

夏秋どりキャベツ栽培への後作緑肥作物の導入が 硝酸態窒素の溶脱抑制に及ぼす効果

齋藤祐一・岡村成章*・三國和彦^{2*}

要 旨

群馬県北西部の高冷地における夏秋どりキャベツ栽培後にエンバク野生種 (*Avena strigosa* Schreb.) 及びライムギを作付けたときの土壤中硝酸態窒素含量の推移及び緑肥作物の窒素吸収量を調査した。エンバク野生種及びライムギは2~5kg/10aの窒素を吸収し、緑肥作物を栽培しない対照区と比較して土壤中の硝酸態窒素含量は低く保たれており、緑肥作物による硝酸態窒素の溶脱抑制効果があると考えられた。

結 言

地下水等に含まれる硝酸態窒素は乳幼児のメトヘモグロビン血症の原因とされ、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素として10mg/L以下の環境基準が設定されている。硝酸態窒素は水に溶けやすく、土壤に保持されにくいいため、地下水等に溶出しやすい¹⁾。群馬県域で実施された地下水質測定結果(令和元年度)²⁾では、調査を実施した151本の井戸のうち、21本の井戸で硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の環境基準を超過しており(超過率13.9%)、同年度における全国域の超過率3.0%(調査数2,957本中超過数88本)³⁾と比較して高い超過率となっている。地下水の水質保全策の一つとして適正な施肥が求められていることから、群馬県では環境への負荷が少ない施肥技術の普及に取り組んでいる。

野菜等の後作として、緑肥作物を作付けすることにより、野菜等の栽培跡地の残存窒素が吸収され⁴⁾⁵⁾、地下水系への硝酸態窒素の流出を防止する効果が期待されている。これに関連する報告が多数あるが、糟谷ら⁶⁾は愛知県においてソルガム、クロタラリアを秋冬キャベツ休閑期に導入することによる硝酸態窒素の溶脱抑制効果を確認している。原田ら⁷⁾は千葉県において夏作のソルガム及びギニアグラス、冬作のエンバク及びイタリアンライグラスの硝

酸態窒素の溶脱抑制量を評価している。

一方、群馬県北西部の高冷地に位置する嬭恋村は全国有数のキャベツ生産地であるが、傾斜8°以上のほ場が畑地面積の22%に達すると見積もられており⁸⁾、急傾斜の畑が裸地状態におかれると強雨による侵食を受けるおそれが大きく⁹⁾、表土流亡による土壤の劣化が懸念される。表土流亡の軽減に有効な緑肥作物の導入を推進すべく、群馬県農業技術センターでは普及機関等とともに、多様な作型に対応できる麦類を中心とした後作緑肥作物の選定¹⁰⁾をはじめ、キャベツの輪作体系の確立についての試験研究に取り組んでいる。こうした輪作体系導入の副次的な効果として、緑肥作物が土壤中に残存する硝酸態窒素を吸収保持することによる地下水質保全への寄与が期待できる。

そこで、夏秋どりキャベツの輪作体系確立に関する試験の一環として、有望な後作緑肥作物である *Avena strigosa* Schreb. (以下「エンバク野生種」) 及びライムギの導入による硝酸態窒素の溶脱抑制効果について検証することにした。

試験方法

試験は、群馬県農業技術センター高冷地野菜研究センター(嬭恋村田代、標高1,170m)内のほ場(傾斜約8°)において図1のとおり反復なしで実施した。2017年及び2018年に、1区画1.8×7mの各試験区画に4月中旬に播種したキャベツ(品種:「初恋」、

