

II. 農耕地における硝酸性窒素汚染軽減対策

1. たまねぎ圃場における汚染軽減対策

1) 背景および目的

たまねぎは大面積で連作されることが多い畑作的野菜であり、たまねぎ畑周辺の井戸水から環境基準値を超える硝酸性窒素が検出される事例が多数報告されていることから、硝酸汚染防止対策の重要作物として位置づけられている。

これまでに、総窒素投入量の適正化、後作緑肥の導入、作付体系への秋まき小麦導入等がたまねぎ畑における硝酸汚染防止対策技術として示されているが¹⁾、後作緑肥の導入は適用場面が早生品種の収穫後に限定され、高い効果を示す秋まき小麦の導入も作付体系の大きな変更を伴う等の制約がある。

一方、普通畑においては土壌に残存する窒素の回収において秋まき小麦やてん菜のような深根性作物の役割が重要であり、土層改良によって根張りを改善することが有効な対策であることが示されている。

そのため、たまねぎ畑においても土壌の物理性改良によるたまねぎ自体の根張りの改善が窒素の利用効率を高める技術として有効であると予想される。

そこで、本試験ではたまねぎ畑において根張りを制限する耕盤層の実態を調査するとともに、耕盤層破碎による根域拡大が窒素収支の改善に及ぼす効果を検討した。

2) 試験方法

(1) 耕盤層の現地実態

- ① 調査期間：平成14～17年の4か年（経済効果調査，網走支庁）
- ② 調査圃場：網走支庁管内の現地たまねぎ畑26圃場（黒ボク土6圃場，台地土4圃場，低地土16圃場）
- ③ 調査項目：（山中式）土壌硬度，耕盤層の深さ，たまねぎ（規格内）収量
- ④ 耕盤層の定義：

ここでは、たまねぎの主要な根群域とされる深さ40cmまで²⁾の範囲で、山中式土壌硬度で20mm以上または貫入式土壌硬度で1.5MPa以上の土層を耕盤層とした。

表Ⅱ-1-1 振動式全層破碎機（カワベスーパーソイラーSV3）の仕様・諸元

適応トラクタ	価格 (万円)	全長 (mm)	全幅 (mm)	全高 (mm)	全重 (kg)	作業幅 (mm)	耕深 (mm)	作業速度 (km/h)
40～60PS級	60～70	1210	1700	1320	295	最大1600	最大500	3～6

(2) 耕盤層破碎による窒素収支改善効果

耕盤層破碎試験では、振動式全層破碎機（写真Ⅱ-1-1，表Ⅱ-1-1）を主に用いた。

① 振動式全層破碎機の概要：

本機は振動式サブソイラーの一種であるが、左右の2本のカーブドシャンクで土を抱えて振動させるタイプなので、従来の振動式サブソイラーに比べ破碎領域が大きいことに特長がある。

また、広幅型心土破碎機（プラソイラー）と異なり下層土が表層に上がることはほとんどなく、トラクタのPTOの動力で作業機を振動させることにより、牽引抵抗も減らすことができる。

② 試験期間：平成17～20年の4か年

③ 試験圃場および供試品種：

表Ⅱ-1-2，表Ⅱ-1-3参照

④ 試験処理：表Ⅱ-1-4参照

⑤ 施肥量および有機物施用量：表Ⅱ-1-5参照

⑥ 調査項目：土壌物理性，土壌化学性，たまねぎ収量および養分吸収量



写真Ⅱ-1-1 振動式全層破碎機（カワベスーパーソイラーSV3）

表Ⅱ-1-2 試験圃場および供試品種一覧

試験圃場 ¹⁾	試験年度	土 壌 型	試 験 規 模	たまねぎ供試品種 ²⁾
①北見農試A	平成17年	多湿黒ボク土	1区 6m ² , 3反復	スーパー北もみじ
②北見農試B	平成18年	〃	1区15m ² , 3反復	〃
③北見農試C	平成19年	〃	1区 9m ² , 3反復	〃
〃	平成20年	〃	〃	北もみじ2000
④現地 A	平成18年	灰色台地土	1区49m ² , 2反復	スーパー北もみじ
⑤現地 B	〃	褐色低地土	1区35m ² , 2反復	〃
⑥現地 C	平成19年	灰色低地土	〃	北もみじ2000
⑦現地 D	平成19~20年	褐色低地土	〃	〃

注1) 北見農試Cおよび現地D圃場では、たまねぎを2年間連作した

2) 施肥・定植(4月下旬~5月中旬), 収穫(8月中旬~9月下旬)

表Ⅱ-1-3 試験圃場の土壌化学性¹⁾

試験圃場	pH	腐植 (%)	熱水抽出 性窒素 (mg/100g)	トルオク ^g リン酸 吸収係数 (me/100g)	リン酸 吸収係数 (me/100g)	C E C (me/100g)	交換性塩基 (mg/100g)		
							CaO	MgO	K ₂ O
①農試A	5.9	9.2	6.4	46.3	1504	28.1	605.0	32.9	50.9
②農試B	6.0	12.1	7.6	20.4	1268	29.4	513.2	28.1	53.7
③農試C	5.8	12.1	6.7	21.8	1632	27.8	410.2	33.2	41.7
④現地A	6.6	5.5	4.4	234.3	754	22.5	467.5	71.8	111.6
⑤現地B	6.3	2.9	4.9	107.4	314	17.6	361.9	68.4	41.0
⑥現地C	6.5	3.3	5.5	125.7	564	20.0	344.4	65.6	79.7
⑦現地D	6.0	3.6	5.0	106.3	461	14.6	222.4	37.7	63.5

注1) たまねぎ定植前に作土(0~20cm土層)を採取

表Ⅱ-1-4 試験処理一覧

試験圃場	試験年度	処 理 区 ¹⁾	施工時期 ²⁾	施工間隔・深さ		
①北見農試A	平成17年	無施工区 春全層破砕区	当年春(17年5月13日)	50cm	40cm	
②北見農試B	平成18年	無施工区 春全層破砕区	当年春(18年5月15日)	50cm	40cm	
③北見農試C	平成19年	無施工区	当年春(19年5月11日)	70cm	40cm	
		春心土破砕区	前年秋(18年9月27日)	50cm	〃	
		秋全層破砕区	当年春(19年5月11日)	〃	〃	
〃	平成20年	無施工区	前年春(19年5月11日)	70cm	40cm	
		春心土破砕区	前々年秋(18年9月27日)	50cm	〃	
		秋全層破砕区	前年春(19年5月11日)	〃	〃	
④現地 A	平成18年	無施工区 秋全層破砕区	前年秋(17年10月24日)	50cm	40cm	
⑤現地 B	平成18年	無施工区 秋全層破砕区	前年秋(17年10月31日)	50cm	40cm	
⑥現地 C	平成19年	春心土破砕区	当年春(19年4月26日)	50cm	40cm	
		春全層破砕区	〃	〃	〃	
⑦現地 D	平成19年	春心土破砕区	当年春(19年4月27日)	83cm	40cm	
		春全層破砕区	〃	〃	50cm	〃
		〃	〃	〃	〃	〃
〃	平成20年	春心土破砕区	前年春(19年4月27日)	83cm	40cm	
		春全層破砕区	〃	〃	50cm	〃

注1) 全層破砕区は振動式全層破砕機を間隔50cm, 深さ40cmで施工し, 心土破砕区はサブソイラを間隔50~83cm, 深さ40cmで施工した

2) 振動式全層破砕機およびサブソイラの施工時期は, 原則たまねぎ作付の前年秋または当年春であるが, 平成20年度の試験は全層破砕および心土破砕処理の持続効果を見るために前々年秋または前年春に上記を施工した圃場で試験を行った

表Ⅱ-1-5 試験圃場の施肥量および有機物施用量

試験圃場	試験年度	施肥量 (kg/10a) ¹⁾			有機物施用			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	種類	連用量 (連用年数)		
①農試A	H17	0,	10,	15	20	10	牛糞堆肥	1t/10a (10年超)
②農試B	H18	0,	10,	12, 15	20	10	〃	〃 (〃)
③農試C	H19	0,	10,	12	20	10	〃	〃 (〃)
〃	H20		12		20	10	〃	〃 (〃)
④現地A	H18	0,	9,	12, 15	16	12	〃	2t/10a (〃)
⑤現地B	〃	0,	9,	12	24	7.2	〃	5t/10a (5~10年)
⑥現地C	H19	0,	6,	9	20	10	〃	3t/10a (〃)
⑦現地D	〃	0,	6,	9	20	10	〃	〃 (10年超)
〃	H20		11		22	11	〃	〃

注1) 北見農試A, B, C圃場はリン酸肥沃度が低いので、たまねぎ作付前にリン酸資材を施用した (P₂O₅80kg/10a)

3) 結果および考察

(1) 耕盤層の現地実態

網走支庁管内の現地たまねぎ畑について土壌物理性を調査した結果、黒ボク土と台地土における耕盤層は平均すると21~22cmと比較的浅い土層に存在し、全ての圃場で心土の山中式土壌硬度が、耕盤層の目安となる20mm以上を示した。一方、低地土については耕盤層が形成されない圃場も多数存在し、耕盤層が出現する土層の深さは平均で約28cmと黒ボク土や台地土に比べて6~7cm程度深かった (表Ⅱ-1-6)。

たまねぎ畑の耕盤層の深さとたまねぎ収量の間には密接な関係が見られ、耕盤層の出現する深さが概ね25cm以上の圃場では安定して7t~9t/10aの高い収量が得られた (図Ⅱ-1-1)。

(2) 耕盤層破碎による窒素収支改善効果

① 土壌硬度および根張りに及ぼす影響

a. 貫入式土壌硬度への影響

たまねぎ収穫時の貫入式土壌硬度を見ると、無施

工区および心土破碎区 (従来型サブソイラを施工) では、深さ15cm付近に耕盤層が認められたが、全層破碎区 (振動式全層破碎機で耕盤層を破碎) では、耕盤層が出現する土層の深さは平均で約32cmであり、顕著な耕盤層破碎効果が認められた (図Ⅱ-1-2)。

また、無施工区および心土破碎区の15cm深の平均土壌硬度が1.5MPaであるのに対して、全層破碎区の土壌硬度は0.7MPaと半分以下の値を示した。

b. 山中式土壌硬度およびたまねぎの根張りへの影響
たまねぎ収穫時の土壌断面の山中式土壌硬度計による調査においても同様に、土壌硬度20mm以上の土層深は、無施工区が16cmであるのに対して、全層破碎区では32cmまで拡大し、根張りの深さは同土層の深さとほぼ一致した (図Ⅱ-1-3)。

また、農家慣行である従来型サブソイラによる心土破碎区に対しても、全層破碎による土壌硬度低下と根張りの改善効果は明らかに優っていた。

表Ⅱ-1-6 現地たまねぎ畑の土壌物理性

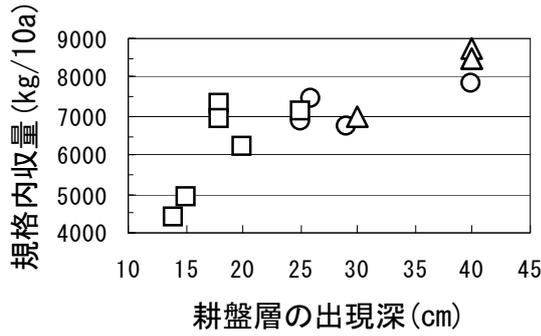
土壌型	調査 ¹⁾ 圃場数	土壌硬度 (mm)		耕盤層 ³⁾		耕盤層の深さ (cm) ⁴⁾	
		作土	心土 ²⁾	形成圃場	比率 (%)	範囲	平均
黒ボク土	6	12.5	26.0	6	100.0	16~34	21.3
台地土	4	15.5	21.5	4	100.0	15~29	22.3
低地土	16	15.9	20.2	10	62.5	14~40	28.2
計	26	15.1	21.7	20	76.9		25.7

注1) 北見市, 訓子府町, 置戸町の26圃場で調査。平成14~17年の経済効果調査 (網走支庁) から引用

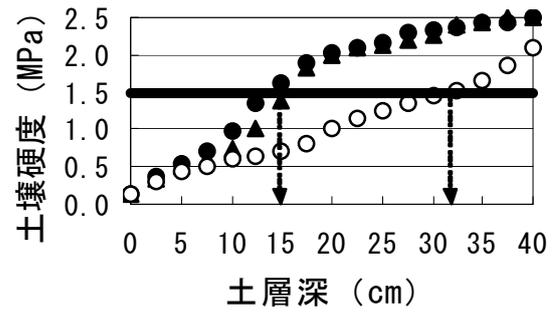
2) 心土 (土層深20~40cm) における (山中式) 土壌硬度の最大値

3) 心土の (山中式) 土壌硬度が20mm以上を耕盤層とした

4) 基本的には耕盤層が出現する土層の深さを指すが、たまねぎの主要な窒素吸収土層は深さ40cmまでとされていることから、40cmを耕盤層の深さの上限とした



○ 平成14年 △ 平成16年 □ 平成17年



● 無施工区 ▲ 心土破砕区 ○ 全層破砕区

図 II-1-1 現地たまねぎ畑における耕盤層の出現深とたまねぎ収量の関係
(平成14～17年の経済効果調査(網走支庁)から、品種が「スーパー北もみじ」である14圃場のデータを抽出)

図 II-1-2 全層破砕処理による貫入式土壌硬度の変化(全圃場の平均値)



図 II-1-3 たまねぎ畑の土壌硬度および根の分布(北見農試C圃場, 窒素施肥量12kg/10a)

② 生育・収量等に及ぼす影響

平成17, 18, 19年における無施工区と比較した全層破砕処理の効果を表 II-1-7 に示す。全層破砕区では無施工区に対して、規格内収量は 3~33%, 窒素吸収量は-0.1~2.7kg/10a, それぞれ増加した。

また、平成19年における心土破砕区との比較では、全層破砕処理によって規格内収量は 3~12%, 窒素吸収量は0.8~2.0kg/10a, それぞれ増加した(表 II-1-8)。全層破砕処理の施工効果を通覧すると、全層破砕区では、無施工区に対してたまねぎの規格内収量が11%, 窒素吸収量が 1.5kg/10a (14%) 増加した(表 II-1-9)。また、心土破砕区に対しても、規格内収量が7%, 窒素吸収量が 1.4kg/10a (13%) 増加した。

全層破砕による耕盤層破砕はたまねぎの根域を拡

大し、水分供給の安定化等を通じて増収および窒素吸収量の増加をもたらすと考えられる。

そのため、全層破砕処理の施工効果は、干ばつ・高温により球肥大が停滞するような生育不良年や耕盤層の出現深が浅い圃場でより効果を発揮すると考えられる。

全層破砕処理の施工効果を年次別に見ると、干ばつ、高温年であった平成18年には特に高い効果が認められた。これに対して、平成17年及び19年は、生育期間中に適度な降雨があり、球肥大が順調に進んだ年であり、全層破砕処理の効果が発現しにくい年次であったと考えられる。

平成19年に耕盤層破砕処理・施工時期による効果の違いを検討した結果を表 II-1-10 に示す。処理による規格内収量の序列は、春全層破砕≒秋全層破

砕>春心土破碎=無施工の順となり、全層破碎の施工時期による収量差は認められなかった。また、窒素吸収量および窒素利用率の序列は春全層破碎>秋全層破碎>春心土破碎>無施工の順となった。

③ 全層破碎処理の持続効果

a. 全層破碎処理後の耕盤層出現深の経時的変化

全層破碎処理を行ったたまねぎ圃場における耕盤層出現深は、処理後の日数の経過に伴って浅くなる傾向が認められた(図Ⅱ-1-4)。図Ⅱ-1-1の結果から、耕盤層出現深を25cm以上とする事を改良目標とすると、図Ⅱ-1-4のプロットの一次回帰式($y = -0.0224x + 36.327$)から、処理効果の持続期間は約17ヶ月と推定された。この17ヶ月という期間は春に全層破碎処理を行った場合、たまねぎの作付期間2カ年分を概ねカバーする期間に相当する。

b. 生育・収量等から見た全層破碎処理の持続効果

施工2年目および3年目圃場における全層破碎処理の効果を心土破碎区との比較で表Ⅱ-1-11に示す。施工2年目の全層破碎区(前年春に施工)では、施工2年目の心土破碎区に対して、規格内収量は11~15%、窒素吸収量は1.9~2.2kg/10a、それぞれ増加した。施工3年目の全層破碎区(前々年秋に施工)では、施工2年目の心土破碎区に対して、規格内収量は7%、窒素吸収量は0.7kg/10a、それぞれ増加し、施工2年目に比べれば若干劣るものの依然として効果が認められた。

従来型心土破碎および広幅型心土破碎の試験例では^{3, 4)}、多湿黒ボク土、黒ボク土、褐色低地土において施工2~3年目まで増収効果が確認されており(対象は普通畑作物)、本試験で施工した全層破碎処理でも同程度の持続効果が認められた。

表Ⅱ-1-7 無施工区と比較した全層破碎処理の効果(平成17~19年)

試験圃場	試験年次	窒素		生育・収量等(対無施工区) ¹⁾		
		施肥量(kg/10a)	収量比(%)	窒素吸収量の差(kg/10a)	窒素利用率の差(%)	GI ²⁾ の差
①農試A	H17	10	103(5673)	-0.1(10.5)	-2(64)	17(705)
		15	103(6674)	0.0(13.2)	-1(60)	29(733)
②農試B	H18	10	110(5161)	1.7(11.0)	19(53)	5(788)
		12	111(5204)	1.9(12.0)	18(52)	12(801)
		15	109(5376)	1.9(12.4)	14(44)	39(791)
③農試C	H19	10	103(6974)	1.1(11.9)	10(67)	7(717)
		12	105(7149)	1.4(12.6)	10(62)	19(732)
④現地A	H18	12	117(6936)	2.6(11.9)	22(61)	65(652)
⑤現地B	H18	9	133(3895)	1.7(6.5)	13(50)	101(521)
		12	127(4264)	2.7(7.3)	19(44)	114(586)

注1) ()内の値は無施工区の実数。③農試C圃場のデータは前年秋施工区と当年春施工区の平均値。

2) GIは7月下旬から8月上旬の値。GI:草丈(cm)×葉数(枚)。

表Ⅱ-1-8 心土破碎区と比較した全層破碎処理の効果(平成19年)

試験圃場	心破 ¹⁾ 施工間隔(cm)	窒素		生育・収量等(対心土破碎区) ²⁾		
		施肥量(kg/10a)	収量比(%)	窒素吸収量の差(kg/10a)	窒素利用率の差(%)	GI ³⁾ の差
③農試C	70	10	103(6971)	0.8(12.2)	8(68)	2(722)
		12	104(7183)	0.8(13.3)	6(66)	16(735)
⑥現地C	50	6	112(5398)	2.0(7.3)	29(69)	90(667)
		9	110(6036)	1.8(9.0)	17(65)	106(686)
⑦現地D	83	6	105(8437)	1.5(10.2)	13(94)	29(728)
		9	111(8844)	1.6(11.4)	10(77)	9(798)

注1) 心土破碎処理は平成19年の春に行った。尚、全層破碎処理の施工間隔は50cm。

2) ()内の値は心土破碎区の実数。③農試C圃場のデータは前年秋施工区と当年春施工区の平均値。

3) GIは7月下旬から8月上旬の値。

表Ⅱ-1-9 全層破碎処理の施工効果

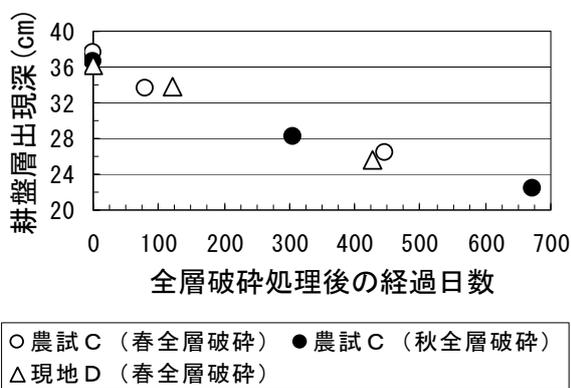
耕盤層 破碎処理	規格内 収量 (kg/10a)	収量比 (%)	窒素 吸収量 (kg/10a)
① 無施工	5731	100	10.9
全層破碎	6336	111	12.4
② 心土破碎	7145	100	10.6
全層破碎	7677	107	12.0

