11 日に行った。2011 年以外の年は指標として N10 kg/10 a を尿素を用い、2011 年はキャベツ残渣を前述同様に混和した。エンバクは収穫時に穂を刈り落とし、地上部全体のすき込みは、2009 年 7 月 30 日、2010 年 7 月 23 日、2011 年 8 月 2 日、2012 年 7 月 30 日に行った。後作物の施肥には高度化成を用い、秋冬ダイコンは基肥で N9.0 kg/10 a、追肥で生育中及び肥大期に各々 N3.0 kg/10 a、春キャベツは基肥で N10.0 kg/10a、追肥で活着期及び結球肥大期に各々 N7.0 kg/10a を施用し、慣行施肥区とした。窒素無施用区で

は、窒素以外のリン酸及びカリを慣行施肥区と同量施用した。秋冬ダイコンには青首品種‘福誉’を供試した。2009年9月14日、2010年9月7日、2011年9月12日、2012年9月13日に畝間×株間＝50×24 cmで播種し、2009年12月10日、2010年11月18日、2011年11月29日、2012年12月10日に収穫し、根重等を調査した。秋冬ダイコン後作の春キャベツには品種‘金系201号’を供試し、2011年12月12日及び2012年12月17日に畝間×株間＝51×33 cmの栽植密度で定植し、2012年4月25日(慣行施肥区)、5月10日(窒素無施用区)、2013年4月24日に慣行施肥区及び窒素無施用区を収穫し、結球重等を調査した。

結果及び考察

1. 緑肥作物による窒素溶脱低減効果

裸地区では、6月の表層(0-15 cm)にみられたNO₃-N濃度ピークが、7月には下層(45-60 cm)へ移動し、同期間の降水量は192 mmであった(図1)。一方、緑肥区では、6月の表層(0-15 cm)のNO₃-N濃度が裸地区より低く、7月には全層のNO₃-N濃度が6月より低下した(図1)。ソルガムやクロタリヤを夏季休閑期に栽培すると裸地の場合よりも土壤中の無機態N含量が低下し、播種1ヶ月後から地下に溶脱するNO₃-N濃度が下がり始めるとの知見があるが(糠谷2011)、エンバクも同様の溶脱低減効果があり、地表から深い層(75-90 cm)までのNO₃-Nが吸収されている可能性が示唆された。エンバクの窒素吸収量は、13.8 kg/10 aで、C/N比は穂が21、茎葉が26であった(表1)。

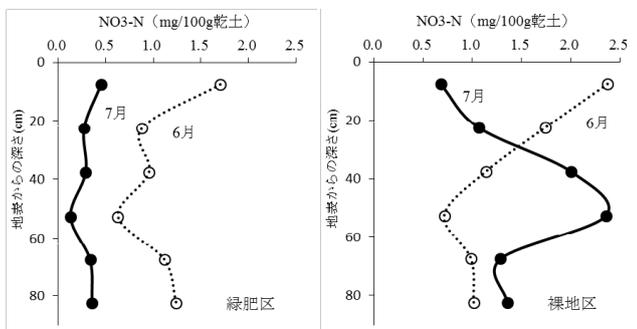


図1 緑肥栽培期間中の深さ別NO₃-N濃度の推移
 尿素施用及びエンバク播種が5/11、すき込みが7/30。採土は6/7及び7/10。降水量は5/11～6/6が68 mm、6/7～7/9が192 mm。

表1 夏季栽培したエンバクの生長量及び窒素吸収量

部位	生長量 ² (t/10 a)	乾物率 (%)	10a乾物量 (kg/10 a)	TC (%)	TN (%)	C/N比	窒素吸収量 (kg/10 a)
穂	0.9	19.9	186	42.7	2.1	21	3.9
茎葉	2.9	21.7	619	40.4	1.6	26	9.9
計	3.8	20.8	805	—	—	—	13.8