* 現 群馬県農政部東部農業事務所

^{2*} 現 群馬県健康福祉部食品・生活衛生課

本報告の一部は日本土壤肥料学会 2019 年度関東支部大会(長野大会)でポスター発表した。

窒素施肥量：20kg/10a) を5月下旬に定植、8月上旬に収穫した。各年とも、キャベツ収穫後、残さをロータリー耕（耕深約20cm）ですき込み、9月中旬に各緑肥作物を散播、レーキで混和し無施肥で栽培した。各試験区画において、栽培した緑肥作物と播種量を表1に示す。「ニューオーツ区」、「ライ太郎区」については年内の11～12月に、「R-007区」については翌春4～5月に、それぞれ地上部をモアで細断後ロータリー耕（耕深約20cm）によりほ場にすき込んだ（図2）。以上の各試験区画において、次の1、2の試料採取及び分析を実施した。

1 土壌の深さ別硝酸態窒素含量及び現存量

図2の「土壌調査」と記す各時期に、作土を直径100mmの円筒型手動式採土器により採取し、作土より下層の土壌はサンプリングドリル（株）藤原製作所、SDE-100、直径50mm）により採取可能な深さまで採取した。土壌の採取位置は各試験区の中央付近とし、採取時期ごとに採取位置を1m程度移動した。採取した土壌試料は層位（図3）や深さを考慮して適宜分割し分析試料とした。

試料の水分を105℃で20時間以上乾燥し測定後、庄司ら¹¹⁾に準じて土壌の1:5水抽出性硝酸態窒素含量(mg/kg)を測定した。すなわち、乾土10gに相当する未風乾土壌試料に純水50mLを加え振とう後、ろ過して、硝酸態窒素含量をイオンクロマトグラフ(日

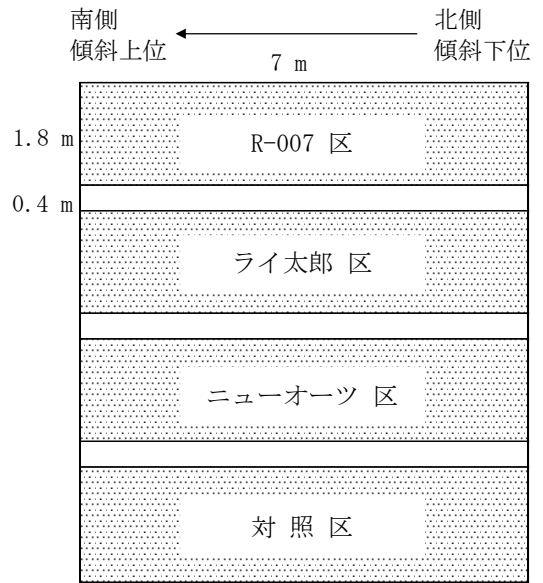


図1 高冷地野菜研究センター緑肥輪作試験ほ場図

表1 各試験区の緑肥作物と播種量

試験区名	緑肥作物	播種量 (kg/10a)
対照区	(作付けなし)	-
ニューオーツ区	エンバク野生種 「ニューオーツ」	10
ライ太郎区	超極早生ライムギ 「ライ太郎」	10
R-007区	中晩生ライムギ 「R-007」	5