注1) H17~H19年, 北見農試・現地の平均。
2) ①は対となる10例, ②は 6例の平均。

表Ⅱ-1-10 耕盤層破碎処理・施工時期による効果の比較(平成19年, 北見農試C圃場)

窒素 施肥量 (kg/10a)	耕盤層破碎処理	生育・収量等(対無施工区) ¹⁾			
		収量比 (%)	窒素 吸収量の差 (kg/10a)	窒素 利用率の差 (%)	GI ²⁾ の差
10	無施工	(6974)	(11.9)	(67)	(717)
	春心土破碎	100	0.3	1	5
	全層破碎(前年秋)	102	0.9	6	6
	〃(当年春)	103	1.3	12	9
12	無施工	(7149)	(12.6)	(62)	(732)
	春心土破碎	100	0.6	4	3
	全層破碎(前年秋)	105	1.4	9	0
	〃(当年春)	105	1.4	11	38
平均	春心土破碎	100	0.5	3	4
	全層破碎(前年秋)	104	1.1	7	3
	全層破碎(当年春)	104	1.4	11	23

注1) ()内の値は無施工区の実数。
2) 8月1日のGI。



図Ⅱ-1-4 たまねぎ畑における全層破碎処理後の経過日数と耕盤層の出現深の関係

表Ⅱ-1-11 施工2年目および3年目圃場における全層破碎処理の効果（対心土破碎）

試験圃場 ¹⁾	全層破碎処理の施工時期	窒素施肥量 (kg/10a)	生育・収量等（対心土破碎区） ²⁾		
			収量比 (%)	窒素吸収量の差 (kg/10a)	GI ³⁾ の差
③北見農試C	前々年秋	12	107(6233)	0.7(11.2)	47(701)
	前年春	12	115(〃)	2.2(〃)	65(〃)
⑦現地D	前年春	11	111(6499)	1.9(11.9)	43(740)

注1) 平成19年に表Ⅱ-1-8の試験を実施した同一圃場で、平成20年に試験を行った。

2) ()内の値は心土破碎区の実数。心土破碎処理は平成19年の春に施工。

3) GIは7月下旬の値。

④ 窒素環境容量の視点から見た全層破碎処理の効果

無施工・心土破碎および全層破碎系列における硝酸性窒素汚染のリスクを窒素環境容量⁵⁾の考え方により図Ⅱ-1-5に示す。ここで窒素環境容量に対する超過窒素量の値がマイナスであれば浸透水中の年平均硝酸性窒素濃度を10mg/L以下にできると推定される。図において、投入窒素量が12~18kg/10aの処理について投入窒素量と超過窒素量の回帰式から超過窒素量がゼロとなる投入窒素量、すなわち硝酸性窒素汚染のリスクを回避するための投入窒素限界量を求めると、その値は無施工・心土破碎系列で15.4kg/10a、全層破碎系列で17.8kg/10aと試算される。

全層破碎系列では生育・収量の増加に伴って圃場からの持出し窒素量が増えることが投入窒素限界量の増加をもたらしている。

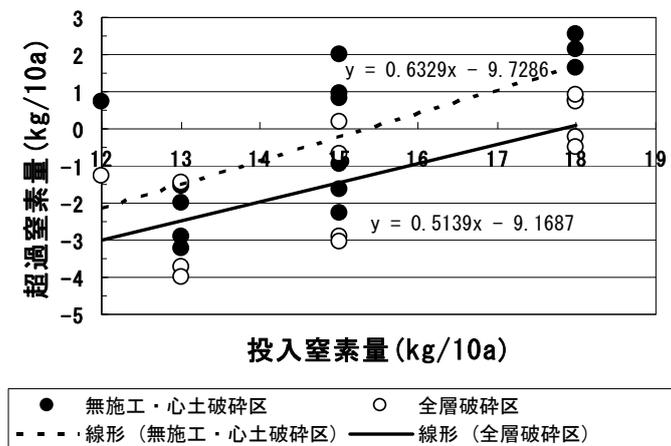
図Ⅱ-1-5の個々のプロットに着目した場合でも、全層破碎系列では、施肥標準相当量（15kg/10a）の

投入窒素量で超過窒素量がプラスになる事例はほとんどなく、全層破碎処理で根域を拡大することにより、たまねぎ栽培の生産性を維持しつつ、硝酸性窒素汚染のリスクを抑えることが可能と推定された。

⑤ 耕盤層破碎処理が土壤溶液中硝酸性窒素濃度に及ぼす影響

耕盤層破碎処理が翌年春の土壤溶液中硝酸性窒素濃度に及ぼす影響を表Ⅱ-1-12に示す。硝酸性窒素濃度の序列は、春全層破碎区<秋全層破碎区<春心土破碎区≦無施工区の順となり、前項で見た全層破碎処理の窒素負荷軽減効果が土壤溶液中の硝酸性窒素濃度においても確認された。

以上の結果から、全層破碎処理によるたまねぎの増収効果および環境への窒素負荷軽減効果を模式図に示すと、図Ⅱ-1-6のようにまとめられる。

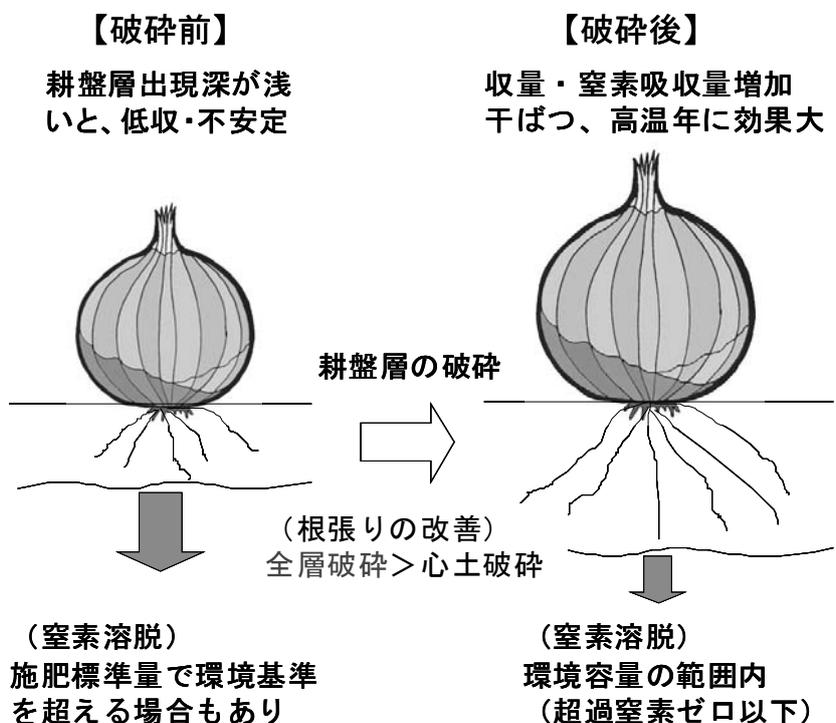


図Ⅱ-1-5 無施工・心土破碎および全層破碎系列における投入窒素量と超過窒素量の関係
 投入窒素量=化学肥料窒素量+施用有機物窒素量（牛糞麦稈堆肥現物1t当り、
 連用5年未満：N1kg、5~10年：N2kg、10年超：N3kgとして評価した）
 窒素環境容量=作物による窒素持出量+硝酸性窒素残存許容量
 （窒素環境容量に対する）超過窒素量=投入窒素量-窒素環境容量

表Ⅱ-1-12 耕盤層破碎処理が春季の土壤溶液中硝酸性窒素濃度に及ぼす影響

試験圃場	土壤溶液採取日	80cm深の土壤溶液中硝酸性窒素濃度 (mg/L)			
		無施工	春心土破碎	秋全層破碎	春全層破碎
③北見農試C	20年 4月14日	22.2	21.0	16.6	13.2

注1) 春心土破碎および春全層破碎は平成19年 5月11日に施工し、秋全層破碎は平成18年 9月27日に施工した。



図Ⅱ-1-6 全層破碎処理によるたまねぎの増収効果および環境への窒素負荷軽減効果

4) 総合考察

(1) 全層破碎処理の適応土壤

本試験を実施した土壤（多湿黒ボク土，灰色台地土，褐色低地土，灰色低地土）においては，いずれの土壤型でも全層破碎処理による土壤物理性改善およびたまねぎ根の伸張促進，たまねぎの収量・窒素吸収量の増加等のプラスの効果が認められた。

黒ボク土については（対象は普通畑作物），従来型心土破碎および広幅型心土破碎処理の適応土壤とされており^{3, 4)}，また，褐色森林土についても，全層破碎処理によるスイートコーンおよびダイコンの収量性および土壤物理性向上効果等が報告されており⁶⁾，作物は違うがたまねぎにも適応可能と考えられる。

一方，浅い土層に礫が出現する土壤は物理的に全層破碎処理が困難であり，また排水条件が著しく不良な土壤（グライ土等）は全層破碎処理により保水性が高まり，湿害を誘発する危険性も想定されるた

め適応土壤から除外した。このように，上記の不適土壤を除けば，全層破碎処理は広い範囲の土壤に適応可能と考えられる。

(2) 全層破碎処理の望ましい施工時期

気象条件に恵まれた平成19年の試験では，全層破碎処理によるたまねぎの増収効果等に施工時期による差は認められなかった（表Ⅱ-1-10）。しかし，図Ⅱ-1-4に示すように施工後の日数が経過するにつれて耕盤層の出現深が浅くなる傾向が認められ，持続効果も考慮に入ると春施工が望ましい。

また，秋に施工すると融雪水が土壤孔隙に流れ込み，春先の圃場乾燥が遅れる可能性があることや，多量の土壤無機態窒素が残存している圃場では融雪時の硝酸溶脱を助長する危険性があることを総合的に考慮すると春施工が望ましいと考えられる。

(3) 全層破碎処理の適用場面

これまでにたまねぎ畑における硝酸汚染防止対策として示された後作緑肥の導入は、適用場面が早生品種の収穫後に限定され、高い効果を示す秋まき小麦の導入も作付体系の大きな変更を伴う等の制約がある。

全層破碎処理はたまねぎ生産の主力となる中晩生品種を連作する条件下で導入できることから適用場面が広く、また、環境への窒素負荷軽減と増収の効果を併せ持つことから、経営上も取り入れやすい技術と考えられる。そのため、総窒素投入量の適正化を基本として既往の対策と合わせて、全層破碎処理を積極的に導入することが望まれる。

5) 要約

- (1) 網走支庁管内の現地たまねぎ畑における耕盤層の平均出現深は、黒ボク土と台地土で21～22cm、低地土で約28cmであった。
- (2) 耕盤層の出現する深さが概ね25cm以上の圃場では安定して7t～9t/10aの高い収量が得られた。
- (3) 収穫時の山中式土壌硬度20mm以上の土層の出現深は、無施工区が16cmであるのに対して、全層破碎区では32cmまで拡大し、根張りの深さは同土層の深さとほぼ一致した。
- (4) 全層破碎区では、無施工区に対してたまねぎの規格内収量が11%、窒素吸収量が1.5kg/10a(14%)増加し、心土破碎区に対しても、規格内収量が7%、窒素吸収量が1.4kg/10a(13%)増加した。年次別にみると干ばつ・高温年における効果が顕著であった。
- (5) 各処理における窒素吸収量および窒素利用率の序列は、春全層破碎>秋全層破碎>春心土破碎>無施工の順となった。
- (6) 全層破碎処理の効果は、土壌硬度及び生育・収量への影響から判断すると施工後2～3年程度持続する。
- (7) 窒素環境容量相当の投入窒素量は全層破碎系列で約18kg/10aと見積もられ、施肥標準量程度

の投入窒素量(15kg/10a)で生産性を維持しつつ硝酸性窒素汚染のリスクを抑えることが可能と推定された。

- (8) 浅い土層に礫が出現するか、排水条件が著しく不良な土壌を除けば、全層破碎処理は広い範囲の土壌に適応可能と考えられ、施工時期は春が望ましい。
- (9) 結論：全層破碎処理は中晩生品種を連作する条件下で導入できることから適用場面が広く、また、環境への窒素負荷軽減と増収の効果を併せ持つことから、総窒素投入量の適正化を基本として既往の対策と合わせて積極的に導入することが望まれる。

6) 引用文献

- 1) 中央農試・十勝農試・北見農試. “普通畑およびたまねぎ畑における地下水中硝酸性窒素の削減対策”. 平成16年度北海道農業試験会議(成績会議)資料. 1-62(2005).
- 2) 中央農試. “道央タマネギ栽培における減化学肥料の実証(クリーン農業の評価と実証)”. 平成7年度北海道農業試験会議(成績会議)資料. 1-16(1996).
- 3) 十勝農試. “十勝地方における耕盤層の判定基準と改善対策”. 昭和61年度北海道農業試験会議(成績会議)資料. 1-16(1987).
- 4) 十勝農試. “貫入式土壌硬度計を用いた耕盤層の簡易判定法と広幅型心土破碎による対策”. 平成14年度北海道農業試験会議(成績会議)資料. 1-26(2003).
- 5) 中央農試. “地下水の硝酸汚染を防止するための窒素管理方策—北海道農耕地の窒素環境容量 Ver. 2—”. 平成14年度北海道農業試験会議(成績会議)資料. 1-35(2003).
- 6) 長崎裕司, 猪之奥康治, 宮崎昌宏, 岡崎紘一郎. “傾斜畑における全層破碎処理による土壌保全効果”. 農業および園芸. 71, 33-38(1996).
(鈴木慶次郎)

2. クリーニングクロープ活用による汚染軽減対策

1) 後作緑肥の活用による汚染軽減対策

(1) 目的

露地野菜畑において、窒素負荷実態および緑肥作物の導入による硝酸汚染軽減効果を明らかにし、その効果を活用した緑肥作物の導入指針を策定する。

(2) 方法

① 露地野菜畑における硝酸負荷と後作緑肥導入の実態調査

ねらい：窒素施用量が多く、収穫跡地へ無機態窒素が多量に残存する恐れがあり、収穫残渣物による圃場への窒素還元量が多い葉菜類野菜作付け圃場を対象に、硝酸負荷の実態と、後作緑肥導入による硝酸汚染軽減効果を明らかにする。なお、たまねぎ圃場の硝酸負荷の実態は既往の成果¹⁾で明らかである。

- a. 調査年次：2005～2007年
- b. 調査圃場：道央地域のA地区（野菜専作地帯）、B地区（野菜・畑輪作地帯）において8～9月どり葉菜類野菜（キャベツ、ブロッコリー）を作付けし、跡地に後作緑肥を無肥料栽培した圃場、延べ28筆。
- c. 調査項目：野菜の残渣還元量、残渣の窒素量、野菜跡地の土壌残存無機態窒素、後作緑肥の生育量、窒素吸収量、緑肥すき込み時の土壌残存無機態窒素、浸透水中の硝酸性窒素濃度の推移。

② 露地野菜畑における後作緑肥の導入適性の検討

ねらい：各種緑肥作物の生育について播種時期および窒素施肥の面から検討し、露地野菜畑における後作緑肥の導入適性を明らかにする。

a. 場内試験

<中央農試>

- a) 試験年次：2006～2007年
- b) 供試圃場：中央農試場内圃場（暗色表層酸性褐色森林土）、キャベツ標準栽培（窒素22kg/10a施用）跡地。
- c) 供試作物：えん麦「エンダックス」、えん麦野生種「ヘイオーツ」、ライ麦「春一番」、ひまわり「リフィア」、シロカラシ「地力」の計5作物。
- d) 試験処理：前作キャベツ残渣還元処理2水準（すき込み、持ち出し）、緑肥の播種期4水準（概ね次の4時期、8月中・下旬、9月上・中旬）、緑肥作物6水準（同上、無作付け）、後作緑肥の窒素施肥量2水準（0、5kg/10a）を適宜掛け合わせた計84～88処理区を設置。1区9.6㎡、2反復（一部1反復）。なお、リン酸、カリはいずれの処理区も無施用。

<北見農試>

- a) 試験年次：2005～2007年
- b) 供試圃場：北見農試場内圃場（表層腐植質多湿黒ボク土）
- c) 供試作物：えん麦「スワン」、えん麦野生種「ヘイオーツ」、ライ麦「ライ太郎」、シロカラシ「キカラシ」の計4作物。
- d) 試験処理
 - (a) 播種量：えん麦15kg/10a、ライ麦・えん麦野生種10kg/10a、シロカラシ2kg/10a
 - (b) 播種時期：7月下旬（2005年のみ）8月上旬、中旬、下旬（または9月上旬）、9月中旬、9月下旬（2005年のみ）
 - (c) 施肥量：窒素0、5kg/10a（2005年は5kg/10aのみ）
なお、リン酸、カリはいずれの処理区も無施用。
- b. 現地試験
 - a) 試験年次：2005～2007年
 - b) 供試圃場：①の調査圃場の一部、延べ14筆。
 - c) 供試作物：えん麦野生種「ヘイオーツ」
 - d) 試験処理：後作緑肥無作付け、後作緑肥・無窒素栽培、後作緑肥・標肥栽培の計3処理区を設置。なお、標肥区は窒素のみ5kg/10a施用。

③ 次年度作物の生育に対する影響評価

ねらい：硝酸汚染軽減効果に着目した緑肥作物の導入が、翌年の次作物の生育・収量に及ぼす影響を明らかにし、これらを考慮した後作緑肥の導入指針を策定する。

a. 場内試験

<中央農試>

- a) 試験年次：2007～2008年
- b) 供試作物：スイートコーン「ゆめのコーン」
- c) 試験処理：② a. の中央農試場内試験の試験処理に次作物スイートコーンの窒素施肥量2水準（標肥、減肥）を掛け合わせた計84～117処理区を設置。なお、減肥区は、後作緑肥の窒素吸収量に炭素率別の窒素利用率³⁾を掛け算して減肥可能量（0～5kg/10a）を求めて減肥。リン酸・カリは共通施肥した。

<北見農試>

- a) 試験年次：2008年
- b) 供試作物：たまねぎ「スーパー北もみじ」
- c) 試験処理：② a. の北見農試場内試験の試験処理区（無播種を加えた33区）にたまねぎを標準栽培（施肥量：窒素12、リン酸30、カリ15kg/10a）。
- b. 現地試験

- a) 試験年次：2007～2008年
- b) 供試圃場：② b. の現地試験圃場の一部，延べ7筆。
- c) 供試作物：スイートコーン，ばれいしょ，キャベツ，レタス，てんさい
- d) 試験処理：② b. d) の試験処理跡地に窒素施肥量2水準（標肥，減肥），計6処理区を設置。減肥区は，後作緑肥の窒素吸収量に炭素率別の窒素放出率³⁾を掛け算して減肥可能量（0～4kg/10a）を求めて減肥。リン酸・カリは共通施肥。

(3) 結果および考察

- ① 露地野菜畑における硝酸負荷と後作緑肥導入の実態
 - a. 葉菜類野菜畑における硝酸負荷の実態

道央地域において葉菜類野菜の主産地を調査した結果，収穫直後の跡地に残存する無機態窒素量はA地区のブロッコリー圃場で平均24.6kg/10a，同地区のキャベツ圃場

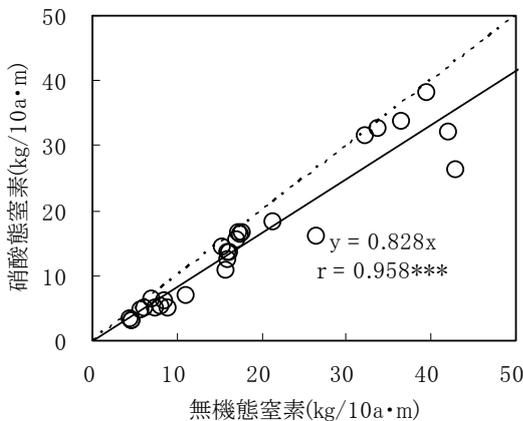
で平均 24.1kg/10a，B地区のキャベツ圃場で平均 12.2kg/10aであった（表Ⅱ-2-1-1）。A地区は野菜の専作地帯で跡地土壌に残存する無機態窒素量が特に多かったが，野菜・畑輪作地帯のB地区でもその値は比較的高い水準にあった。また，残存無機態窒素に占める硝酸態窒素の割合はいずれの圃場も多く，その割合は概ね8割程度であった（図Ⅱ-2-1-1）。すなわち，葉菜類野菜跡地には多量の硝酸態窒素が残存している事例が多いことが明らかとなった。