²2012年5月11日に直播し、穂(7月6日)及び茎葉(7月26日)を1㎡刈り取った生重から生長量を算出した。

2. 緑肥作物すき込み後の窒素形態変化

緑肥すき込み前(7月)からすき込み後(8月)にかけて緑肥区のNO₃-Nが増える一方、裸地区のNO₃-Nは減少し、0-90 cm(6層積算値)の可給態Nと無機態Nの合計は、すき込み前(7月)には緑肥区の方が少なかったが、すき込み後(8月)は裸地区の方が少なくなった(図2)。緑肥区におけるNO₃-N増加はすき込んだエンバクが無機化し、裸地区でのNO₃-N減少は、下層(75-90 cm)の窒素が90 cm以下へ溶脱したためと推察される(図3)。次に、8月から9月では、同期間に204 mmの降水量があったものの、裸地区の窒素濃度は低下しなかった。一方、緑肥区ではNO₃-Nが半減し、可給態Nと無機態Nの合計は裸地区より低くなった(図2)。

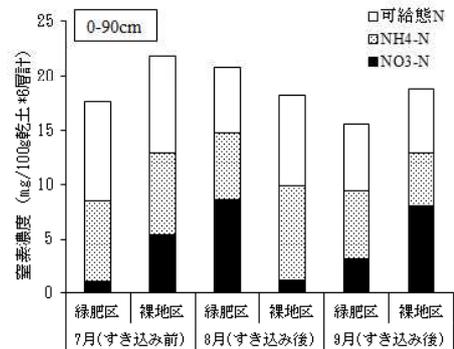


図2 緑肥すき込み前後の窒素形態別推移(6層計)

エンバクすき込みは7/30。採土は7/10、8/7、9/11。
 降水量は7/10～8/6が14mm、8/7～9/10が204mm。

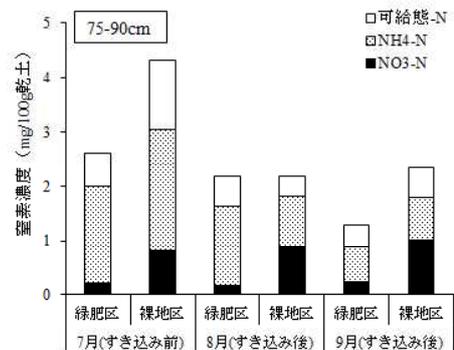


図3 緑肥すき込み前後の窒素形態別推移(75-90cm)

裸地区では硝化作用により NH₄-N 及び可給態 N が NO₃-N に変化したと考えられる。緑肥区においても同様の硝化作用があったと考えられるが、NO₃-N 濃度が低下していることから、別の窒素形態に変化した可能性がある。¹⁵N を用いた陸稲の試験では、添加後 3 週間の土壤中 ¹⁵N のうち大部分 (67 ~ 82%) が不溶性の形態 (微生物遺体の N) になっており (坂本ら 1997)、同様の形態変化があったと推察される。また、¹⁵N 標識により溶脱や脱窒により系外流出した割合をソルガムやギニアグラスをすき込みキャベツ等を 3 作栽培して調べたところ、降下浸透した割合が 5.2%及び 3.7% (糟谷 2007)、テンサイ、トウモロコシ及びコムギの 5 作栽培後で 5 ~ 26% (新良・西宗 2000) などと報告されており、すき込んだ緑肥は土壤中の有機態 N の給源として残存する割合が高く、系外へ流出しにくいと考えられた。