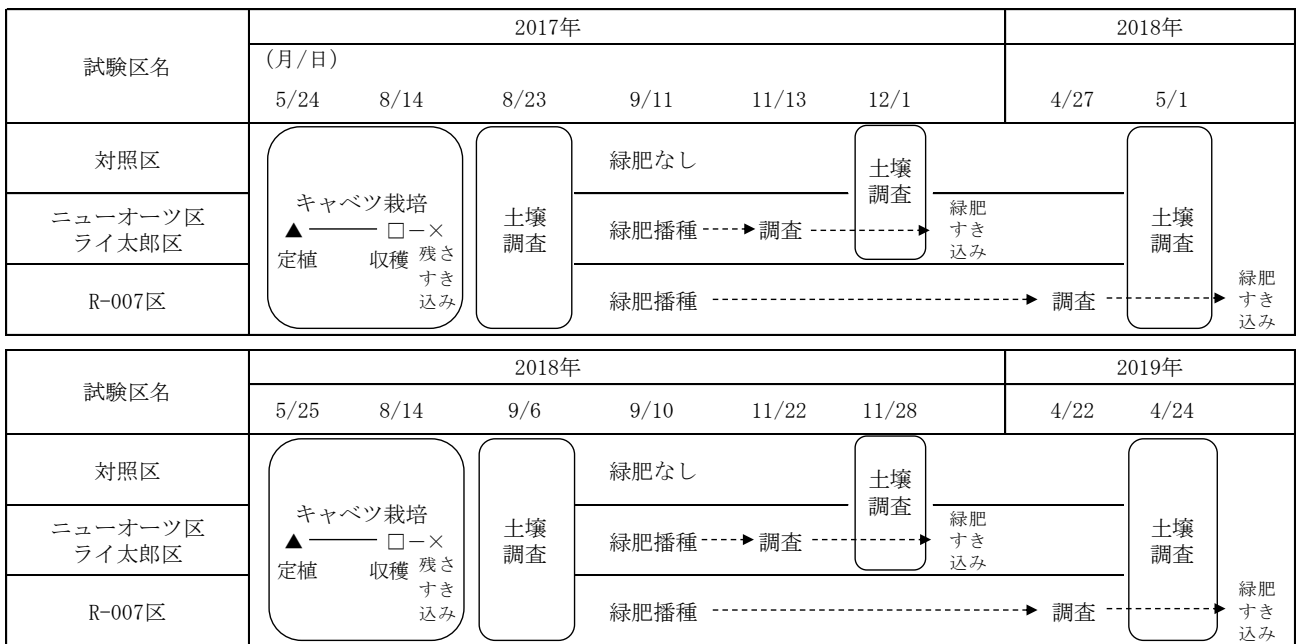


図2 各試験区のキャベツ及び緑肥作物の栽培と土壌調査の経過

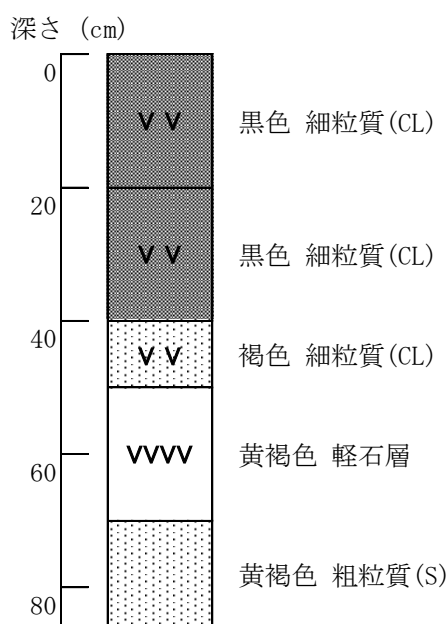


図3 調査地点の土壤断面図

注) 調査地点付近の代表的な断面

各層位の深さは調査場所により異なる

表2 硝酸態窒素含量算出に使用した仮比重

土壤試料の性状	仮比重 (g/mL)
黒色土 (作土)	0.61
黒色土 (次層)	0.79
軽石が主で褐色土が混合	0.55
軽石が主で砂が混合	0.70
砂が主で軽石が混合	0.90
砂	1.13

注) 試験ほ場から別途採取した不かく乱試料の測定値

各土壤試料に最も近い性状の値を使用した

本ダイオネクス株式会社、ICS1500)により測定した。

今回調査した土壤は、各層位間で土壤の性状が異なり仮比重 (mg/L) の差が大きいことから (表2)、仮比重の異なる層位間の硝酸態窒素の移動を図示するにあたり、表2の仮比重を用いて乾燥土壤の単位重量あたりの硝酸態窒素含量 (mg/kg) を土壤単位体積あたりの量 (mg/L) に換算した。さらに、各試料の硝酸態窒素含量に層厚を乗じて積算しほ場内の硝酸態窒素の現存量 (kg/10a) を算出した。