また，作土付近（0～40cm土層）に残存する硝酸態窒素の割合は，土壌の粘土含量に対応し，粘土含量が少ない圃場でその割合が小さくなる傾向にあった（図Ⅱ-2-1-2）。既往の成果²⁾からも推測されるように，粘土含量が少なく硝酸態窒素の流亡程度が大きい土壌では，作物に吸収されなかった余剰窒素の多くがすでに下層へ流亡していると推察された。

表Ⅱ-2-1-1 葉菜類野菜圃場における窒素負荷実態（現地，2005～2007年8～9月調査）

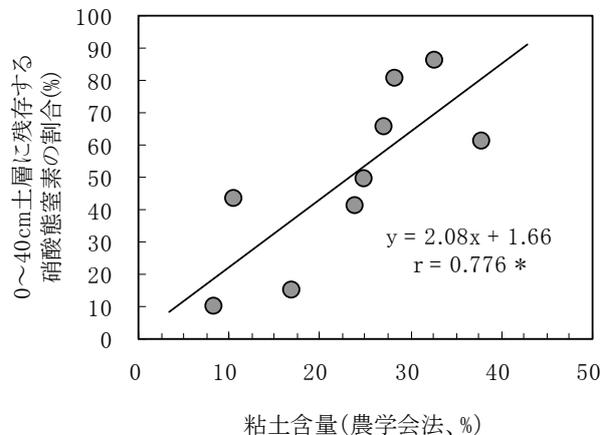
地区	調査圃場	調査数 (筆)	項目	野菜跡地の土壌残存 無機態窒素量(kg/10a・m)			収穫残渣物による 圃場への窒素還元量 (kg/10a)
				硝酸態	アンモニア態	計	
A (野菜専作 地帯)	ブロッコリー 圃場	10	最小	4.9	1.0	9.0	11.5
			最大	33.7	16.7	43.0	22.5
			平均	19.6	5.0	24.6	17.8
	キャベツ 圃場	3	最小	14.2	1.1	15.3	13.0
			最大	38.2	1.4	39.6	26.0
			平均	22.9	1.3	24.1	17.4
B (野菜・畑輪作 地帯)	キャベ 圃場	15	最小	3.0	0.7	4.5	7.4
			最大	31.4	10.3	32.2	11.9
			平均	9.8	2.4	12.2	9.7

注1) 跡地の残存無機態窒素量は地中深1mまでの合計値を基本的に示す。
ただし，泥炭土は泥炭出現位置まで，礫質土は礫層までの合計値である。
注2) ブロッコリー(5筆) およびB地区のキャベツ(5筆)の一部は収穫残渣物を調査しなかった。



図Ⅱ-2-1-1 野菜跡地土壌における無機態窒素と硝酸態窒素の関係

注) *** : 0.1%水準で有意。



図Ⅱ-2-1-2 0～40cm土層に残存する硝酸態窒素の割合と粘土含量の関係

注1) 硝酸態窒素の割合は0～100cm土層の合計量に対する割合
注2) * : 5%水準で有意。

一方、圃場に還元される収穫残渣物由来の窒素量は、ブロッコリーで平均17.8kg/10a、キャベツでは野菜専作地帯のA地区で平均17.4kg/10a、野菜・畑輪作地帯のB地区で9.7kg/10aと他の作物に比べて多かった(表Ⅱ-2-1-1)。特に、野菜専作地帯では残存する無機態窒素が多かったことから残渣物中の窒素量も多い傾向にあった。

これら残渣物はブロッコリー、キャベツともに炭素率(C/N比)が低く、残渣すき込み直後から分解し、窒素の放出が始まる。そのため、8~9月にかけて収穫期を迎える作型跡地では、後作の栽培が難しいこと、気温が比較高い時期を経過するため、野菜収穫残渣物の分解が進み窒素の放出が相当量見込まれることから、環境への窒素負荷を助長する恐れがあると推察された。

これらのことから、葉菜類野菜圃場では、跡地に残存する土壤無機態窒素や圃場に還元される収穫残渣物由来の窒素が多量にあり、跡地を無作付けで管理した場合には環境への窒素負荷の危険性が大きくなることが示唆された。

b. 後作緑肥導入事例とその硝酸汚染軽減効果

道央地域の葉菜類野菜圃場では、後作にえん麦野生種「ヘイオーツ」を作付けする事例が多くみられる。そこで、現地における後作緑肥導入による硝酸汚染軽減効果を調査した。なお、調査は8~9月に収穫されたキャベツまたはブロッコリー跡地で収穫後にえん麦野生種を無窒素栽培した圃場を対象とした。

その結果、後作緑肥による土壤からの窒素収奪量(すき込み時の窒素保有量-緑肥の窒素施肥量)は、A地区で平均8.9kg/10a、B地区で同9.2kg/10aと比較的多かった(表Ⅱ-2-1-2)。また、緑肥跡地(すき込み直前)の土壤残存無機態窒素量および緑肥すき込み後(11月中旬)の浸透水中硝酸性窒素濃度は、後作緑肥の導入によって低下し、硝酸汚染軽減効果が認められた。ただし、後作緑肥の播種期が遅くなると、生育量を十分に確保で

きなくなるため、窒素収奪量が少なくなり、硝酸汚染軽減効果は小さくなると考えられた。

② 緑肥作物の後作導入適性

a. 各種緑肥作物の後作導入適性

「北海道緑肥作物等栽培利用指針-改訂版-」³⁾では、緑肥作物の各種効果を十分発揮させるために、後作緑肥の標準播種期を概ね8月中旬までと設定している。しかし、露地野菜畑ではそれ以降に収穫される作型もある。そこで、野菜収穫跡地の硝酸汚染軽減を主目的として、後作緑肥の導入適性を緑肥作物の栽培期間中の積算温度(日平均気温の積算値)と乾物収量、土壤からの窒素収奪量との関係から検討した。

その結果、積算温度と乾物収量との間には、地域や年次を問わず、窒素施肥量別に1%水準で有意な正の相関関係が認められ、その関係は一回帰式で示された(図Ⅱ-2-1-3, 表Ⅱ-2-1-3)。後作緑肥の乾物収量に及ぼす窒素施肥の影響をみると、窒素を5kg/10a施肥した場合には、乾物収量がやや高まる傾向がみられたが、積算温度の低下に伴いその差は小さくなった。

次に、積算温度と土壤からの窒素収奪量との関係を見ると、窒素施肥量別に対数回帰式により示され、窒素無施肥のイネ科緑肥の一部では5%水準、それ以外では1%水準で有意な正の相関関係が認められた(図Ⅱ-2-1-4, 表Ⅱ-2-1-4)。積算温度が同じ場合の土壤からの窒素収奪量は、いずれの緑肥作物も窒素無施肥条件で高かった。このことから、土壤窒素の収奪を主目的に後作緑肥を栽培する場合には、緑肥に対する窒素施肥の必要性は低いと考えられた。

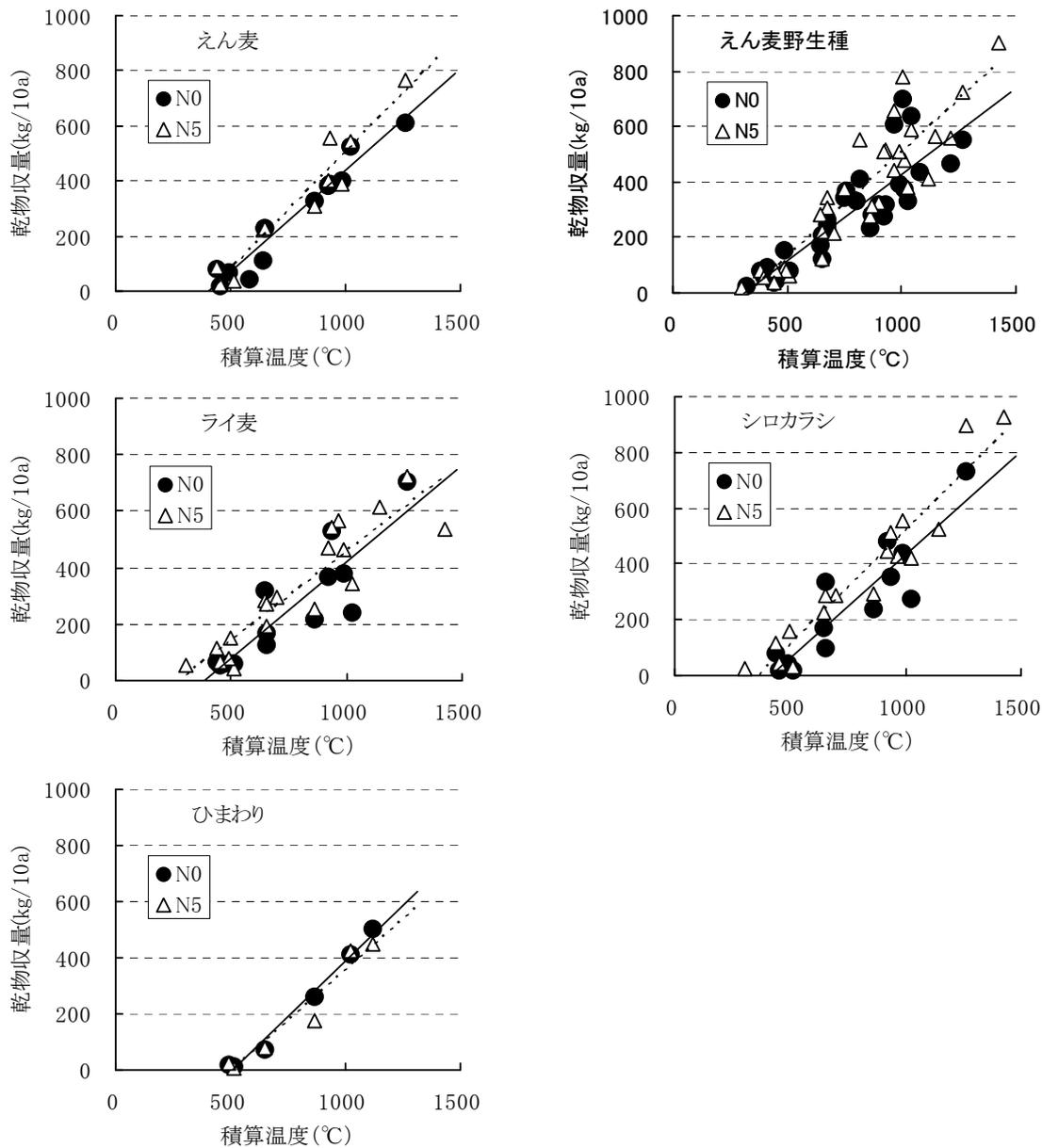
なお、窒素収奪量における相関係数は、乾物収量との関係よりも小さい傾向にあったが、これは地域や年次間差の影響よりも土壤中に残存する無機態窒素量などの土壤環境の影響を強く受けた結果と考えられた。

表Ⅱ-2-1-2 葉菜類野菜圃場における後作緑肥導入による硝酸汚染軽減効果(現地調査:2006~2007年)

調査地区	項目	後作緑肥(えん麦野生種)			緑肥跡地土壤の残存無機態窒素		浸透水中硝酸性窒素濃度(深さ80cm, mg/L)				
		生育期間(日)	乾物収量(kg/10a)	窒素収奪量(kg/10a)	緑肥導入(kg/10a)	未導入(kg/10a)	緑肥すき込み後(11月中旬)		翌春(3月下旬)		
						緑肥導入	未導入	緑肥導入	未導入		
A地区(4筆)	最小	52	61	3.5	4.3	19.9	-	-	-	-	-
	最大	73	700	11.7	34.3	49.1	-	-	-	-	-
	平均	63	337	8.9	16.8	35.7	34.9	44.0	-	-	-
B地区(10筆)	最小	35	25	1.2	4.4	10.1	5.7	3.2	0.6	1.0	
	最大	78	639	16.4	31.5	31.3	14.1	48.5	12.3	33.8	
	平均	55	313	9.2	14.6	21.7	9.5	17.6	7.3	13.6	

注1) 表Ⅲ-2-1)-1と同じ。

注2) 後作緑肥は無窒素栽培。浸透水中硝酸性窒素の結果は未調査の圃場もある。



図Ⅱ-2-1-3 栽培期間中の積算温度と乾物収量の関係

[中央農試：2006～2007年，北見農試：2005～2007年，現地：2005～2007年（えん麦野生種のみ）]

無窒素条件下で栽培した各種緑肥作物について，積算温度と乾物収量および土壌からの窒素収奪量のそれぞれの関係から導かれた回帰式を表Ⅱ-2-1-3，4に示した。また，それぞれの回帰式から算出した積算温度別の乾物収量と窒素収奪量を示した。この表から各種緑肥作物の生育特性と窒素収奪能をみると，イネ科緑肥は積算温度900～1,000°Cを境界にそれ以下ではシロカラシやひまわりに比べて乾物収量や土壌からの窒素収奪量が多い傾向にあった。しかし，900°Cを超えると，ひまわりの生育が良好となり，窒素収奪量は積算温度の増加とともに多くなった。シロカラシの生育特性および窒素収奪能はイネ

科緑肥とひまわりの間に位置付けられた。なお，イネ科緑肥の中ではえん麦野生種>ライ麦>えん麦の順に乾物収量および窒素収奪量が終始高い傾向にあった。

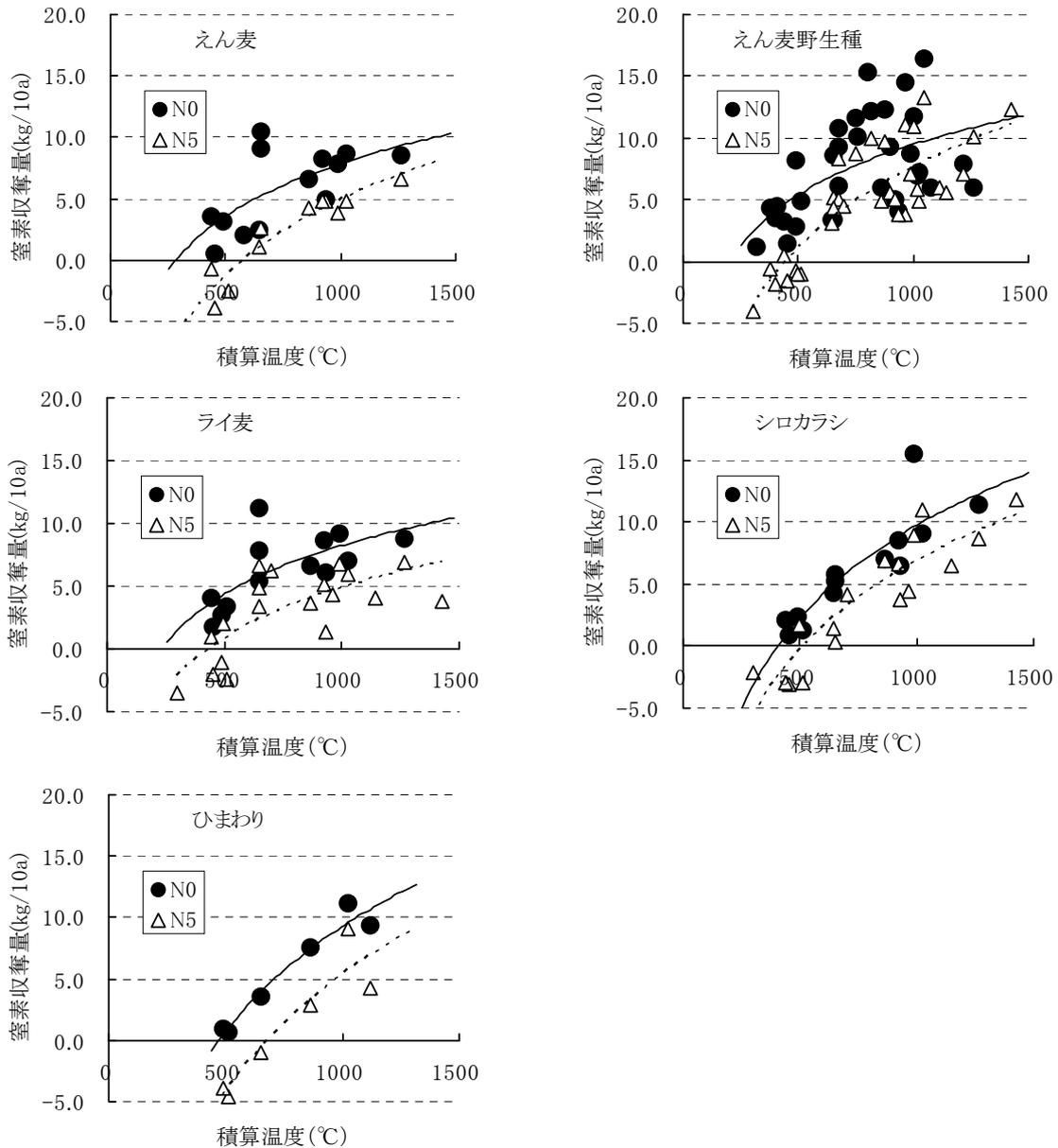
一方，各種緑肥作物の炭素率（C/N比）は，いずれの作物も乾物収量の増加に伴い高まり，無窒素栽培で上昇程度が高かった（図Ⅱ-2-1-5）。炭素率20に達する乾物収量はイネ科緑肥の無窒素栽培で約350kg/10a以上，同緑肥の窒素5kg/10a施用時で約450kg/10a以上，シロカラシやひまわりの無窒素栽培で約600kg/10a以上，同緑肥の窒素5kg/10a施用時で約1,000kg/10a以上であった。

表Ⅱ-2-1-3 積算温度と無窒素栽培した後作緑肥の乾物収量の関係および積算温度別の乾物収量

緑肥作物	n	回帰式の各係数			積算温度(°C)別に試算される乾物収量(kg/10a)								
		a値	b値	相関係数	400	500	600	700	800	900	1,000	1,200	1,400
えん麦	(n=13)	0.737	-300	0.971 **	—	69	143	216	290	364	437	585	732
えん麦野生種	(n=33)	0.619	-190	0.871 **	58	119	181	243	305	367	429	553	677
ライ麦	(n=13)	0.682	-263	0.879 **	10	78	147	215	283	351	419	556	692
シロカラシ	(n=13)	0.741	-308	0.903 **	—	63	137	211	285	359	433	581	730
ひまわり	(n=6)	0.789	-400	0.992 **	—	—	73	152	231	310	389	546	704

注1) 回帰式: $Y = aX + b$ (Y: 乾物収量, X: 積算温度) * , **はそれぞれ危険率5%, 1%水準で有意。

注2) —: 計算上マイナス表示される部分。



図Ⅱ-2-1-4 栽培期間中の積算温度と土壌からの窒素収奪量(吸収量-施肥量)の関係

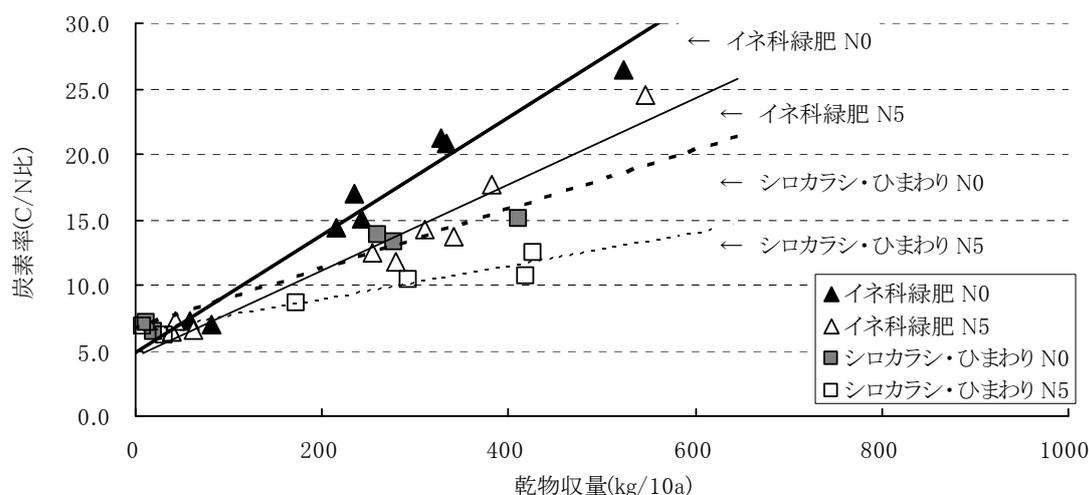
[中央農試: 2006~2007年, 北見農試: 2005~2007年, 現地: 2005~2007年(えん麦野生種のみ)]