3. 緑肥作物のすき込みが後作の生産性に及ぼす影響

2009 ~ 2012 年に毎年試験圃場を変え、エンバクすき込み後、慣行施肥で秋冬ダイコン、春キャベツの順に栽培したところ、緑肥区と裸地区の生育は各年とも同等であった (表 2)。ソルガム後作のキャベツが裸地区より低収となり、翌年以降増収に転じた報告 (糟谷・廣戸 2010) や、ソルガム後作ハクサイで初年から同等以上の収量が得られた報告 (高津・石橋 2006) 等、緑肥すき込みによる後作の生産性は、種々の条件により異なる知見がある。一方、窒素無施用の場合、秋冬ダイコンでは緑肥区と裸地区で差はないが、後作の春キャベツでは、緑肥区が裸地区に比べて著しく生育が抑制された (表 3)。春キャベツ作付前土壤における窒素無施用区 60-90cm の NO₃-N 濃度は、裸地区の 2.62 mg/100 g 乾土に対して緑肥区は 0.94 mg/100 g 乾土と低かったものの、総じて両区の窒素濃度に顕著な差は認められず (表 4)、2012 年作の春キャベツ生育中における窒素無施用区の NO₃-N 濃度をみると、緑肥区と裸地区の差は慣行施肥区との差より著しく小さく、生育抑制の原因とは考えにくい (図 4)。有機物分解時に窒素が使われ窒素飢餓になることはよく知られている (橋爪 2007)。「ハイオーツ」のすき込みにより土壤細菌群集が多様化したり (橋爪 2011)、有機物含量に比例して土壤バイオマスが増加すること

表 2 夏季の緑肥栽培が後作の生産性に及ぼす影響

試験区 ^z	2009		2010		2011		2012	
	ダイコン根重(g)	ダイコン根重(g)	ダイコン根重(g)	キャベツ結球重(g)	ダイコン根重(g)	キャベツ結球重(g)	ダイコン根重(g)	キャベツ結球重(g)
緑肥区	1,146	1,311	1,540	1,483	1,237	1,236		
裸地区	1,081	1,270	1,478	1,367	1,305	1,441		
有意性 ^y	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
腐植含量 ^x	腐植質 多腐植質		多腐植質		腐植質			

^z慣行施肥区。^y一元配置分散分析により、nsは有意差なしを示す。^x土壤群は黒ボク土。各年度の試験圃場はすべて異なる。

表 3 緑肥の有無及び施肥の違いが秋冬ダイコン、春キャベツの生育に及ぼす影響

試験区	秋冬ダイコン根重(g)		春キャベツ結球重(g)	
	慣行施肥	窒素無施用	慣行施肥	窒素無施用 ^z
緑肥区	1,540	1,419	1,483	552
裸地区	1,478	1,400	1,367	1,133
有意差 ^y	ns	ns	ns	**

^z春キャベツの窒素無施用区は、前作の秋冬ダイコンも窒素無施用区。^y一元配置分散分析により、**は1%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す。2011年作。

表 4 春キャベツ作付前土壤^zの深さ別窒素濃度^y

試験区	深さ (cm)	慣行施肥区			窒素無施用区 ^x	
		NO ₃ -N	NH ₄ -N	可給態N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
緑肥区	0-30	0.50	0.31	3.22	0.49	0.32
	30-60	0.70	0.30	1.87	0.43	0.39
	60-90	4.24	0.35	1.30	0.94	0.40
裸地区	0-30	0.26	0.27	2.82	0.26	0.32
	30-60	1.02	0.32	1.62	0.42	0.31
	60-90	6.02	0.41	0.83	2.62	0.39

^z2011年11月29日に秋冬ダイコン収穫調査、12月11日に採土、12月12日に春キャベツの基肥施肥及び定植。^y15cm毎の調査値の2層平均値 (mg/100g乾土)。^x窒素無施用区は、前作秋冬ダイコンでも窒素無施用区。