2 緑肥作物及びキャベツの窒素吸収量

緑肥作物については、図2の「調査」と記す各時期 (「ニューオーツ」区、「ライ太郎」区は11月中下

旬、「R-007」区は4月下旬)に、各試験区より0.16 m² (40cm×40cm)の作物体を採取 (根については可能な限り回収)、水洗し地上部と根に分けて105℃で乾燥後重量を測定し乾物収量を算出した。緑肥作物の乾燥物はミルで粉碎し全自動元素分析装置 (株) ジェイ・サイエンス・ラボ、JM3000CN)で地上部及び根の炭素及び窒素含有率を測定した。窒素含有率と乾物収量から、単位面積あたりの緑肥の窒素吸収量 (kg/10a) を算出した。

キャベツについては、2018年8月14日に各試験区より採取した5株について生鮮重を測定した後、結球部、外葉、茎根をそれぞれ縮分し乾燥、水分を測定して1株あたりの乾物重を算出した。前述の緑肥作物と同様に乾燥物の窒素含有率を分析し、窒素含有率と1株あたり乾物重と栽植密度 (7.4株/m²) から単位面積あたりの窒素吸収量を算出した。

結 果

1 土壤の深さ別硝酸態窒素含量及び現存量

「対照区」において、2017年キャベツ栽培後の8月23日には土壤中硝酸態窒素含量は深さ80cmまで5mg/L未満であったが、2017年12月1日には5~10mg/Lに増加し、翌春の2018年5月1日には5mg/L前後となった (図4・1-1~3)。土壤の採取深さが各回で異なり硝酸態窒素現存量の厳密な比較はできないが、現存量は8月から12月の間に約5kg/10a増加し翌春5月には約3kg/10a減少した (表3)。2018年のキャベツ栽培後、2018年9月6日には深さ30~40cmの土壤中硝酸態窒素含量が10~20mg/Lと増加し、その後11月28日には深さ50cmで約10mg/L、2019年4月24日には深さ60~70cmで約10mg/Lと次第に下部の硝酸態窒素含量が増加した (図4・1-4~6)。硝酸態窒素の現存量は9月から翌4月の間で約2kg/10a増加していた (表3)。

「ニューオーツ区」は「対照区」と異なり、2017年キャベツ栽培後の8月から緑肥作物すき込み前の12月、翌年5月の間で土壤中硝酸態窒素含量の増加は認められず (図4・2-1~3)、硝酸態窒素の現存量も1~2kg/10aで大きな変化は認められなかった (表3)。2018年9月には「対照区」と同様に深さ30~40cmで土壤中硝酸態窒素含量が10mg/L以上まで増加した。緑肥作物すき込み前の11月には深さ70cmまで5mg/L未満に減少したが、下部の硝酸態窒素含量は上部に比較しやや多くなっていた。翌春4