表Ⅱ-2-1-4 積算温度と無窒素栽培した後作緑肥の窒素収奪量の関係および積算温度別の窒素収奪量

緑肥作物	回帰式の各係数			積算温度(°C)別に試算される窒素収奪量(kg/10a)									
	a値	b値	相関係数	400	500	600	700	800	900	1,000	1,200	1,400	
えん麦 (n=13)	6.21	-35.0	0.616 *	2.2	3.6	4.7	5.7	6.5	7.2	7.9	9.0	10.0	
えん麦野生種 (n=33)	5.92	-31.4	0.556 **	4.1	5.4	6.5	7.4	8.2	8.9	9.5	10.6	11.5	
ライ麦 (n=13)	5.60	-30.4	0.642 *	3.1	4.4	5.4	6.2	7.0	7.6	8.2	9.3	10.1	
シロカラシ (n=13)	10.74	-64.5	0.867 **	—	2.3	4.2	5.9	7.3	8.6	9.7	11.7	13.3	
ひまわり (n=6)	12.41	-76.4	0.977 **	—	0.7	2.9	4.9	6.5	8.0	9.3	11.5	13.5	

注1) 回帰式: $Y = a \ln(X) + b$ (Y: 窒素収奪量, X: 積算温度) * , **はそれぞれ危険率5%, 1%水準で有意。

注2) —: 計算上マイナス表示される部分。



図Ⅱ-2-1-5 各種緑肥作物の乾物収量と炭素率の関係 (中央農試: 2006年)

注) イネ科緑肥: えん麦, えん麦野生種, ライ麦

これらのことから、土壌に残存する無機態窒素や収穫残渣物由来の窒素を無作付け期間に収奪して環境への硝酸汚染を軽減するとともに、その窒素を次年度に作付けする作物に速やかに供給することを主目的とした場合には、後作緑肥を導入する栽培期間中の積算温度を考慮し、播種期に応じて最適な緑肥作物を選択する必要があると考えられた。すなわち、播種期が早く積算温度を十分確保できる場合(900°C以上)には、土壌からの窒素収奪量が多く、炭素率が低いシロカラシやひまわりが適していると考えられた。一方、播種期が遅く積算温度を十分に確保できない場合(600~900°C)には、この条件で窒素収奪量が比較的多いイネ科緑肥(えん麦, えん麦野生種, ライ麦)が適しており、なかでもえん麦野生種が好ましいと考えられた。ただし、積算温度が600°C未満しか確保できない場合にはいずれの緑肥作物も窒素収奪量は5kg/10aを下回り、導入メリットは極めて小さいと予想された。

b. 各地区における生育晩限と積算温度別の播種晩限
後作緑肥の生育晩限を次のように仮定し、各地区にお

ける平均的な生育晩限を過去のアメダスデータより試算した。生育晩限は既往の知見³⁾の生育最低温度を参考に、最低気温が2.0°C未満となる最初の日とし、1999~2008年の10年間にわたる各年の出現日の平均値から求めた。その結果、生育晩限は地区により異なり、後志中部、胆振東部、上川南部・北部、十勝北部および網走の内陸の一部では10月上旬、渡島北部、後志北部、石狩全域、空知全域、上川中部、十勝中部および網走の内陸の一部と沿海部では同じく中旬、そして渡島南部、檜山全域、胆振西部、日高中部、留萌中部では10月下旬と見積もられた(表Ⅱ-2-1-5)。次に、後作緑肥の播種晩限について、生育期間の積算温度別に、アメダスデータの日平均気温の平年値を生育晩限から遡って積算し試算した。その結果、生育期間の積算温度が900°Cとなる後作緑肥の播種晩限は、生育晩限が10月上旬の地区(以下、A地帯)で8月中旬、同10月中旬の地区(以下、B地帯)で8月中旬~下旬、同10月下旬の地区(以下、C地帯)で8月下旬頃と見積もられた。同じく、600°Cとなる播種晩限は、A, B, Cの地帯でそれぞれ8月下旬, 8月下旬~9月上旬, 9月中旬頃であった。

表Ⅱ-2-1-5 各地区における後作緑肥の生育晩限と積算温度別の播種晩限

地区	アメダス地点	生育晩限 (月/日)	積算温度別の播種晩限(月/日)					
			1000℃	900℃	800℃	700℃	600℃	500℃
渡島南部	北斗	10/20	8/21	8/26	8/31	9/ 4	9/10	9/15
渡島北部	八雲	10/19	8/20	8/25	8/29	9/ 3	9/ 9	9/14
檜山南部	江差	11/13	9/ 7	9/11	9/16	9/22	9/28	10/ 3
檜山北部	せたな	10/27	8/26	8/30	9/ 4	9/ 9	9/15	9/20
胆振西部	伊達	10/28	8/24	8/29	9/ 3	9/ 8	9/14	9/19
胆振東部	鶴川	10/ 8	8/12	8/16	8/21	8/27	9/ 1	9/ 6
後志中部	倶知安	10/ 8	8/11	8/16	8/21	8/26	8/31	9/ 5
後志北部	余市	10/19	8/19	8/24	8/28	9/ 2	9/ 8	9/13
石狩南部	恵庭島松	10/10	8/13	8/18	8/23	8/28	9/ 2	9/ 7
石狩北部	新篠津	10/17	8/17	8/22	8/27	9/ 1	9/ 6	9/11
空知南部	岩見沢	10/20	8/19	8/24	8/29	9/ 3	9/ 8	9/14
空知中部	滝川	10/14	8/14	8/19	8/24	8/29	9/ 3	9/ 9
空知北部	深川	10/11	8/12	8/17	8/22	8/27	9/ 1	9/ 6
上川南部	富良野	10/ 7	8/10	8/15	8/20	8/25	8/30	9/ 4
上川中部	比布	10/11	8/12	8/16	8/21	8/26	8/31	9/ 6
上川北部	名寄	10/ 3	8/ 6	8/11	8/15	8/20	8/26	8/31
十勝中部	更別	10/14	8/12	8/17	8/22	8/28	9/ 2	9/ 8
十勝北部	駒場	10/ 4	8/ 7	8/12	8/17	8/22	8/28	9/ 2
網走沿海部	湧別	10/17	8/14	8/19	8/25	8/30	9/ 4	9/10
網走沿海部	斜里	10/14	8/13	8/18	8/23	8/29	9/ 3	9/ 9
網走内陸部	北見	10/12	8/13	8/18	8/23	8/28	9/ 2	9/ 8
網走内陸部	境野	10/11	8/ 9	8/14	8/19	8/25	8/30	9/ 5
網走内陸部	美幌	10/ 9	8/10	8/14	8/20	8/25	8/30	9/ 5
日高中部	静内	10/23	8/23	8/28	9/ 2	9/ 7	9/12	9/17
留萌中部	羽幌	10/24	8/22	8/27	9/ 1	9/ 6	9/11	9/17

注1) 生育晩限は、最低気温が2.0℃未満となる最初の日とし、1999～2008年の各年の出現日の平均値を示した。

注2) 播種晩限は、1999～2008年の日平均気温の平年値を用い、生育晩限から遡った積算温度に対応した日を示した。

③ 硝酸汚染軽減のための後作緑肥の導入が次作物に及ぼす影響

a. 緑肥作物の種類、播種期、窒素施肥が次作物の収量性に及ぼす影響

キャベツ跡地に後作緑肥を作付けし、次作物にスイートコーンを栽培した中央農試の場内試験の結果をみると、無窒素栽培でも炭素率(C/N比)が比較的小さいシロカラシやひまわりの跡地では、後作緑肥の播種期が早いほどスイートコーンの収量性がやや良好となる傾向にあり、減肥しても対照区(後作緑肥無作付け)とほぼ同等の収量が得られた(表Ⅱ-2-1-6)。一方、炭素率が比較的高いイネ科緑肥の跡地では、播種期が早いほど炭素率が高まるため、スイートコーンで減肥栽培すると収量がやや劣る傾向にあった。

後作緑肥に窒素施肥を行った場合の次作物の収量性をみると、窒素吸収量は無窒素栽培に比べてやや多くなる

傾向がみられたが、次作物で減肥した場合には若干の増収効果がみられる程度で、対照区を上回ることにはなかった。また、標肥栽培した場合には、後作緑肥の窒素施肥量の違いによる差はほとんどみられなかった。

後作緑肥すき込み後から次作物栽培期間中の地中深80cmの浸透水中硝酸性窒素濃度の推移をみると、後作緑肥を導入することで、いずれの跡地も硝酸性窒素濃度が終始低く推移する傾向にあった(表Ⅱ-2-1-7)。また、次作物で窒素を減肥した場合にも硝酸性窒素濃度が低く推移する傾向がみられた。しかし、後作緑肥に対する窒素施肥量の影響は判然としなかった。

このことから、後作緑肥に対する窒素施肥の必要性を、緑肥の窒素吸収量・炭素率、次作物の収量・窒素吸収量等から総合的に判断すると、硝酸汚染軽減を主目的とした場合には窒素施肥は必要ないと判断された。

表Ⅱ-2-1-6 後作緑肥の種類、播種時期、窒素施肥が次作物（スイートコーン）の収量性に及ぼす影響
(中央農試：2006～2007年)

前年秋の後作緑肥の各種処理と生育状況						次作物(スイートコーン)			
栽培期間 (積算温度)	供試作物	窒素 施肥量 (kg/10a)	乾物 収量 (kg/10a)	窒素 吸収量 (kg/10a)	炭素率 (C/N比)	標肥(15kgN/10a)		減肥(10～14kgN/10a)	
						収量 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)	収量 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)
2006年8月 18日～10月 16日 (1025℃)	なし	0	—	—	—	1,849	14.6		
	イネ科緑肥	0	366	7.6	20.8	(99)	14.4	(94)	13.9
		5	423	10.2	18.6	(100)	15.6	(96)	14.3
	シロカラシ ・ひまわり	0	344	10.1	14.2	(102)	14.8	(98)	13.4
		5	423	15.0	11.6	(101)	16.1	(99)	14.2
2006年8月 25日～10月 16日 (863℃)	なし	0	—	—	—	1,863	14.7		
	イネ科緑肥	0	259	6.4	17.6	(95)	14.1	(99)	12.9
		5	281	9.3	12.8	(99)	15.2	(92)	13.3
	シロカラシ ・ひまわり	0	249	7.3	13.8	(101)	15.6	(96)	13.4
		5	233	9.9	9.5	(99)	13.9	(98)	14.0
2006年9月 12日～10月 17日 (512℃)	なし	0	—	—	—	1,883	15.5		
	イネ科緑肥	0	60	3.6	6.9	(100)	15.5	(95)	15.8
		5	48	3.0	6.8	(95)	15.6	(99)	16.5
	シロカラシ ・ひまわり	0	15	0.9	6.7	(99)	15.1	(94)	16.1
		5	19	1.2	6.5	(102)	17.4	(97)	17.1

注1) 後作緑肥作付け前の深さ1mまでの土壌残存無機態窒素量は12.7～29.7kg/10a・m、前作キャベツの
収穫残渣物による窒素還元量は10.7～13.9kg/10aであった。
注2) イネ科緑肥はえん麦、えん麦野生種、ライ麦の平均値を示した。
注3) 収量の括弧内の数値は対照区に対する収量比を示した。
注4) スイートコーンにおける窒素減肥量は後作緑肥による窒素吸収量に窒素溶出率³⁾を掛けた値とした。

表Ⅱ-2-1-7 後作緑肥すき込み後から次作物（スイートコーン）栽培期間中の浸透水硝酸性窒素濃度の推移
(中央農試：2006～2007年)

処理区		浸透水中硝酸性窒素濃度(80cm深, mg/L)								
後作緑肥 緑肥作物 窒素施肥量 (kg/10a)	次作物 窒素施肥 (kg/10a)	緑肥すき込み 後～根雪前 2006年11月	融雪期 3月下旬～ 4月上旬	次作物(スイートコーン)栽培期間中						平均
				7月3日	7月18日	8月1日	8月10日	8月21日		
なし	—	標肥	36	41	47	46	—	—	—	47
	0	標肥	14	14	21	48	21	21	22	26
		減肥	18	15	—	15	14	10	—	13
	5	標肥	12	14	9	9	10	11	11	10
減肥		6	2	18	17	17	15	11	16	
えん麦	0	標肥	—	8	22	23	21	17	17	20
		減肥	12	18	23	29	30	29	27	28
	5	標肥	20	14	32	33	32	31	24	30
		減肥	25	25	23	25	22	12	12	19

注) —:浸透水採取不能。

次に、後作緑肥跡地に次作物としてたまねぎを栽培した北見農試の場内試験の結果をみると、8月中～下旬に播種し、無窒素栽培したイネ科緑肥跡地を除くと、傾向的には中央農試の場内試験と同様に、後作緑肥の播種期が早いほど、炭素率の比較的低いシロカラシの跡地でたまねぎ収量が良好となり、播種期が遅いほど土壌からの

窒素収奪量(窒素吸収量)が多かったイネ科緑肥で収量性が良好となる傾向にあった(表Ⅱ-2-1-8)。なお、8月中～下旬に播種し、無窒素栽培したイネ科緑肥跡地における次作物たまねぎの収量がやや低収であったが、この要因としては緑肥作付け前の深さ1m土層内に残存していた無機態窒素がそれほど多くなかったこと、後作緑

肥が残存無機態窒素の大部分を吸収し、無機態窒素を有機化してしまっただけから、次年度の窒素放出がやや遅れて、たまねぎの初期生育が他の処理区に比べてやや遅れたことが原因と考えられた。ただし、8月上旬播種の

イネ科緑肥では、生育途中で倒伏し、8月中旬以降に播種したものよりも早い時期に圃場へすき込まれたため、窒素放出の遅れがそれほど大きくなかったものと推察された。

表Ⅱ-2-1-8 後作緑肥の種類、播種時期、窒素施肥が次作物（たまねぎ）の収量性に及ぼす影響（北見農試：2007～2008年）

前年秋の後作緑肥の各種処理と生育状況						次作物（たまねぎ）	
栽培期間 (積算温度)	供試作物	窒素 施肥量 (kg/10a)	乾物 収量 (kg/10a)	窒素 吸収量 (kg/10a)	炭素率 (C/N比)	収量 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)
	なし	—	—	—	—	5,806	14.3
2007年8月1日 ～9月21日 (988℃)	イネ科緑肥	0	408	8.6	24.6	(97)	12.3
		5	468	10.9	20.7	(93)	12.3
	シロカラシ	0	694	15.4	20.9	(104)	12.9
		5	511	14.0	18.0	(110)	12.9
2007年8月15日 ～10月9日 (886℃)	イネ科緑肥	0	411	7.3	28.1	(92)	11.2
		5	441	10.0	22.5	(97)	12.0
	シロカラシ	0	277	8.6	14.9	(85)	8.5
		5	511	11.6	18.1	(103)	13.7
2007年8月30日 ～10月9日 (596℃)	イネ科緑肥	0	230	7.9	14.7	(88)	10.7
		5	262	9.5	13.5	(89)	10.5
	シロカラシ	0	121	5.8	8.6	(91)	8.0
		5	120	5.4	10.3	(103)	11.6
2007年9月11日 ～10月9日 (387℃)	イネ科緑肥	0	75	3.6	9.9	(102)	12.1
		5	106	5.3	9.4	(103)	12.9
	シロカラシ	0	37	2.1	8.0	(97)	9.9
		5	34	2.1	8.0	(100)	11.1

注1) 後作緑肥作付け前の深さ1mまでの土壌残存無機態窒素量は8.3～11.2kg/10a・mであった。

また、土壌の有効態リン酸含量は25mg/100gであった。

注2) イネ科緑肥はえん麦、えん麦野生種、ライ麦の平均値を示した。

注3) 規格内収量の括弧内の数値は対照区に対する収量比を示した。

b. 現地における実証

a) 無窒素栽培した後作緑肥の炭素率が20未満の場合

前年秋にすき込みした緑肥の炭素率が20未満で、次作物にばれいしょを作付けした事例を表Ⅱ-2-1-9に示した。ばれいしょの規格内収量は前年に後作緑肥を導入することでやや向上する傾向にあった。また、後作緑肥を導入した系列で窒素を2kg/10a減肥しても、未導入区と同等以上の収量が得られた。また、同様の結果は、キャベツもしくはブロッコリー跡地に炭素率20未満の後作緑肥をすき込みし、次作物にスイートコーン、春および晩春まきキャベツ、ばれいしょ(2事例)、てんさいを栽培した事例でも認められた(データ省略)。

なお、後作緑肥に対する窒素施肥の必要性を、緑肥の窒素収奪量(窒素吸収量-窒素施肥量)、炭素率、次作物の収量、窒素吸収量等から総合的に判断すると、硝酸汚

染軽減を主目的にした場合には窒素施肥は必要ないと判断された。

b) 無窒素栽培した後作緑肥の炭素率が20以上の場合

表Ⅱ-2-1-10に示した事例は、後作緑肥の栽培期間が非常に長く、出穂期を過ぎたえん麦野生種を圃場にすき込み、次作物に春まきキャベツを作付けした例である。この場合、無窒素栽培したえん麦野生種の炭素率は20を超えており、次作物の春まきキャベツは刈収した。ただし、キャベツの窒素吸収量は後作緑肥を導入しない場合より3kg/10a程度多かった。このことから、同系列ではキャベツの生育前期に窒素飢餓が生じ、生育が遅延したために、刈収したものと考えられた。一方、後作緑肥に窒素施肥を行った場合には、すき込み時の炭素率が20未満となり、次作物の収量に悪影響を及ぼさなかった。ただし、窒素吸収量の差などからみると、後作緑肥に対

する窒素施肥の必要性は低いと判断された。むしろ、後作緑肥の生育期間が十分確保できる場合には、ひまわり

等のC/N比の低い作物を導入することが有効と考えられた。

表Ⅱ-2-1-9 キャベツ跡地に導入した後作緑肥（炭素率 20 未満）が次作物の収量、窒素吸収量および浸透水中硝酸性窒素濃度に及ぼす影響（B 地区：2006～2007 年）

前年の後作緑肥（えん麦野生種）						次作物（ばれいしょ、2007年8月1日調査）				
導入の有無	窒素施肥量 (kg/10a)	生育期間 (積算気温)	乾物重 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)	炭素率 (C/N比)	窒素施肥処理	総重 (kg/10a)	規格内収量 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)	浸透水中硝酸性窒素濃度 (80cm深, mg/L)
無	—	—	—	—	—	農家慣行	6,182	3,484	12.9	19.9
有	0	2006年8月28日～	413	12.2	13.1	農家慣行	6,141	(105)	13.1	12.9
						2kg減肥	6,040	(105)	12.5	16.9
有	5	10月15日 (814℃)	554	15.0	14.5	農家慣行	6,821	(116)	14.5	40.2
						2kg減肥	5,729	(102)	12.1	10.7

注1) 農家慣行区の窒素施肥量は11kg/10a。

注2) 規格内収量の括弧内の数値は対照区に対する収量比を示した。

表Ⅱ-2-1-10 キャベツ跡地に導入した後作緑肥（炭素率 20 以上）が次作物の収量、窒素吸収量および浸透水中硝酸性窒素濃度に及ぼす影響（A 地区：2006～2007 年）