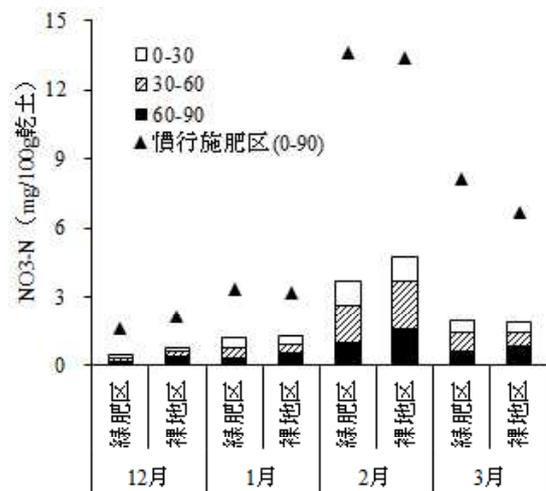


図 4 窒素無施用区の春キャベツ生育中 NO₃-N 濃度 2012 年 12/17 定植。慣行施肥区は 12/13 基肥、2/8 追肥。

(西尾 1984) 等から、窒素無施用の緑肥区で、窒素飢餓が生じ易い条件になったと推察される。また、秋冬ダイコンで影響がなく、春キャベツでのみ減収となったのは、キャベツの 10 a 当たり窒素吸収量 27.2 kg がダイコンの 11.9 kg より多いこと (神奈川県 2013)、低温適応性の高いダイコンは窒素吸収力が高いこと (有原 2000) 等から、窒素不足がキャベツでより顕著に影響したためと推察される。

(謝 辞)

本報告を作成するにあたり、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センターの唐澤敏彦主任研究員には、ご校閲の労をとっていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- 有原文二.2000.窒素の溶脱に果たす冬作の意義.農業技術体系土壌と活用VI.追録第 11 号第 3 巻:16 の 1 の 14-19.
- 愛知県.2010.夏季の緑肥栽培による環境保全的露地野菜栽培.農業の新技术.97.
<https://www.pref.aichi.jp/nososi/seika/singijutu.html>
- 近岡一郎・大林延夫・推名清治.1971.三浦ダイコンを加害するキタネグサレセンチュウの総合防除に関する研究.神奈川県農業試験研究機関共研報 2:1-50.
- 橋爪健.2007.新版 緑肥を使いこなす.農文協.p.113.
- 橋爪健.2011.ヘイオーツによる土壌病害の軽減.農業技術体系.追録第 22 号第 5-①巻:畑 172 の 52-63.
- 神奈川県.2013.神奈川県作物別施肥基準 (平成 24 年度版) :168.
- 神奈川県横須賀三浦地域農業改良普及センター.2002.三浦半島農業のあゆみ:5-8,68.
- 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.愛知農試研報 42:141-146.
- 糟谷真宏.2007.重窒素標識された緑肥由来窒素の黄色土における有効化.愛知農総研報第 39 号:83-87.
- 糟谷真宏.2011.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改善.農業技術体系野菜編.追録第 22 号第 5 巻-①巻:172 の 90-96.
- 宮下雄次.2004.神奈川県内における硝酸性窒素汚染地下水の水質、窒素安定同位体比と土地利用との関係.神奈川温地研報第 36 巻:25-42.
- 西尾道徳.1984.窒素の給源としての土壌バイオマスの評価.農林水産技術研究ジャーナル 7 巻 11 号 :18-21.
- 農林水産省.1993.作況調査 (野菜) 市町村別データ.
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html.
- 農林水産省.2012.作況調査 (野菜) 市町村別データ.
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html.
- 大林延夫.1989.ダイコンを加害するキタネグサレセンチュウの防除技術に関する研究.神奈川園試研報 39 号:1-90.
- 坂本一憲・関鋼・吉田富男.1997.各種畑土壌における作物吸収窒素に対する微生物バイオマスを経由した窒素の寄与.土肥誌第 68 巻第 4 号:402-408.
- 新良力也・西宗昭.2000.土壌にすき込まれた作物残渣からの無機化窒素放出と微生物バイオマス中の残渣由来窒素の消長.土肥誌第 71 巻第 3 号:321-328.
- 高津あさ美・石橋英二.2006.緑肥の導入および緑肥すき込み時の堆肥施用が窒素溶脱に及ぼす影響.農業および園芸第 81 巻第 10 号:1064-1067.