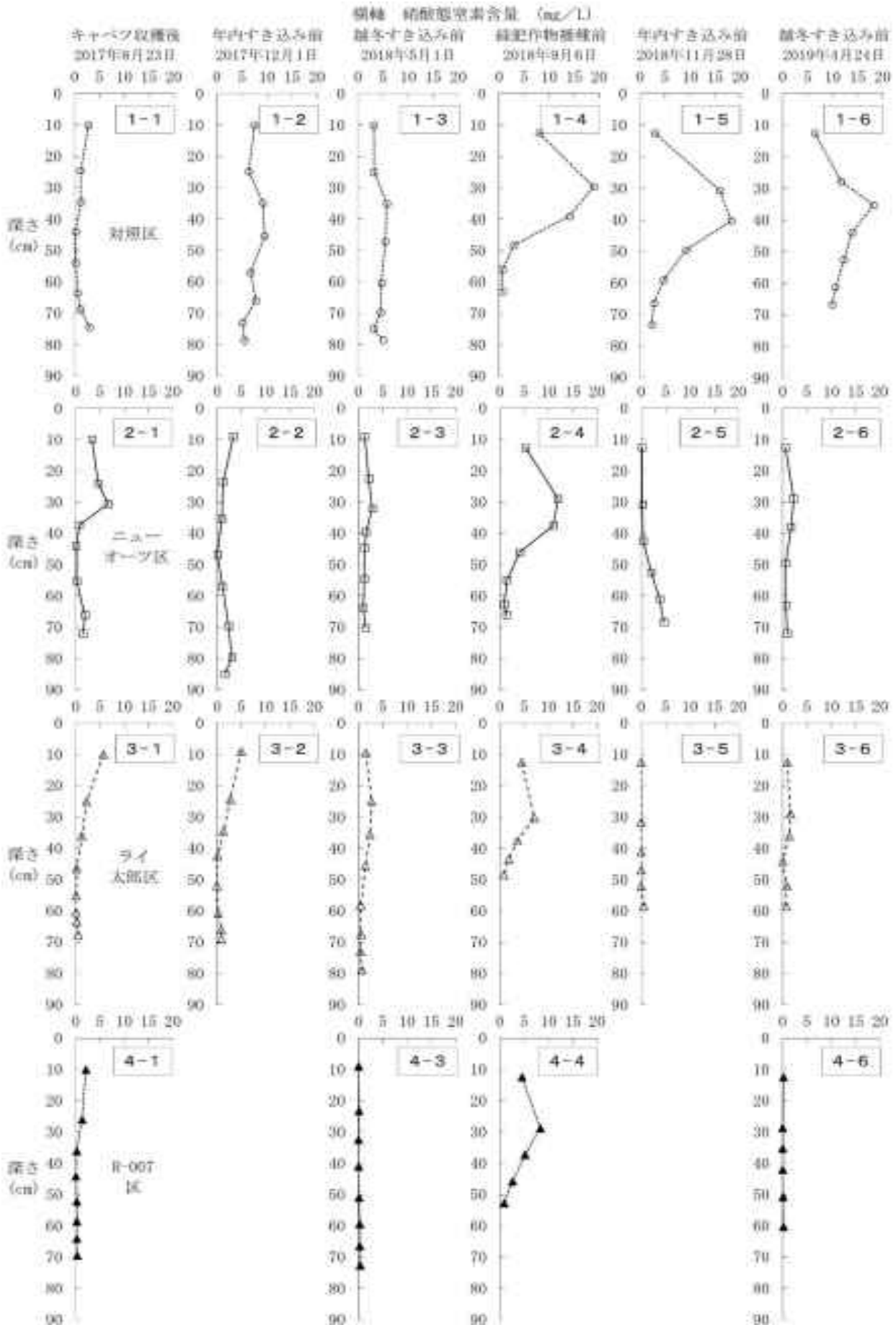


図4 土壌の深さ別硝酸態窒素含量の経時的変化

注) グラフのマーカ―は各層位の中心の位置（深さ）にプロットした。

月も深さ70cmまで5mg/L未満であったが、深さ30～40cmの硝酸態窒素含量が下部と比べやや多くなっていた（図4・2-4～6）。9月に3.8kg/10aあった硝酸態窒素の現存量は、12月以降は1kg/10a未満に低下した（表3）。

以上の傾向は、「ライ太郎区」でもおおむね同様であった（図4・3-1～6、表3）。「R-007」区では、2017年8月と2018年9月に0～10mg/Lあった土壤中硝酸態窒素含量が、すき込み時期の2018年5月と2019年4月にはどの深さでもほぼゼロとなり、硝酸態窒素の現存量も0.1kg/10aまで減少していた（図4・4-1～6、表3）。

2 緑肥作物及びキャベツの窒素吸収量

2018年作キャベツの結球重は平均で1,200g以上確保されており（出荷規格Lに相当）、結球部と残さを合計した窒素吸収量は17～20kg/10aと窒素施肥量20kg/10aとほぼ同等であり、ほ場にすき込まれる残さ（外葉、茎根）の窒素吸収量は約7kg/10aであった。