前年の後作緑肥（えん麦野生種）						次作物（春まきキャベツ、2007年7月25日調査）				
導入の有無	窒素施肥量 (kg/10a)	生育期間 (積算気温)	乾物重 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)	炭素率 (C/N比)	窒素施肥処理	総重 (kg/10a)	規格内収量 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)	浸透水中硝酸性窒素濃度 (深さ80cm, mg/L)
無	—	—	—	—	—	農家慣行	11,132	6,418	24.2	—
有	0	2006年8月29日～	700	11.7	22.7	農家慣行	10,419	(92)	27.1	—
						2kg減肥	10,567	(83)	27.7	—
有	5	11月8日 (1,003℃)	779	15.8	18.9	農家慣行	11,128	(97)	27.1	—
						2kg減肥	11,369	(96)	29.1	—

注1) 農家慣行区の窒素施肥量は基肥9kg/10a、分施7.6kg/10a。減肥区は分施窒素を2kg/10a減肥。

注2) 規格内収量の括弧内の数値は対照区に対する収量比を示した。

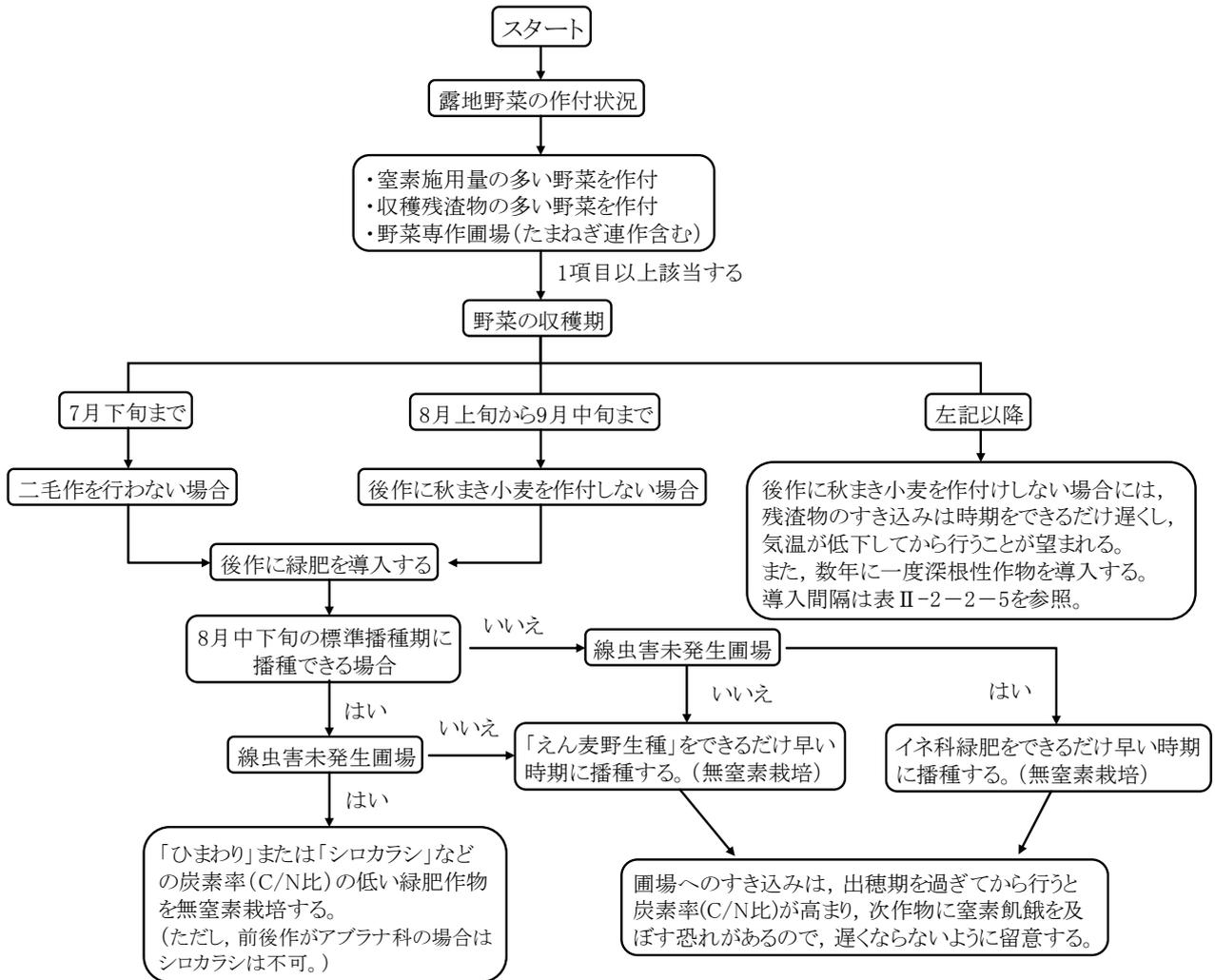
注3) 浸透水中硝酸性窒素濃度は未調査である。

④ 露地野菜畑における硝酸汚染軽減のための後作緑肥導入指針

露地野菜畑では、窒素施肥量の多い野菜類の作付けが多く、収穫残渣物による圃場への窒素還元量が多い。そのため、土壌中の硝酸態窒素は施肥由来の余剰窒素や収穫残渣物の分解に伴う窒素放出により富化され、余剰水とともに地下水を汚染する危険性が高い。特に、野菜の作付けの多い野菜専作圃場では、その傾向が顕著であると考えられる。また、余剰水とともに地下への流亡が最も危惧される時期としては、施肥直後で作物の生育量が小さい5月頃や、気温が比較的高い時期に収穫期を迎え、その跡地が無作付け状態になる時（8～9月頃）の2時期が想定される。前者の対応としては、肥料窒素の流亡が危惧される場合には肥効調節型肥料の利用や分追肥技術

による対策が示されている。本試験では、後者の対策の一つとして、緑肥作物のクリーニングクロップの機能を活用した対策について検討した。

その結果、野菜の作付状況や収穫期、当年における後作物の導入の有無などから、露地野菜畑における硝酸汚染軽減のための後作緑肥の導入指針を既往の知見³⁾を参考にしながら図Ⅱ-2-1-6のように整理した。本指針では、緑肥作物の選択を、緑肥の播種期や圃場状態、輪作体系等によって判断し、いずれの緑肥作物も無窒素栽培することとした。さらに、表Ⅱ-2-1-11には後作緑肥導入による硝酸汚染軽減効果を播種期別生育量と窒素吸収量の目安で示すとともに、次作物における施肥対応を示した。



図Ⅱ-2-1-6 露地野菜畑における硝酸汚染軽減のための後作緑肥の導入指針

表Ⅱ-2-1-11 無窒素栽培による後作緑肥の播種期別生育量と窒素吸収量の目安および次作物での対応

緑肥作物	地帯	晩限(月/旬)		栽培期間 積算温度 (°C)	乾物 生産量 (kg/10a)	窒素 吸収量 (kg/10a)	炭素率 (C/N比)	窒素飢餓 の有無	窒素放出 時期	次作の窒素 減肥可能量 (kg/10a)
		播種	生育							
シロカラシ ・ ひまわり	A	8/中	10/上	900~	300~	8~13	12~20	無	翌年春~	3~5
	B	8/中~下	10/中							
	C	8/下	10/下							
イネ科緑肥	A	8/中	10/上	900~	350~	7~11	20~30	無~有	翌年春 又は夏~	0~4
	B	8/中~下	10/中							
	C	8/下	10/下							
〔えん麦, えん 麦野生種, ラ イ麦など〕	A	8/下	10/上	600~ 900	100~ 350	4~7	10~20	無	翌年春~	0~3
	B	8/下~9/上	10/中							
	C	9/中	10/下							

注1) A地帯は後志中部, 胆振東部, 上川南部・北部, 十勝北部および網走の内陸の一部の地区を示す。
 B地帯は渡島北部, 後志北部, 石狩全域, 空知全域, 上川中部, 十勝中部および網走の内陸の一部と沿海部の地区を示す。
 C地帯は渡島南部, 檜山全域, 胆振西部, 日高中部, 留萌中部の地区を示す。
 その他の地区については近隣の地区を参考とする。

注2) 生育晩限は最低気温が2.0°C未満となる最初の時期を示す。播種晩限はその時期から遡った積算温度に対応した時期を示す。

注3) 播種時期が遅い場合は, 緑肥作物の生育が小さいので, すき込み時期を可能な限り遅らせるのが望ましいが,
 粘質土壌で降雨の影響によりすき込めない場合には, 無理に行わず翌年春にすき込む。

注4) 線虫発生圃場ではえん麦野生種が適す。

(4) 要約

- ① 葉菜類野菜圃場では、跡地に残存する土壤無機態窒素（深さ1mまで）や圃場に還元される収穫残渣物由来の窒素が多量（野菜専作地帯のそれぞれの値25, 18kg/10a）にあり、跡地を無作付けで管理した場合には環境への窒素負荷の危険性が大きくなることが示唆された。特に、8～9月にかけて収穫期を迎える作型跡地では、窒素負荷の危険性が高いと推察された。
- ② 後作緑肥を導入することで、土壤残存無機態窒素量および浸透水中硝酸性窒素濃度は低下し、硝酸汚染軽減効果が認められた。ただし、後作緑肥の播種期が遅くなると、生育量を十分に確保できなくなるため土壤からの窒素収奪量が少なくなり、硝酸汚染軽減効果は小さくなった。
- ③ 硝酸汚染軽減を主目的とした場合の各種緑肥作物の後作適性を検討したところ、播種期が早く積算温度を十分に確保できる場合（900℃以上）には、土壤からの窒素収奪量が多く、炭素率が低い「シロカラシ」や「ひまわり」が適していた。一方、播種期が遅く積算温度を十分に確保できない場合（600～900℃）には、この条件で窒素収奪量が比較的多いイネ科緑肥（えん麦、えん麦野生種、ライ麦）が適しており、なかでもえん麦野生種が好ましいと考えられた。ただし、積算温度が600℃未満しか確保できない場合にはいずれの緑肥作物も窒素収奪量は5kg/10aを下回り、導入メリットは極めて小さいと予想された。
- ④ 野菜収穫跡地に後作緑肥を導入し、次作物の栽培時

に緑肥のすき込みにより供給される窒素分を減肥しても、次作物の収量の低下はみられなかった。ただし、後作緑肥のすき込み時の炭素率が20以上の場合には、窒素飢餓の影響が若干みられた。

⑤ 後作緑肥に対する窒素施肥の必要性を、土壤からの窒素収奪量、炭素率、次作物の収量、窒素吸収量等から総合的に判断すると、硝酸汚染軽減を主目的にした場合には窒素施肥は必要ないと判断された。

⑥ 以上の結果から、露地野菜畑における硝酸汚染軽減のための後作緑肥の導入指針を整理した。また、後作緑肥導入による硝酸汚染軽減効果を播種期別生育量と窒素収奪量の目安で示すとともに、次作物における施肥対応を示した。

(5) 引用文献

- 1) 中央農試・十勝農試・北見農試：普通畑およびたまねぎ畑における地下水中硝酸性窒素の削減対策．平成16年度北海道農業試験会議（成績会議）資料，p. 1～62（2005）
- 2) 中央農試・上川農試・道南農試・十勝農試・根釧農試・北見農試・天北農試．農耕地における硝酸態窒素の残存許容量と流れ易さの区分 —北海道農耕地土壤の窒素環境容量 Ver. 1—．平成9年度北海道農業試験会議（成績会議）資料．p. 1-26（1998）
- 3) 北海道農政部道産食品安全室．北海道緑肥作物等栽培利用指針（改訂版）．北海道農政部．p. 1-101（2004）
（小野寺政行、唐星児）

2) 深根性作物の導入による汚染軽減対策

(1) 目的

たまねぎ連作畑や野菜専作畑のように硝酸性窒素が土壌深層まで蓄積した圃場における硝酸汚染軽減対策として、地下1m前後の硝酸性窒素を吸収でき、かつ収益性があり営農に組み込める深根性作物を選定するとともに、その浄化能力を発揮させる栽培技術を確立する。

深根性作物としては、窒素吸収に関する試験例が少ないそば、飼料用とうもろこし、産業用アサを取り上げる。産業用アサについては、大麻取締法による栽培規制に加えて種子の入手が困難であり、現在のところ栽培は不可能であるが、ここでは作物としての特性を検討する。

なお、本技術は、後作緑肥の導入が困難で、硝酸汚染軽減効果が認められる秋まき小麦^{1,2)}などを輪作できない圃場における対策として位置付ける。

(2) 試験方法

- ① 試験年次：2005～2008年
- ② 供試圃場・土壌：北見農試（表層腐植質多湿黒ボク土）
- ③ 供試作物・品種：そば「キタワセソバ」、飼料用とうもろこし「チベリウス」、産業用アサ「とちぎしろ」
- ④ 試験処理
 - a. 栽植密度：そばは条播（畦間30cm）で播種量は10aあたり5kg、飼料用とうもろこしは同じく7576株（畦間60cm、間23cm）とした。産業用アサは10aあたり4167株（60cm、40cm）を「標準」とし、窒素施肥・栽植密度の組み合わせ試験ではほか「疎植」2083株（株間80cm）、「密植」8333株（同40cm）、「超密植」69444株（24cm、6cm）を設定した。
 - b. 施肥量：2005年はそばがN-P₂O₅-K₂O-MgO (kg/10a)

＝3.0－6.5－4.5－1.4、飼料用とうもろこしと産業用アサはともに10.0－18.0－12.0－5.0とした。同じく2006～2008年はそば3.0－10.0－8.0－3.6、飼料用とうもろこし15.0－20.0－12.0－3.6、産業用アサ³⁾は10.0－15.0－8.0－3.6kg/10aとし、窒素施肥試験では他にそばで0、飼料用とうもろこしでは0、5、10、産業用アサでは0、5、20kg/10aを設定した。

- ⑤ 播種日：4箇年の平均で、そばは5月30日、飼料用とうもろこしは5月28日であった。産業用アサはてんさい用ペーパーポットに5月14日に播種し（無肥料）、苗を5月28日に本圃へ定植した。

(3) 結果および考察

① 作物の特性と硝酸汚染軽減効果

標準的な施肥における窒素吸収量と土壌中の無機態窒素含量の変化を比較した。

各作物とも収穫期における窒素吸収量は施肥量を上回り、その差し引き（窒素持出量・全量搬出）は平均でそば5.7kg/10a、飼料用とうもろこし4.4kg/10a、産業用アサ7.2kg/10aであった（表Ⅱ-2-2-1）。播種・定植前の土壌無機態窒素含量が多いと窒素吸収量も多くなる傾向にあり、全量搬出としたときの窒素持出量は、深さ0～200cm土層内の窒素量が36kg/10aの場合には約17kg/10aに達した（図Ⅱ-2-2）-1①）。しかしながら、産業用アサについては、大麻取締法により、圃場外への葉の搬出が禁止されているため、茎のみを搬出することになる。収穫部位のみを搬出した場合、窒素持出量は飼料用とうもろこしで概ねプラスとなったが、そばでは播種前の土壌無機態窒素含量によらずわずかにマイナス、産業用アサはいずれの場合もマイナスとなった（図Ⅱ-2-2-1②）。なお、土壌無機態窒素量は、各作物とも栽培期間中に減少した（表Ⅱ-2-2-1）。

表Ⅱ-2-2-1 深根性作物による窒素吸収量と窒素持出量（2005～2008年平均）

		そば	飼料用 とうもろこし	産業用アサ (9月上旬)
春期 土壌無機態窒素含量 ^{*1}	(kg/10a)	18.1	17.5	18.2
窒素施肥量	A (kg/10a)	3.0	13.8 ^{*5}	10.0
窒素吸収量(全量)	B (kg/10a)	8.7	18.1	17.2
(収穫部位 ^{*2})	b (kg/10a)	2.4	18.1	5.0
窒素持出量(全量搬出)	B-A (kg/10a)	5.7	4.4	(7.2)
(収穫部位のみ搬出) ^{*3}	b-A (kg/10a)	-0.6	4.4	-5.0
栽培期間中土壌無機態窒素の減少量 ^{*1,4}	(kg/10a)	9.0	7.1	8.7

*1 深さ0-200cm. *2 そばは子実、飼料用とうもろこしは全部、産業用アサは茎。

*3 収穫部位以外がすき込まれた場合。

*4 播種・定植前の量から収穫後の残存量を差し引いた量。

*5 2005年は10.0kg/10a、他は15.0kg/10a。

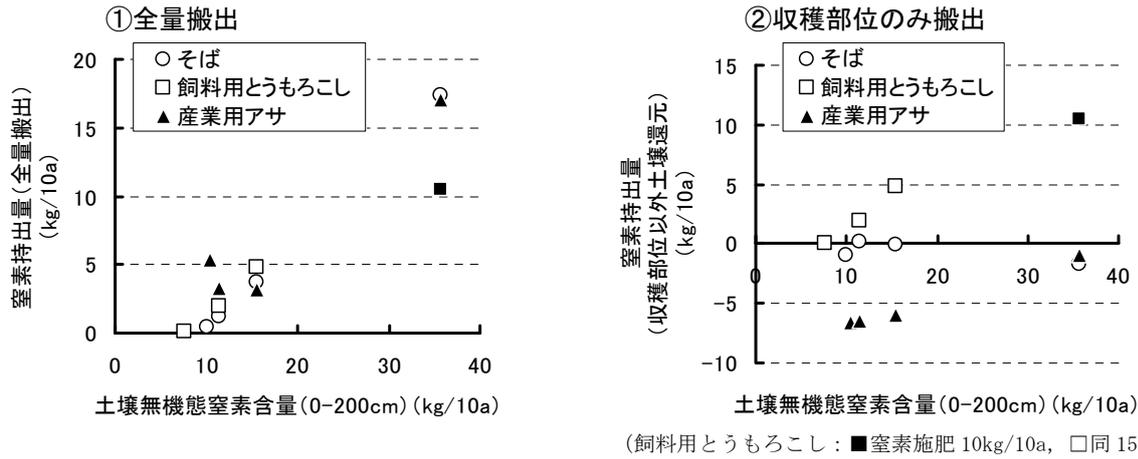


図 II-2-2-2 播種・定植前の土壤無機態窒素含量と収穫時における窒素持出量の関係 (2005~2008年)

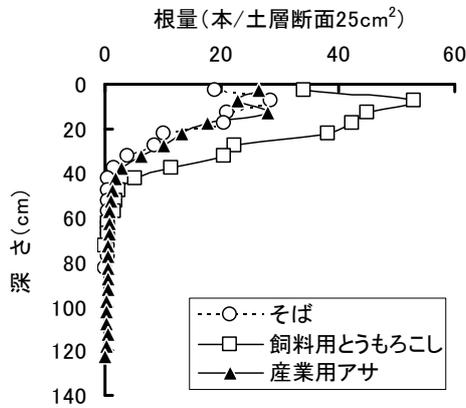


図 II-2-2-3 収穫期における根の分布 (2005年)

表 II-2-2-2 栽培前後における土層内の無機態窒素分布と秋期の浸透水中硝酸性窒素濃度 (2005年)

深さ (cm)	播種・ 定植前	秋 期		
		そば	とうもろこし*1	産業用アサ
0-20	5.1	1.4	1.5	1.1
20-40	5.3	0.9	1.2	1.2
40-60	5.8	1.5	1.7	1.4
60-80	3.4	1.6	3.2	3.5
80-100	3.2	1.9	4.0	1.3
100-120	2.6	1.8	1.9	1.1
120-140	2.9	1.4	2.5	1.0
140-160	2.7	1.2	2.1	0.8
160-180	2.8	1.2	2.2	1.4
180-200	1.8	1.1	1.5	1.2
浸透水中 NO ₃ -N 濃度 (mg/L)	—	—	13.0	6.4

播種・定植前: 5月25日, 秋期: 10月5日. *1 飼料用とうもろこし.

収穫調査時の根の深さは飼料用とうもろこしで 70cm, そばで 80cm, 産業用アサは 120cm に達し (図Ⅱ-2-2-2), 飼料用とうもろこしは浅い位置の根の本数が他より多かった。飼料用とうもろこしは秋期における深さ 60cm 以深の土壌無機態窒素含量が他より多く, (表Ⅱ-2-2-2) 相対的に施肥を含む浅い位置から窒素を多く吸収していると見られる。秋期の浸透水中の硝酸性窒素濃度は産業用アサ跡地で飼料用とうもろこし跡地を下回った (表Ⅱ-2-2-2)。

② 窒素持出に対する施肥の影響

各作物について窒素施肥を異にした場合における窒素吸収量と窒素持出量を比較した。窒素持出量は, そばおよび飼料用とうもろこしでは, 地上部全量搬出, 産業用アサについては茎のみを搬出する条件で検討した。

窒素吸収量は, 各作物とも窒素施肥量が多くなると概ね増加した (図Ⅱ-2-2-4)。しかし, 窒素持出量は各作物とも窒素施肥なし (=N0) のときに最も多くなり, 土層内の無機態窒素含量 (深さ 0~200cm) が平均 13.4kg/10a と蓄積程度が大きくない条件において, そばで 3.9kg/10a, 飼料用とうもろこしで 7.9kg/10a, 産業用アサ (栽植密度標準) で 1.9kg/10a となった (表Ⅱ-2-2-3)。なお, 播種・定植前において土壌無機態窒素含量が多いときの窒素持出量は, より大きくなると考えられる。また, 栽植を密にした場合, 産業用アサでは収量や窒素持出量が増加したが, 他の作物でも同様に増加すると考えられる。

③ 硝酸汚染軽減のための深根性作物の導入指針

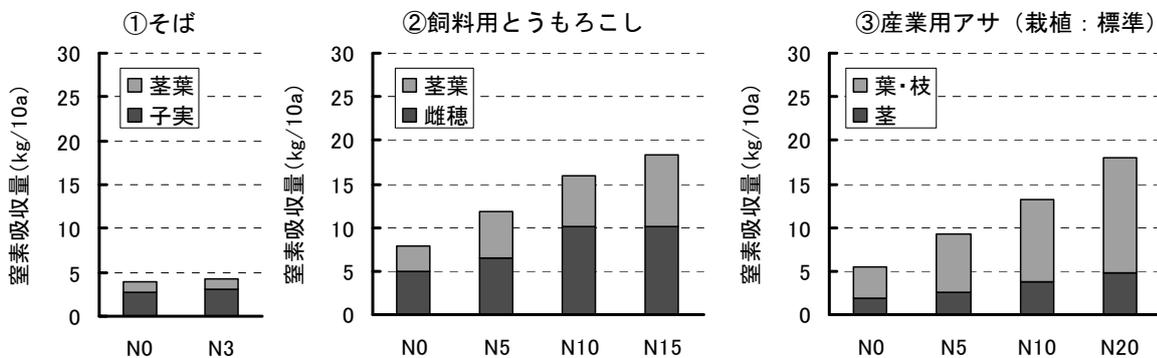
本結果と既往の成果^{1,2,4)}をもとに, 深根性作物による硝酸汚染軽減効果と導入指針について表Ⅱ-2-2-4 に整理した。

これら 3 作物の導入は, 明らかに土壌中に窒素が蓄積している場合に効果的であるが, 無窒素栽培では収益性が低くなることから, 導入間隔は可能な限り長いことが望まれる。葉菜類野菜専作畑およびたまねぎ連作畑を対象とした場合のそばおよび飼料用とうもろこしの導入間隔について, ここでの結果および硝酸性窒素汚染リスク評価ソフト NiPRAS⁵⁾ の計算結果をもとに, 窒素の投入と持出量, 余剰水量からみた窒素残存許容量の関係からみると, 葉菜類野菜専作畑では余剰水量 400mm (網走) のとき 2~3 年, 同 600mm (空知南部, 胆振西部) で 4~5 年程度, たまねぎ連作畑ではそれぞれ 3~4 年, 9~12 年に 1 度以上が適当と見積もられた (表Ⅱ-2-2-5)。

なお, 深根性作物を導入し全量搬出した場合の跡地では, 窒素以外の養分も持ち出されるので, 次作物栽培時には土壌診断に基づいて施肥対応を行うこととする。

(4) 要 約

- ① 標準的な窒素施肥で栽培した場合, そばおよび飼料用とうもろこしでは, 地上部を全量搬出することで圃場からの窒素の持ち出しが可能であるが, 産業用アサにおいては茎のみの搬出となり, 収支上圃場からの窒素の持ち出しは期待できない。
- ② 硝酸汚染軽減の観点からみた場合はいずれの作物とも無窒素栽培が望ましいと判断された。
- ③ 深根性作物による硝酸汚染軽減効果と導入指針を整理した。また, 露地野菜畑におけるそばおよび飼料用とうもろこしの適切な導入間隔は, 葉菜類野菜専作畑では余剰水量 400mm のとき 2~3 年, 同 600mm で 4~5 年程度, たまねぎ連作畑ではそれぞれ 3~4 年, 9~12 年に 1 度以上と見積もられた。



図Ⅱ-2-2-4 深根性作物の窒素施肥量と窒素吸収量 (2007・2008年平均)

表Ⅱ-2-2-3 深根性作物の窒素施肥量と収量・窒素持出量（2007・2008年平均）

		そば		飼料用とうもろこし			
		N 0	N 3	N 0	N 5	N 10	N 15
収量*1	(kg/10a)	175	210	1205	1436	1902	1851
窒素持出量(全量搬出)	(kg/10a)	3.9	1.3	7.9	6.9	5.9	3.3

		産業用アサ*3								
		標準			疎植		密植		超密植	
		N 0	N 5	N 10	N 20	N 0	N 10	N 0	N 10	N 10
収量(茎・乾物)	(kg/10a)	377	510	582	599	265	412	492	853	1995
窒素持出量 (収穫部位のみ搬出)*2	(kg/10a)	1.9	-2.4	-6.2	-15.2	1.4	-7.2	2.2	-4.8	1.7

*1 そばは子実(乾物), 飼料用とうもろこしは全部(乾物)

*2 収穫部位以外がすぎ込まれた場合

*3 疎植 2083 株(畦間 60cm×株間 80cm), 密植 8333 株(株間 20cm), 超密植 69444 株(24cm×6cm)

表Ⅱ-2-2-4 深根性作物による硝酸汚染軽減効果と導入指針

種類	そば	飼料用 とうもろこし	産業用アサ※	秋まき小麦*2 (参考)
通常施肥時 窒素持出量*1 (kg/10a)	0~17 (-2~1)	0~6	(-7~0)	0~10
窒素施肥量 (硝酸対策) (kg/10a)	0	0	0	2~4 (基肥のみ)
対策時 窒素持出量*1 (kg/10a)	3~17 (2~13)	7~9	(2~9)	7~12
翌年作付作物への 施肥対応	土壌診断に基づいて 行う	同左	同左	同左

*1 全量搬出の場合, カッコ内は収穫部位のみ搬出の場合.

*2 既往の成果^{1, 2, 4)}を参考にして設定.

※ アサの栽培に際しては, 国内の数少ない主産地では現在, 外部への種子の譲渡を禁じていることから, 種子の入手は困難であり, 事実上栽培は不可能である.

表Ⅱ-2-2-5 窒素持出量と窒素残存許容量からみた露地野菜畑における深根性作物の導入間隔の目安

種類	余剰水量	葉菜類野菜専作畑*1			たまねぎ連作畑*2		
		400mm (年)	600mm (年)	800mm (年)	400mm (年)	600mm (年)	800mm (年)
そば (N0)		2.6	4.4	14.0	3.5	9.4	—
飼料用とうもろこし (N0)		3.4	5.8	18.5	4.7	12.8	—

深根性作物の窒素持出量(全量搬出, kg/10a)はそば3.9, 飼料用とうもろこし7.9(試験平均)で算出.

導入間隔の目安は対象畑に深根性作物を1度導入したとき超過窒素量がゼロとなる年数とし, NiPRAS⁵⁾を用い算出.

*1 キャベツ(晩春~初夏まき)・ブロッコリー(春まき・初夏まき)を交互に作付けすると仮定した圃場の例.

キャベツは窒素施肥量22.0kg/10a(北海道施肥ガイド⁵⁾・窒素肥沃度水準Ⅱ), 収量7000kg/10a, 外葉7000kg/10a(窒素含有量17.0kg/10a), ブロッコリーは窒素施肥量14.0kg/10a(同上), 収量1100kg/10aの条件でいずれも収穫部位のみ搬出.

*2 たまねぎは窒素施肥量18.0kg/10a(F₁, 窒素肥沃度水準Ⅲ), 収量5500kg/10aの条件で全量搬出.

《参考試験》

(5) 産業用アサの生育特性

- ① 目的：産業用アサの生育について基礎的知見を得る。
- ② 試験年次：2005年
- ③ 供試圃場・土壌：北見農試（表層腐植質多湿黒ボク土）
- ④ 試験処理および調査方法：播種は5月8日，栽植密度および施肥量は前出（2）試験方法と同一とし，定植（5月23日）から約2週間ごとに地上部を採取して乾物収量および窒素吸収量を調査した。
- ⑤ 結果と考察

産業用アサの生育初期は茎が細く伸長し，枝葉は少ない。草丈は6月下旬（積算温度500～600℃）で約50cmであったが，その後急激に伸長し，開花後の9月上旬には360cmに達した（図Ⅱ-2-2-5①）。一方，乾物収量と窒素吸収量は草丈に遅れて7月上旬頃から急激に増加し，9月下旬には乾物収量は2800kg/10a，窒素吸収量は29kg/10aに達した（図Ⅱ-2-2-5②③）。乾物収量は雌雄平均でも9月下旬まで増加したが，窒素吸収量については9月上旬以降停滞した。これは雄株が枯れはじめたため，反対に雌株はその後増加し続け，10月上旬の窒素吸収量は52.4kg/10aに達した（データ未掲載）。

なお，超密植では，疎植～密植に比べ茎の伸長が著しく速いが（データ未掲載），9月における草丈はこれらを下回った（表Ⅱ-2-2-6）。このことから，栽植密度によって生育の推移も異なると考えられた。

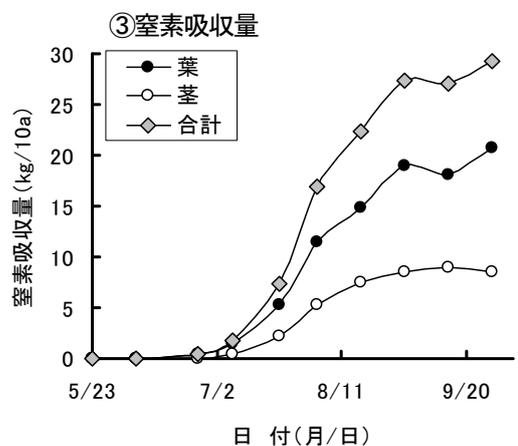
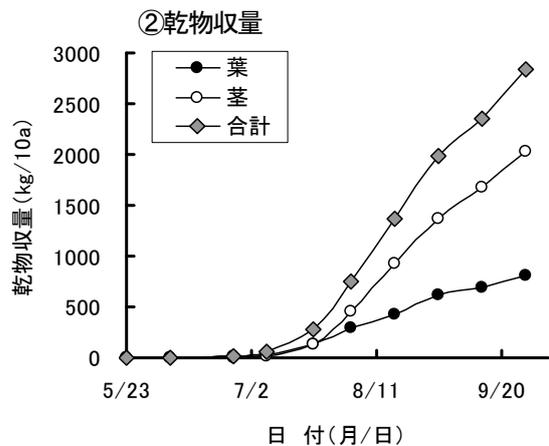
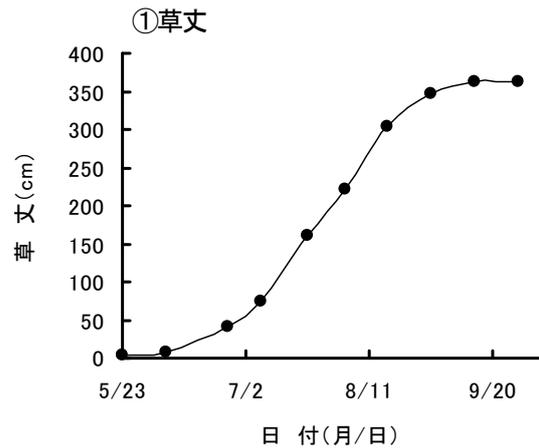
(6) 深根性作物の養分吸収

- ① 目的：そば，飼料用とうもろこし，産業用アサの養分吸収量を把握するための参考に資する。
- ② 試験年次：2005～2008年
- ③ 試験処理：栽植密度，施肥量は前出（2）試験方法と同一。
- ④ 結果と考察

収穫期におけるそばのリン酸（ P_2O_5 ）吸収量は約3kg/10aであった。カリ（ K_2O ）吸収量は10～11kg/10aで，その大部分が茎葉に存在した（表Ⅱ-2-2-7）。

飼料用とうもろこしの養分吸収量は，各成分とも乾物収量に比例し，リン酸は5～9，カリは17～25，苦土（ MgO ）は3kg/10a程度であった。

産業用アサの養分吸収量も飼料用とうもろこし同様，乾物収量の大小に依存した。リン酸は疎植～密植で3～5kg/10aであったが，超密植で8kg/10aと他に比べ多かった。カリは窒素施肥の影響が大きく，疎植～密植において窒素10kg/10aでは同0kg/10aの約2倍であった。



図Ⅱ-2-2-5 産業用アサの生育の推移

表Ⅱ-2-2-6 産業用アサの栽植密度と草丈

年次	疎植 (cm)	標準 (cm)	密植 (cm)	超密植 (cm)
2007	300.6	319.3	319.0	265.7
2008	303.8	316.1	330.7	267.1
平均	302.2	317.7	324.9	266.4

窒素施肥は10kg/10a.

調査日：2007年9月5日，2008年9月2日.

部位別に見ると、茎のカリ含有量は栽植密度による差が著しかった。

以上より、これら深根性作物は、カリについてはいずれも施肥量を上回る吸収が認められたが、苦土は施肥量と同等程度であった。リン酸については施肥量を下回り、これは調査圃場が火山性土であったことによると考えられる。

(7) 引用文献

- 1) 中央農試. 地下水の硝酸汚染を防止するための窒素管理方策—北海道農耕地の窒素環境容量 Ver.2—. 平成14年度北海道農業試験会議(成績会議)資料, p.1-35 (2003).
- 2) 中央農試・十勝農試・北見農試. 普通畑およびたまねぎ畑における地下水中硝酸性窒素の削減対策. 平成16年度北海道農業試験会議(成績会議)資料, p.1-62 (2005).
- 3) 山口正篤. “地域資源活用 食品加工総覧, 12, 畜産・

水産・昆虫 非食品資源”. アサ. 農山漁村文化協会, 2003, p.743-751.

- 4) 北見農試. 畑地における地下水の硝酸汚染防止のための投入窒素限界量. 平成14年度北海道農業試験会議(成績会議)資料, p.1-22 (2003).
- 5) 中央農試. 肥培管理情報を利用した地下水の硝酸性窒素汚染リスク評価ソフト「NiPRAS」. 平成17年度北海道農業試験会議(成績会議)資料, p.1-40 (2005).
- 6) 北海道農政部道産食品安全室編. 北海道施肥ガイド. 北海道農政部, 2002. 243p.

謝辞

産業用アサ「とちぎしろ」の種子の分譲に際し、関係の研究機関には格別のご配慮をいただいた。また、北海道北見保健所には産業用アサの栽培試験に係る手続きについて多大なご指導をいただいた。ここに深く御礼申し上げます。

(唐 星児)

表Ⅱ-2-2-7 対象深根性作物の養分吸収量(2007・2008年平均)

①そば

時期・施肥	茎葉		子実			合計					
	乾物 (kg/10a)	乾物 (kg/10a)	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO
収穫期・N 0	280	175	1.7	8.3	1.3	1.4	1.2	0.6	3.1	9.5	1.9
N 3	320	210	1.7	9.5	1.2	1.6	1.4	0.7	3.2	10.9	1.8

②飼料用とうもろこし

施肥	茎葉		雌穂			合計					
	乾物 (kg/10a)	乾物 (kg/10a)	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO
N 0	574	631	2.1	12.6	1.5	3.6	4.7	1.0	5.6	17.3	2.5
N 10	840	1062	2.4	15.5	1.8	6.1	7.6	1.6	8.4	23.1	3.4
N 15	810	1041	2.6	15.9	1.8	6.8	9.5	1.7	9.4	25.4	3.5

③産業用アサ

栽植密度*1 ・施肥	枝葉		茎			合計					
	乾物 (kg/10a)	乾物 (kg/10a)	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/10a)	MgO
疎植・N 0	287	265	1.8	7.5	1.2	1.1	4.6	0.3	2.9	12.1	1.5
疎植・N 10	499	412	2.4	15.2	1.6	1.2	7.9	0.7	3.6	23.1	2.3
標準・N 0	279	377	1.8	8.6	1.1	1.2	7.2	0.4	3.0	15.8	1.5
標準・N 10	433	582	2.0	16.1	1.6	1.4	14.0	0.6	3.4	30.1	2.2
密植・N 0	238	492	2.2	8.3	1.1	1.9	9.5	0.4	4.1	17.7	1.5
密植・N 10	448	853	2.5	16.7	2.0	2.2	18.8	0.9	4.7	35.4	2.9
超密植・N 10	462	1995	3.4	16.5	2.8	4.8	42.0	1.7	8.2	58.5	4.4

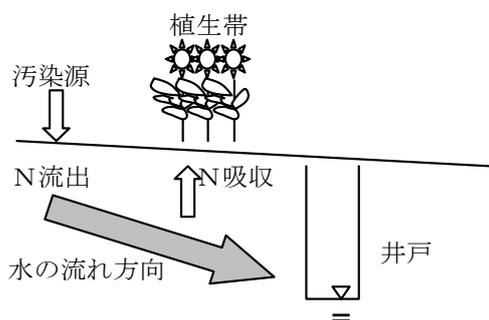
*1 疎植：10aあたり2083株，標準：4167株，密植：8333株，超密植：69444株

3. 植生帯および有機質資材埋設による局所汚染軽減対策

1) 植生帯活用による局所汚染軽減対策

(1) 目的

汚染源から流出した硝酸性窒素は、主に垂直方向に浸透するが、地形条件によっては、土壌浸透水とともに水平方向に移動しながら地下水へ流出する。そこで、農耕地から地下浸透過程で水平方向にも移動する浸透水中の硝酸性窒素を緑肥の窒素吸収と系外持ち出しによって軽減することを目指し、汚染源近傍への植生帯の設置によって、地下水中の硝酸性窒素濃度を軽減する対策手法(図Ⅱ-3-1)を検討する。



図Ⅱ-3-1 植生帯による局所汚染軽減のイメージ

(2) 植生帯が地下水中の硝酸性窒素濃度に与える影響

①方法

実施場所：中央農試場内

地形が異なり、浅層地下水が存在する2圃場

台地土：4.6°の緩傾斜地

低地土：段丘と用水にはさまれた平坦地

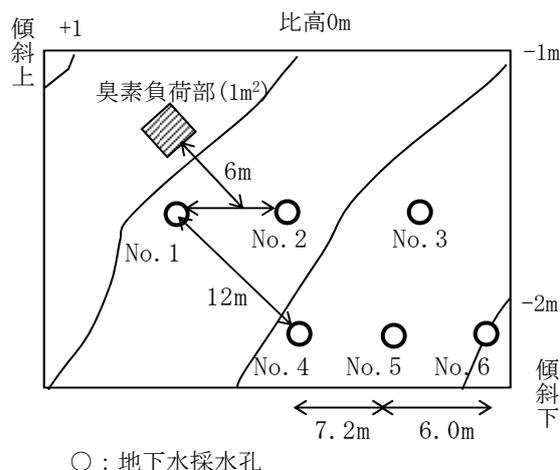
a. 土壌浸透水の流れ方向の推定

ねらい：上記の圃場において、土壌浸透水の流れ方向を確認する。

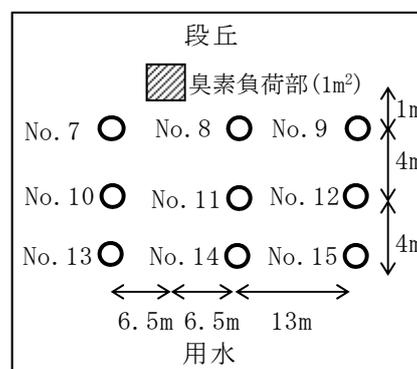
調査期間：2006年～2008年

試験処理：地下水測定孔を図Ⅱ-3-2、図Ⅱ-3-3のように設置し、2006年5月19日に臭化カリウムを面積1m²の臭素負荷部に臭素として100g(100g/m²)を混和した。臭素負荷部は緩傾斜地の台地土は傾斜の上側に設置し、平坦地の低地土は、段丘側に設置した。