緑肥作物「ニューオーツ」「ライ太郎」「R-007」の地上部乾物収量は約100～350kg/10aであり、窒素2～5kg/10aを吸収していた（表4）。

考 察

緑肥を栽培しない「対照区」で2017年8月から12月の間で土壤中硝酸態窒素含量の増加が認められたこと、また2018年9月に深さ約30～40cmの土壤中硝酸態窒素含量が増加していたことについては、土壌にすき込まれたキャベツの残さが分解されたことに

より残さ中の窒素（約7kg/10a）の一部が硝酸態窒素として放出されたことが主な原因と考えられる。また、2017年12月から翌春5月の間で土壌中の硝酸態窒素含量が減少したこと、2018年9月から12、4月にかけて次第に下部の土壌中硝酸態窒素含量が増加したことから、裸地の時期に降水によってキャベツ残さや土壌から放出された硝酸態窒素が下方に浸透したものと考えられる。当地の気象を考えると¹⁰⁾、9月から10月の降水量の多い時期に下方に移動した硝酸態窒素が、翌春の融雪や降水でさらに下方に移動すると推測される。キャベツの根系は通常深さ10cm程度までの浅層に集中するとされ¹²⁾ 下層に移動した硝酸態窒素はキャベツに吸収されず溶脱し地下水汚染の原因となる可能性がある。一方、「ニューオーツ区」や「ライ太郎区」において、2017年8月から12月の間で「対照区」のような土壌中硝酸態窒素含量の増加は認められず翌年2018年作においても9月に増加した硝酸態窒素の現存量がすき込み時期の12月には減少していたことについては、「ニューオーツ」や「ライ太郎」が約2～5kg/10aの窒素を吸収していた結果から、キャベツ残さの分解により放出された窒素を緑肥作物が吸収していたためと考えら

表3 ほ場内硝酸態窒素の現存量

試験区名	2017年 (月/日)		2018年			2019年
	8/23	12/1	5/1	9/6	11/28	4/24
対照区	1.2 (76)	5.9 (80)	3.4 (80)	5.4 (67)	5.7 (77)	7.3 (68)
ニューオーツ区	1.7 (76)	1.6 (88)	1.2 (75)	3.8 (67)	0.9 (72)	0.7 (74)
ライ太郎区	1.6 (70)	1.4 (70)	1.1 (82)	2.2 (50)	0.0 (62)	0.5 (62)
R-007区	0.7 (72)	-	0.1 (75)	2.5 (56)	-	0.1 (65)

注) 上段太字は硝酸態窒素の現存量 (kg/10a)
下段の () 内値は土壌採取深さ (cm)

表4 緑肥作物及びキャベツの窒素吸収量

試験区名	2017年作 緑肥作物 ^a			2018年作 キャベツ			2018年作 緑肥作物 ^a		
	乾物収量 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)	地上部 C/N比	結球重 ^b (g)	窒素吸収量 ^c (kg/10a)		乾物収量 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)	地上部 C/N比
					結球部	残さ			
対照区	-	-	-	1482	13	7	-	-	-
ニューオーツ区	109	2.4	21	1319	13	7	229	4.0	27
ライ太郎区	153	3.0	24	1358	10	8	365	4.6	38
R-007区	132	2.3	32	1258	10	7	123	2.5	25

a) 緑肥作物の乾物収量は地上部の重量 窒素吸収量は地上部及び根の窒素吸収量の和をそれぞれ示した

b) キャベツの結球重は窒素吸収量の分析とは別に20株について調査した平均値(生鮮物重)を示した

c) 「結球部」は収穫持ち出しとなる結球部の窒素吸収量、「残さ」はほ場にすき込まれる外葉と茎根の窒素吸収量を示した

れる。一方、「ニューオーツ区」では2018年9月から11月の間に下層の土壤中硝酸態窒素含量がやや増加していたことから、緑肥作物を栽培した場合でも一部の硝酸態窒素は下層に移動することがあると考えられる。また、すき込み時から翌春の間に深さ30~40cmの硝酸態窒素含量がやや増加しており土壤中分解された緑肥作物から硝酸態窒素が放出されたと推測される。さらに、2018年9月の深さ30~40cmの土壤中硝酸態窒素含量について「対照区」の硝酸態窒素含量が「ニューオーツ区」や「ライ太郎区」より多くなっていたことについては、2018年キャベツ栽培前の5月の「対照区」で深さ30~40cmの土壤中硝酸態窒素含量が緑肥栽培区より多く、その後栽培期間中はキャベツの蒸散の影響等もあって深さ30~40cmからの硝酸態窒素の下方への移動は少なかったために、そのまま9月時の硝酸態窒素含量の差につながったと考えられる。

「R-007区」で越冬後のすき込み時期にはほぼ土壤中硝酸態窒素含量はほぼゼロになっていたことについても、「R-007」が2.5kg/10a程度の窒素を土壌から吸収していたためと考えられる。越冬栽培の「R-007」は年内にすき込む「ニューオーツ」「ライ太郎」と異なり春までの作付け期間中窒素を作物体内に吸収保持するため、分解後放出される硝酸態窒素がキャベツに吸収される前に下方へ溶脱される可能性は低く、硝酸態窒素溶脱抑制の効果は高くなると考えられる。

以上のように、エンバク野生種及びライムギは2~5kg/10a程度の窒素を吸収し、また緑肥作物を栽培しない場合に比較して土壤中硝酸態窒素含量は相対的に低く保たれていたことから、高冷地における夏秋どりキャベツ栽培後の後作緑肥作物としてのライムギ等の作付けには、硝酸態窒素の溶脱抑制効果が期待できると考えられた。

ただし、この効果は緑肥作物から放出された硝酸態窒素が浅根性のキャベツが吸収可能な範囲より下方に移動しないことが前提となる。現地では透水性改善等を目的とした深耕が広く実施されており、緑肥作物自体が深部にすき込まれた場合の硝酸態窒素の溶脱抑制効果は、今回の結果とは異なる可能性が考えられる。

また、緑肥作物を越冬栽培すれば硝酸態窒素の溶脱抑制効果は高くなるとしても、融雪後のキャベツ生産者の作業スケジュールの問題や、悪天候等ですき込みが遅れた場合には緑肥作物の土壤中での初期

の分解がキャベツ栽培期間に重なりキャベツの生育に悪影響を及ぼすリスクがある。越冬栽培の実施にあたっては、これらの問題についても考慮する必要がある。

他に注目すべき点として、エンバク野生種「ニューオーツ」と超極早生ライムギ「ライ太郎」について2017年と2018年で乾物収量が大きく異なる(表4)。これについては、本試験のような日当たりの悪い北向き斜面、無施肥栽培の条件下では、栽培日数がほぼ同じでも、播種時期の降雨量や生育期間中の気温など天候の影響が兩年間の収量差を生じさせる一因となったのではないかと考えられる。緑肥作物の収量が多くなると、窒素の吸収量が多くなる反面、C/N比の上昇により窒素飢餓を生じる可能性が考えられる。さらに、本試験において無施肥で栽培されたエンバク野生種及びライムギは北海道の栽培利用指針に示された値⁴⁾と比較すると、乾物収量が少ない割にC/N比が高い傾向にあり、無施肥で緑肥作物を栽培する場合にはC/N比の上昇に特に注意が必要であり、生育を見ながら適期にすき込むことが重要である(表4)。