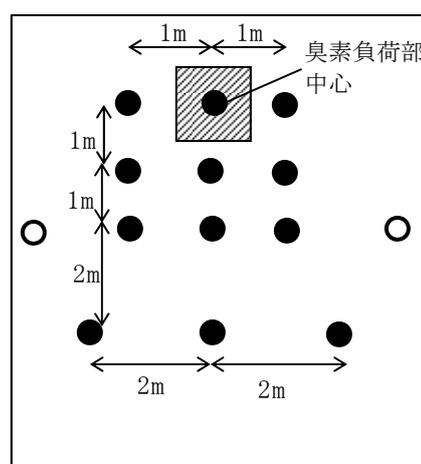
調査項目：2006年8月16日に臭素負荷部を中心に1mおよび2m間隔で計12箇所(図Ⅱ-3-4)から土壌を深さ1mまで採取し、土壌中の臭素含量を算出した。また、2006年3月～2008年8月に地下水測定孔により、地下水を採取し、臭素イオン濃度を測定した。土壌中の臭素含量から3次元表面マッピングソフトウェア「Surfur」¹⁾を用いて土壌浸透水の流れ方向を推定した。



図Ⅱ-3-2 臭素負荷部および地下水測定孔設置位置(台地土)



図Ⅱ-3-3 臭素負荷部および地下水測定孔設置位置(低地土)



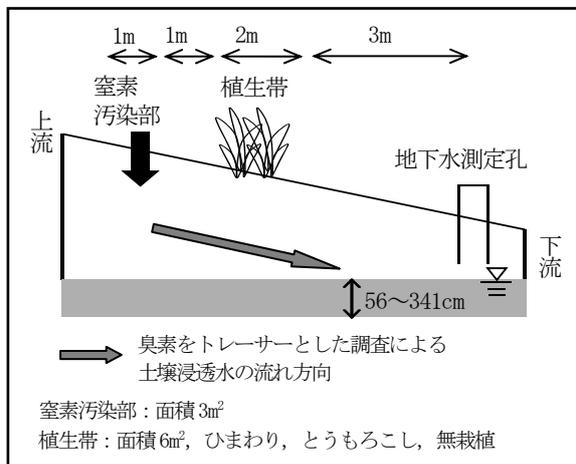
●：土壌採取箇所
○：地下水採水孔
■：臭素負荷部

図Ⅱ-3-4 土壌採取位置(共通)

b. 植生帯が地下水中の硝酸性窒素濃度に与える影響
ねらい：上記の圃場において、植生帯が地下水中の硝酸性窒素濃度に及ぼす影響を明らかにする。

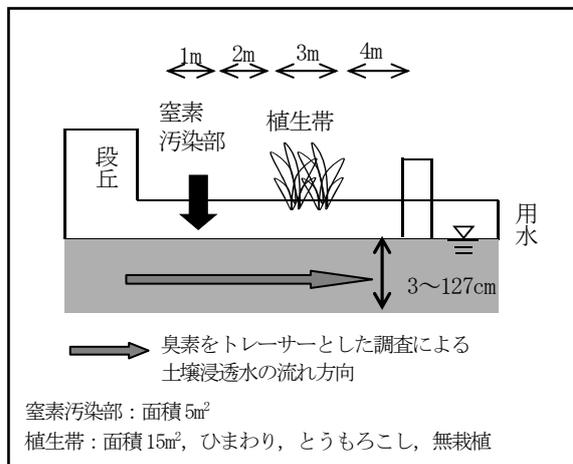
調査年次：2005年～2008年

試験処理：推定される水移動の上流から下流に向けて窒素汚染部、植生帯、地下水測定孔を図Ⅱ-3-5、図Ⅱ



図Ⅱ-3-5 台地土配置図

-3-6 のように設置した。栽植区と無栽植区を設け、栽植区にはひまわり、とうもろこしを栽培し(表Ⅱ-3-1), 地上部は全量搬出した。窒素汚染部には毎年栽植区の施肥と同時に窒素(硝安)を混和した。
調査項目：地下水硝酸性窒素濃度, 乾物生産量, 作物窒素吸収量, 根の深度



図Ⅱ-3-6 低地土配置図

表Ⅱ-3-1 試験処理概要

年次		2005年	2006年	2007年	2008年
栽植区	品種	ひまわり	ロシアひまわり	ロシアひまわり	ロシアひまわり
		とうもろこし	ピーターコーン	ピーターコーン	ニューデント100日
		(スイートコーン)	(スイートコーン)	(デントコーン)	(デントコーン)
	施肥量 (N-P-K, kg/10a)	5-7.5-6.5	5-7.5-6.5	5-7.5-6.5	5-14-6.5
窒素汚染部	(kg/10a)	100	100	100	300
施肥・播種		6月9日	5月19日	5月17日	5月12日
収穫		9月2日	8月28日	8月6日(ひまわり) 9月3日(とうもろこし)	9月2日

② 結果および考察

a. 土壌浸透水の流れ方向の推定

台地土における臭素負荷から3ヶ月後の土壌中の臭素含量は臭素負荷部で最も多く64.25 g/m²であった(表Ⅱ-3-2)。また、臭素負荷部から傾斜の下側へ1mの地点で次いで多く1.21 g/m²であった。調査結果から土壌浸透水の流れ方向は「Surfur」により図Ⅱ-3-7に示した矢印の方向と推定された。各地下水測定地点における臭素イオン濃度は臭素負荷前は最大値が0.02~0.05mg/lであったが、負荷後には0.05~0.28mg/lとなり、臭素の地下水への流出が確認された(図Ⅱ-3-8)。また、臭素負荷部に近い、No.2,3地点では、夏から秋にかけて翌年の融雪時に高まり、融雪時に最大値0.17mg/l~0.28mg/lを示した後、秋期まで臭素負荷前の値より高かった。一方、臭素負荷部から遠いNo.5,6はNo.2,3に比べて上昇がやや遅く、濃度は低い傾向がみられた。

低地土における臭素負荷から3ヶ月後の土壌の臭素含量は負荷部で最も多く、60.28 g/m²であった(表Ⅱ-3-3)。また、臭素負荷部から横方向に1mの地点で0.69 g/m²、用水路側へ1mの地点で0.51 g/m²と多かった。調

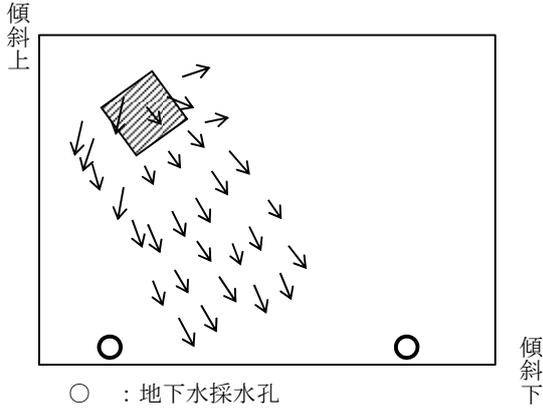
査結果から土壌浸透水の流れ方向は「Surfur」により図Ⅱ-3-9に示した矢印の方向と推定された。各地下水測定地点における臭素イオン濃度は臭素負荷前は最大値が未検出~0.03mg/lであったが、負荷後には0.05~0.80mg/lとなり、臭素の地下水への流出が確認された(図Ⅱ-3-10)。また、臭素負荷部に近いNo.8では夏から秋にかけて高まり、1ヶ月経過後に最大値0.80mg/lを示した後、翌年の秋期頃まで臭素負荷前の値より高かった。No.8より遠いNo.11, No.14では最大値が0.49~0.68mg/lとやや低く、変動が遅れる傾向であった。段丘側ほど臭素濃度が高い傾向にあったが、No.9,10,12などでも臭素は検出され、横方向への移動も認められた。この要因として、低地土では地下水位が高かったため、拡散による移動もあると考えられた。

以上のことから、台地土では概ね傾斜方向へ、低地土では段丘側から用水方向へ土壌浸透水の流れがあると推定された。

表Ⅱ-3-2 土壤中臭素含量(台地土)

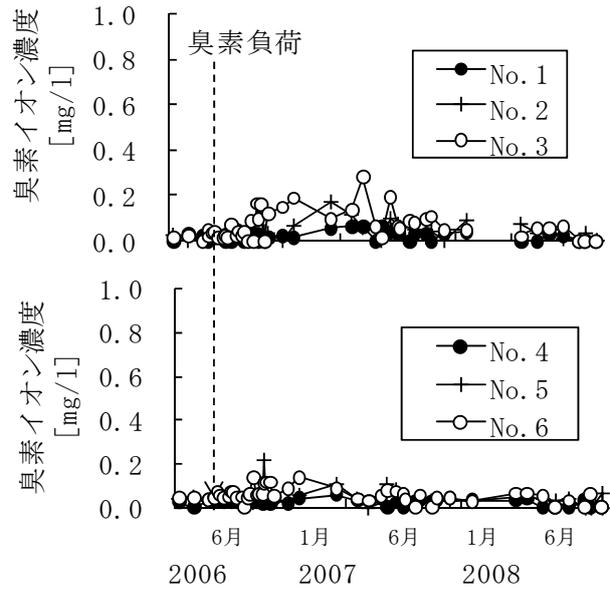
距離(m)	土壤中臭素含量 (g/m ²)			
	-2	-1	0	1 2
傾斜上	0	0.06	64.25	0.18
↓	1	0.00	1.21	0.03
2		0.00	0.00	0.00
傾斜下	4	0.00	0.00	0.00

*距離：臭素は臭素負荷部中心からの距離
 *2006年5月19日に臭素を負荷し、8/16に土壤を採取
 *20cmごとの層位別に土壤を採取し、0~100cm土層における面積あたりの臭素含量(g/m²)を算出した。



- ：地下水採水孔
- ：推定される土壤浸透水の流れ方向
- ：臭素負荷部

図Ⅱ-3-7 地下水中臭素イオン濃度の推移(台地土)

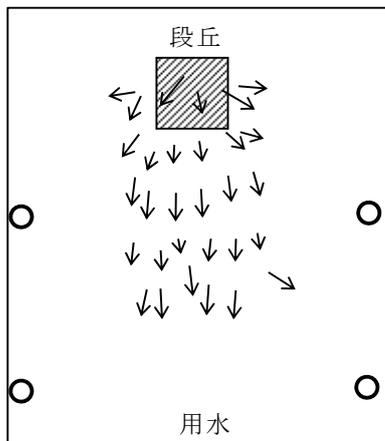


図Ⅱ-3-8 地下水中臭素イオン濃度の推移(台地土)

表Ⅱ-3-3 土壤中臭素含量(低地土)

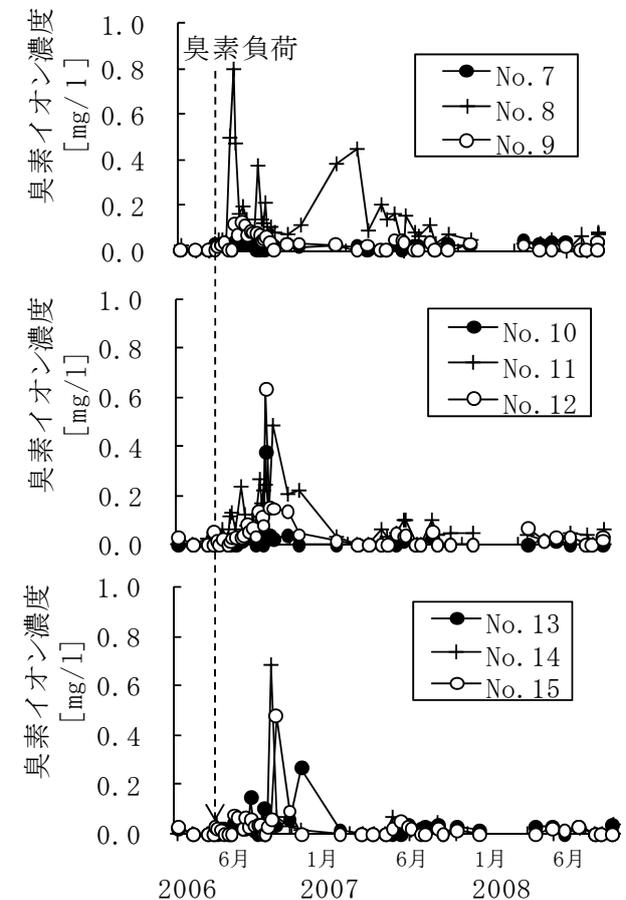
距離(m)	土壤中臭素含量 (g/m ²)			
	-2	-1	0	1 2
段丘	0	0.20	60.28	0.69
↓	1	0.02	0.51	0.29
2		0.01	0.00	0.08
用水	4	0.02	0.00	0.05

*距離：臭素は臭素負荷部中心からの距離
 *2006年5月19日に臭素を負荷し、8/16に土壤を採取
 *20cmごとの層位別に土壤を採取し、0~100cm土層における面積あたりの臭素含量(g/m²)を算出した。



- ：地下水採水孔
- ：推定される土壤浸透水の流れ方向
- ：臭素負荷部

図Ⅱ-3-9 土壤浸透水の流れ方向(低地土)



図Ⅱ-3-10 地下水中臭素イオン濃度の推移(低地土)

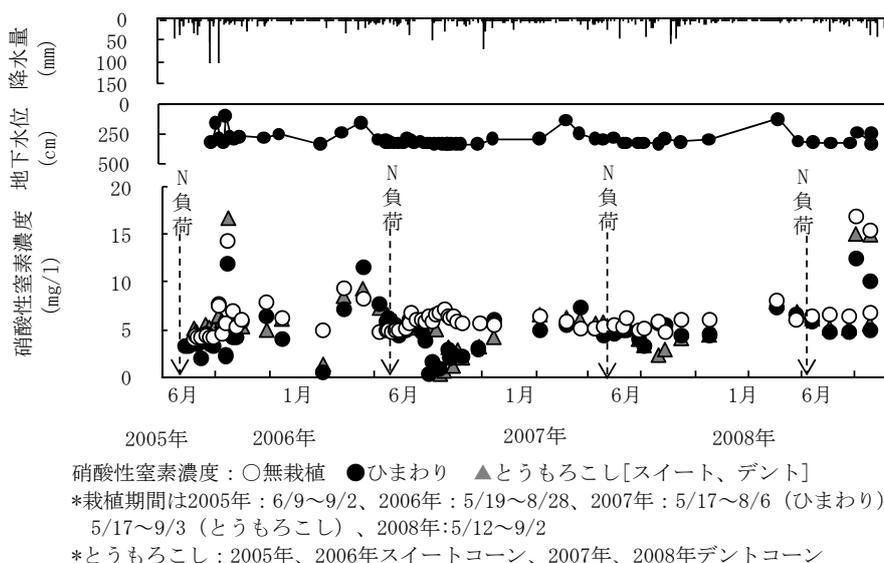
b. 結果および考察

a) 台地土における地下水中の硝酸性窒素濃度の推移

緩傾斜地の台地土における地下水位は融雪期に高まるほかは低く、56cmから341cmで推移し、調査期間中の平均値は261cmであった。無栽植区の地下水硝酸性窒素濃度は4.0~17.0mg/lで推移し、春の窒素負荷時に最も低く、その後夏から秋にかけて高まり、融雪時に再び高まる傾向を示した(図Ⅱ-3-11)。一方、ひまわり区は0.4~12.4mg/l、とうもろこし区は0.2~16.8mg/lで推移した。

両栽植区とも無栽植区に比べて、春以降低下する傾向を示したが、融雪期は無栽植区と同水準であった。また、ひまわり区の地下水硝酸性窒素濃度はとうもろこし区に比較して全般的に低く推移した。

無栽植区の平均地下水硝酸性窒素濃度を100とした時の両栽植区の相対指数を比較すると各年度とも概ねとうもろこし区よりひまわり区で小さく、無栽植区より、ひまわり区で2割、とうもろこし区で1割程度低下した(表Ⅱ-3-4)。



図Ⅱ-3-11 台地土における地下水硝酸性窒素濃度の推移

表Ⅱ-3-4 台地土における地下水硝酸性窒素濃度の相対指数

処理区	2005	2006	2007	2008	全期間
ひまわり	80	68	87	72	75
とうもろこし	100	80	82	85	87
無栽植**	(6.2)	(5.8)	(5.8)	(9.9)	(6.3)

*相対指数：無栽植区の平均硝酸性窒素濃度を100とした値

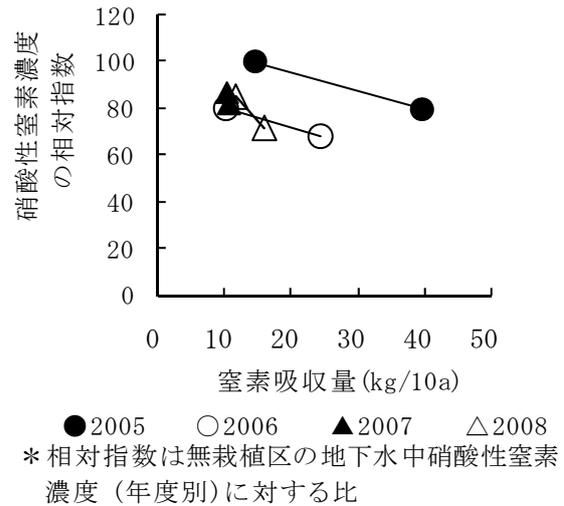
** () 内数値は無栽植区の平均硝酸性窒素濃度

表Ⅱ-3-5 台地土における植生帯の窒素吸収量および乾物生産量

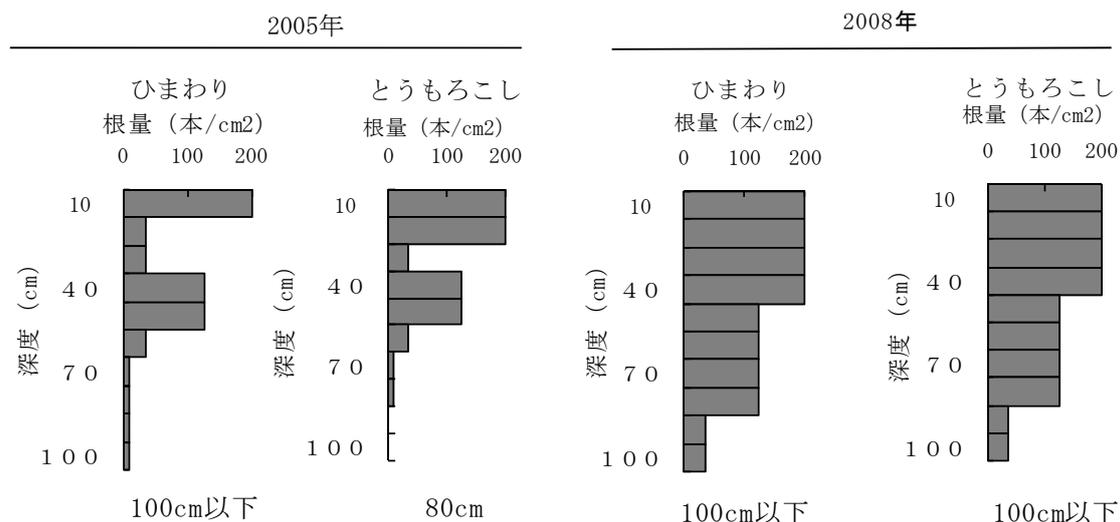
処理区	窒素吸収量(kg/10a)				乾物生産量(kg/10a)			
	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008
ひまわり	39.7	24.3	10.3	16.0	2133	1476	685	1302
とうもろこし*	14.5	10.1	10.6	11.6	744	739	1110	1007