また、緑肥作物の分解による窒素放出がキャベツへの窒素供給を増加させると考えられるが、今回の調査で緑肥作物に吸収されていた窒素2~5kg/10aはキャベツの窒素施肥基準量20kg/10aに比べると少量であり、またその全量が分解放出されることはない^{4) 13)}と見込まれる。施肥基準量は、通常、収量が最高となり安定する施肥量の範囲内で定められるものであるから、緑肥作物の分解により窒素供給量が多少増加してもキャベツ収量が直ちに低下することはないと考えられる。逆に、緑肥作物の放出分だけ窒素を減肥してもキャベツ収量を同等に確保できる可能性もあり、今後の検討課題である。

謝 辞

本調査にあたり、群馬県農政部技術支援課普及指導室、吾妻農業事務所普及指導課、及び農業技術センターの職員各位に助言と協力を頂いた。ここに記して厚く感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 環境省 水・大気環境局 土壌環境課 地下水・地盤環境室. 2020. 未来へつなごう私たちの地下水

https://www.env.go.jp/water/chikasui_jiban/chikasui_brochure01.pdf

2) 群馬県. 2020. 令和元年度地下水質測定結果について.

<https://www.pref.gunma.jp/contents/100172757.pdf>

3) 環境省. 2021. 報道発表資料「令和元年度地下水質測定結果について」.

<http://www.env.go.jp/press/109149.html>

4) 北海道農政部編. 2004. 改訂版 北海道緑肥作物等栽培利用指針. 社団法人 北海道農業改良普及協会. 札幌. 19-25, 28-31

5) 齋藤祐一・鹿沼信行. 2015. 片品村の露地野菜畑における後作緑肥作物の養分吸収量実態調査. 群馬県農業技術センター研究報告. 12 : 35-36

6) 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. 愛知県農業総合試験場研究報告. 42 : 141-146

7) 原田浩司ら. 2014. 緑肥作物の窒素吸収特性と硝酸態窒素溶脱抑制効果. 千葉県農林総合研究センタ

ー研究報告. 6 : 41-49

8) 鹿沼信行. 2021. 嬭恋村の畑地における傾斜区分図の作成. 群馬県農業技術センター研究報告. 18 : 21-22

9) 西村 拓編. 2019. 実践土壌学シリーズ4 土壌物理学. 株式会社 朝倉書店. 東京. 140-141

10) 岡村成章ら. 2021. 嬭恋村の夏秋どりキャベツ栽培に適応した緑肥作物の選定. 群馬県農業技術センター研究報告. 18 : 13-19

11) 庄司 正ら. 2007. 家畜ふん堆肥と化学肥料を併用したキャベツ栽培試験圃場における硝酸態窒素の現存量評価. 群馬県農業技術センター研究報告. 4 : 56-57

12) 山本岳彦ら. 2015. キャベツの機械化一貫栽培体系における苗の移植深度が収量, 結球部の傾きおよび根系分布へ及ぼす影響. 根の研究. 24 : 3-10

13) 齋藤祐一・鹿沼信行. 2015. 片品村の露地野菜畑における後作緑肥作物の分解. 群馬県農業技術センター研究報告. 12 : 37-38

(Key Words : Cabbage , Green Manure Crops , *Avena Strigosa* Schreb. , Rye , Nitrate Nitrogen)

Effect of The Introduction of Post-Crop Green Manure Crops to Summer–Autumn Cabbage Cultivation on Suppression of The Elution of Nitrate Nitrogen

Yuichi SAITO, Shigeaki OKAMURA and Kazuhiko MIKUNI

Summary

The authors investigated the changes in nitrate nitrogen content in soil and the nitrogen uptake by green manure crops when *Avena strigosa* Schreb. and ryes were planted after the cultivation of summer and autumn cabbages in a high, cool area in northwestern Gunma Prefecture. *Avena strigosa* Schreb. and the ryes absorbed 2–5 kg/10a of nitrogen, and the nitrate nitrogen content in the soil remained lower than in the control plot, where no green manure crops were planted. This suggests that the green manure crops inhibited the leaching of nitrate nitrogen.