*とうもろこし：2005年および2006年はスイートコーン
2007年および2008年はデントコーン

植生帯の窒素吸収量および乾物生産量はとうもろこしに比べてひまわりで多くなる傾向がみられた(表Ⅱ-3-5)。植生帯の窒素吸収量と地下水中の硝酸性窒素濃度の相対指数の関係を年次別にみると窒素吸収量が多いほど地下水中の硝酸性窒素濃度は低下した(図Ⅱ-3-12)。また、植生帯の根の深度は、ひまわりでは調査を行った2005年、2008年の両年とも100cm以下まで伸長していた(図Ⅱ-3-13)。とうもろこしでは2008年は100cm以下まで伸長していたが、無栽植区と相対指数の差がみられなかった2005年は80cmまでしか伸長していなかった。根量はひまわり、とうもろこしともに地下水中の硝酸性窒素濃度の相対指数が小さくなった2008年の方が明らかに多かった。これらのことから、ひまわりで効果が高かったのは、窒素吸収量が多く根域が深かったためと考えられた。



図Ⅱ-3-12 台地土における植生帯の窒素吸収量と地下水中の硝酸性窒素濃度の関係



*根量は日本ペドロロジー学会(1997)²⁾に基づき目視により観察した。

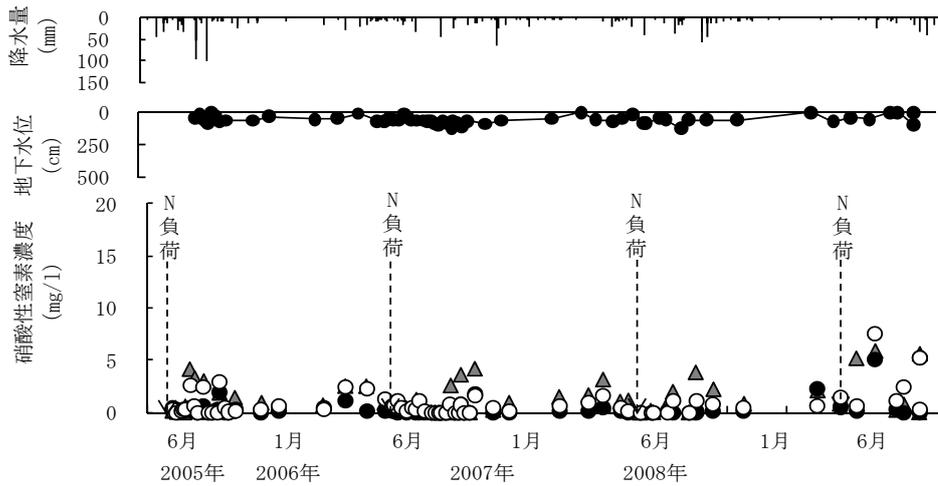
図Ⅱ-3-13 台地土における植生帯の根の深度

b) 低地土における地下水中の硝酸性窒素濃度の推移

平坦地の低地土における地下水位は融雪時と多量降雨時に高まり、3cmから127cmで推移し、調査期間中の平均値は59cmであった。無栽植区の地下水中の硝酸性窒素濃度は0.0~7.6mg/l、ひまわり区0.0~5.8mg/l、とうもろこし区0.0~5.2mg/lで推移し、台地土に比較して全般に低く、夏から秋および融雪期にやや高まる傾向を示した

(図Ⅱ-3-14)。この要因として、地下水位の高い低地土では、希釈による影響が考えられた。

無栽植区の平均地下水中の硝酸性窒素濃度を100とした時の各栽植区の相対指数を比較するとひまわり区では小さくなったものの、とうもろこし区では大きくなった(表Ⅱ-3-6)



硝酸性窒素濃度：○無栽植 ●ひまわり ▲とうもろこし[スイート、デント]
 *栽植期間は2005年：6/9～9/2、2006年：5/19～8/28、2007年：5/17～8/6（ひまわり）
 5/17～9/3（とうもろこし）、2008年：5/12～9/2
 *とうもろこし：2005年、2006年スイートコーン、2007年、2008年デントコーン

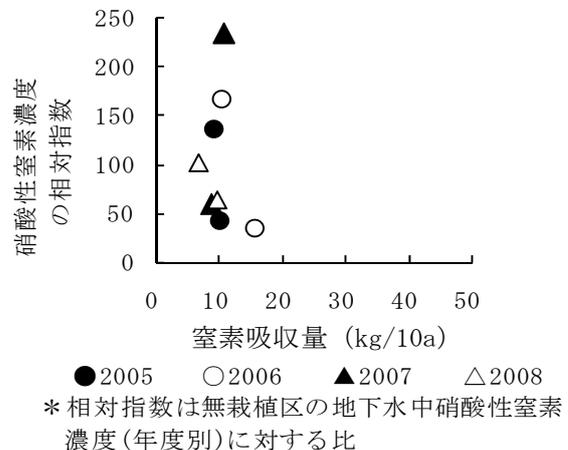
図Ⅱ-3-14 低地土における地下水中硝酸性窒素濃度の推移

表Ⅱ-3-6 低地土における地下水中硝酸性窒素濃度の相対指数

年次	2005	2006	2007	2008	全期間
ひまわり	42	35	60	63	49
とうもろこし	137	167	235	102	145
	(0.8)	(0.5)	(0.5)	(2.9)	(0.8)

* () 内数値は無栽植区の平均硝酸性窒素濃度
 *相対指数：無栽植区の平均硝酸性窒素濃度を100とした値

植生帯の窒素吸収量および乾物生産量は台地土と同様にとうもろこしよりひまわりで多くなる傾向がみられた(表Ⅱ-3-7)。しかし、植生帯の窒素吸収量は台地土より少なく、窒素吸収量と地下水中の硝酸性窒素濃度の相対指数の関係には一定の傾向が認められなかった(図Ⅱ-3-15)。傾向が認められなかった要因として、前述したように地下水による希釈で硝酸性窒素濃度が全般に低かったためと考えられた。また、植生帯の根の深度は45～80cm深で、100cm深まで進入していた台地土よりも浅く、根量も少なかった(図Ⅱ-3-16)。低地土では地下水位が高かったために根の進入が妨げられたことやひまわりの窒素吸収量が少なかったことも低減効果がみられなかった要因と考えられた。

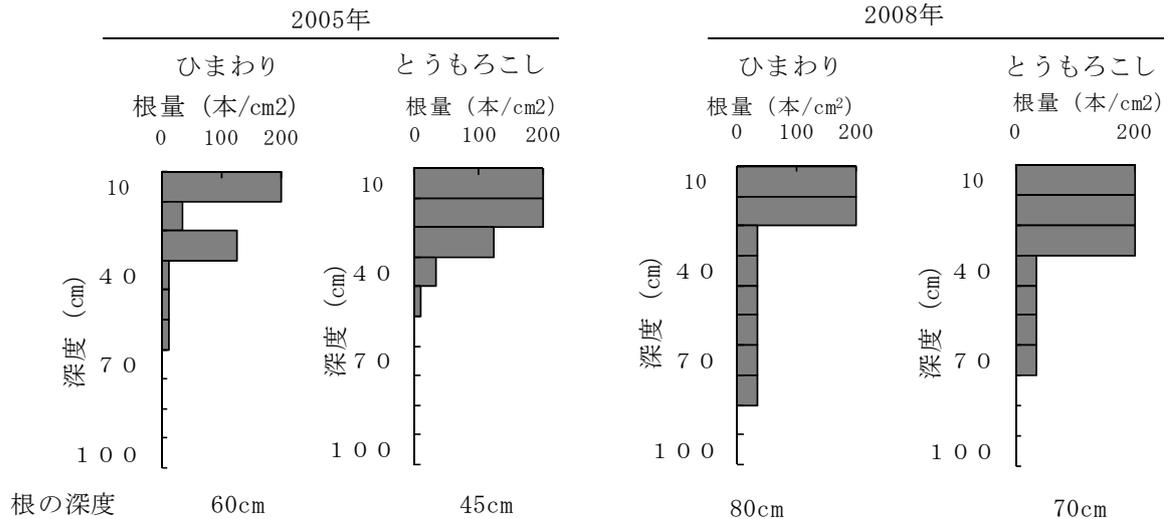


●2005 ○2006 ▲2007 △2008
 *相対指数は無栽植区の地下水中硝酸性窒素濃度(年度別)に対する比
 図Ⅱ-3-15 低地土における植生帯の窒素吸収量と地下水中硝酸性窒素濃度の関係

表Ⅱ-3-7 低地土における植生帯の窒素吸収量および乾物生産量

処理区	窒素吸収量(kg/10a)				乾物生産量(kg/10a)			
	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008
ひまわり	9.8	15.6	8.7	9.5	877	1348	812	1239
とうもろこし*	8.9	10.4	10.7	6.5	622	878	1289	1102

*とうもろこし：2005年および2006年はスイートコーン
 2007年および2008年はデントコーン



*根量は日本ペドロジー学会(1997)²⁾に基づき目視により観察した。

図Ⅱ-3-16 低地土における植生帯の根の深度

(3) 植生帯(緑肥)の種類による窒素捕集能力

ねらい:各種緑肥作物の窒素捕集能力を把握するために、窒素吸収ポテンシャルおよび根の深度を検討する。

① 方法

調査年次:2008年

実施場所:中央農試(台地土)

供試作物:ひまわり「ロシアひまわり」

デントコーン「ニューデント100日」

スイートコーン「ピーターコーン」

えん麦「前進」

試験処理:窒素施用量2水準15,30kg/10a(15N区,30N区),
($P_2O_5-K_2O=25-13$ kg/10a 共通施用)

施肥・播種:5月14日

生育調査:8月5日,8月19日,9月4日

根の調査:9月8日(えん麦は8月25日)

調査項目:窒素吸収量,乾物生産量,根の深度

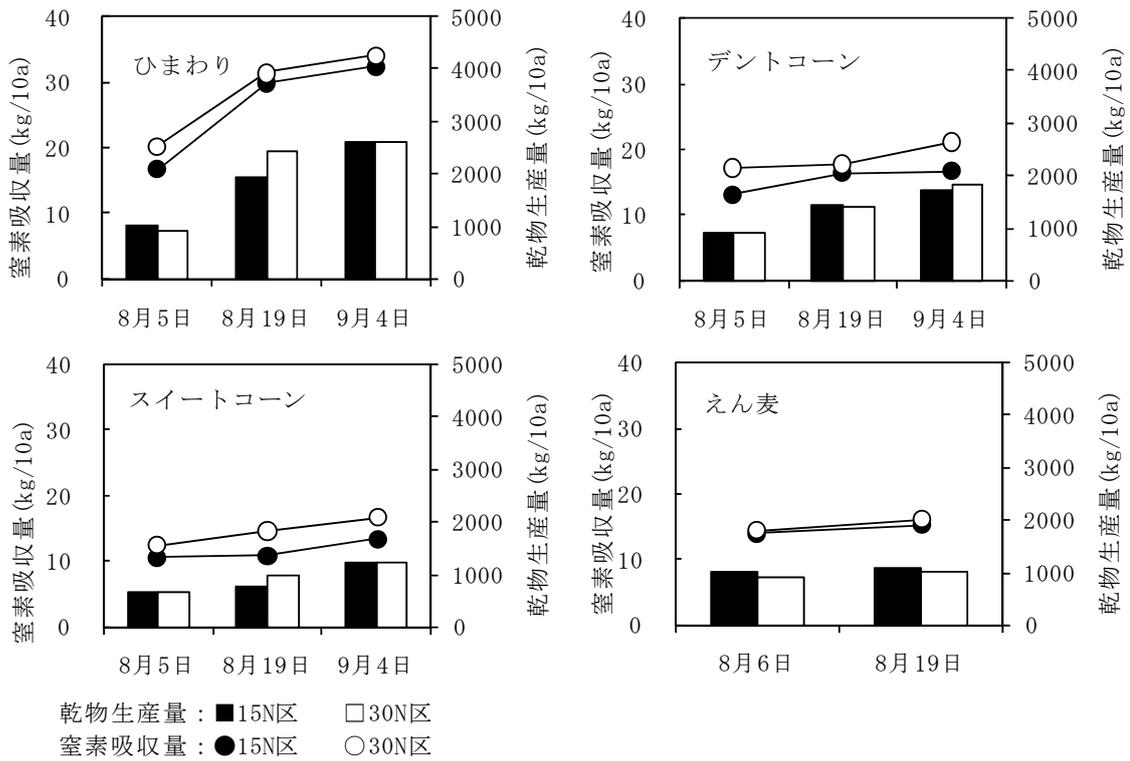
② 結果および考察

a. 各種緑肥作物の特性

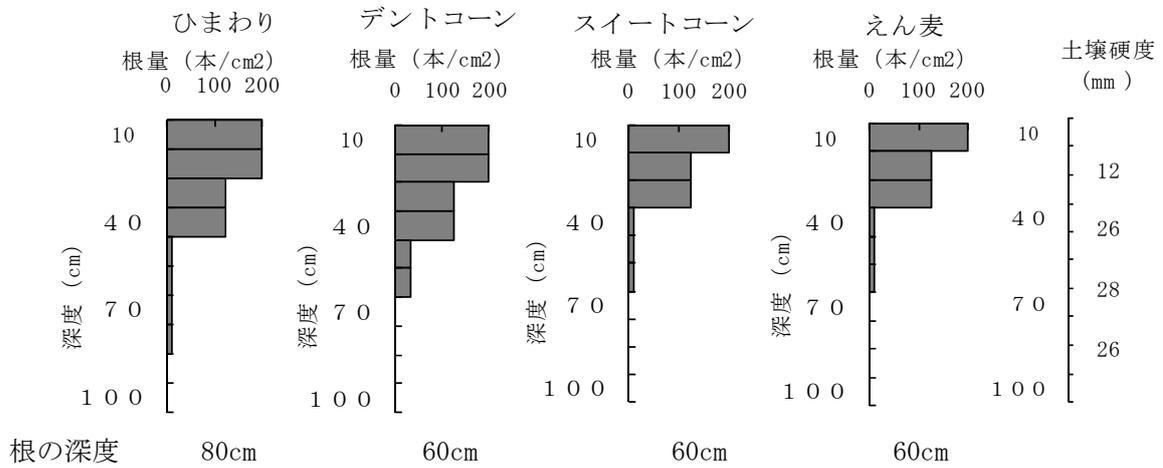
窒素吸収量および乾物生産量は経時的に増加した。ひまわりの窒素吸収量は,8月5日から8月19日にかけて

大幅に増加し,N15区では16.8kg/10aから1.7倍の30.0, N30区では20.3から1.5倍の31.4に増加した(図Ⅱ-3-17)。一方、デントコーン,スイートコーン,えん麦では,8月5日の窒素吸収量はひまわりに近い10~17kg/10aであった。しかし,8月19日にかけては,ひまわりほどの増加はみられず1.0~1.2倍の増加であった。8月19日から9月4日にかけての窒素吸収量の増加はいずれの作物も1.0倍から1.3倍であった。各緑肥作物の最終調査日の窒素吸収量はひまわりで最も多く,15N区32.4kg/10a,30N区34.1であった。他の作物の窒素吸収量はデントコーンの15N区が16.6kg/10a,30N区21.1,スイートコーン15N区13.4,30N区16.7,えん麦15N区15.3,30N区16.1であった。また,いずれの作物も15N区に比べて30N区で窒素吸収量は増加したが,増加量は0.8~4.5kg/10aと小さかった。

各緑肥作物の根の深度はひまわりで80cm,デントコーン,スイートコーン,えん麦で60cmであった(図Ⅱ-3-18)。調査圃場の下層土は土壌硬度(山中式土壌硬度計)が26~28mmの堅密な土壌であったため,いずれの作物も根伸長が抑制されていたが,ひまわりで最も深くまで伸長していた。



図Ⅱ-3-17 窒素吸収量および乾物生産量



*根量は日本ペドロロジー学会 (1997) ²⁾に基づき目視により観察した。
 *土壌硬度は山中式土壌硬度計により測定した。

図Ⅱ-3-18 緑肥作物の根の深度

b. 各種緑肥作物の窒素収奪量

窒素施肥量と窒素吸収量の差を緑肥作物による窒素収奪量とすると、各緑肥作物の窒素収奪量はひまわり 15N 区 17.4kg/10a、30N 区 4.1、デントコーン 15N 区 1.6、えん麦 15N 区 0.3 でプラスとなり、ひまわり 15N 区が最も

大きかった。デントコーン 30N 区、スイートコーン 15N 区、30N 区、えん麦 30N 区では窒素収奪量がマイナスとなった（表Ⅱ-3-8）。ひまわりでは15N区、30N区ともに窒素吸収量が施肥量を上回り、根域も深いことから、窒素捕集能力は4緑肥間の中で最も高いと考えられた。

表Ⅱ-3-8 植生帯による土壌からの窒素収奪量

		窒素施肥量 kg/10a	窒素吸収量 kg/10a	土壌からの窒素収奪量 kg/10a
ひまわり	15N	15	32.4	17.4
	30N	30	34.1	4.1
デントコーン	15N	15	16.6	1.6
	30N	30	21.1	-8.9
スイートコーン	15N	15	13.4	-1.6
	30N	30	16.7	-13.3
えん麦	15N	15	15.3	0.3
	30N	30	16.1	-13.9

*えん麦：5月14日施肥・播種、8月19日調査

*ひまわり、デントコーン、スイートコーン：5月14日施肥・播種、9月4日調査

*土壌からの窒素収奪量＝窒素吸収量-窒素施肥量

(4) 総合考察

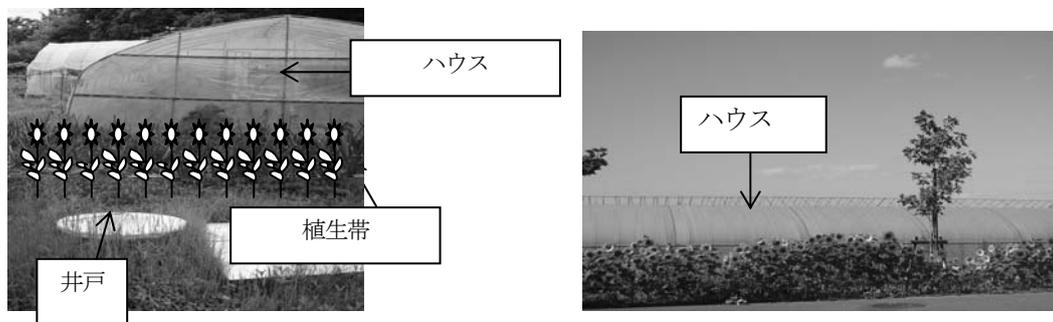
① 設置場所の条件

本試験では、平均地下水位が 261cm と低い台地土では植生帯の設置により地下水中硝酸性窒素濃度を低下させる効果が認められたが、低地土では効果が判然としなかった。これは、低地土では平均地下水位が 59cm と高いことで、希釈の影響を受けたためと考えられた。また、地下水により植生帯の根の進入が妨げられ、台地土よりも根域が浅く窒素吸収量が少なかった影響もあると考えられる。これらのことから、植生帯の設置場所の条件は土壌水の横移動があることに加えて、植生帯の根域を考慮すると平均地下水位は 1m 以下であることが望ましいと考えられる。

② 設置位置

緑肥作物の根の深度は 1m 前後であること、汚染源から離れるほど硝酸性窒素は下層へ移動することを考慮すると、農耕地から流出した硝酸性窒素を緑肥作物による植生帯に吸収させるには、汚染源近くに植生帯を配置する方が効果的であると考えられる。また、汚染源としては表層に窒素の高負荷が心配されるハウスなどが想定される。（設置イメージ図Ⅲ-3-19）。

窒素捕集能力が高いと考えられたひまわりは遊休農地や道路沿いの農地へ植栽され、景観作物として利用されている。また、収穫された植生帯の作物は堆肥化し、窒素の高負荷がない周辺の農地に還元することや飼料としての活用が考えられる。



図Ⅲ-3-19 設置イメージ

(5) 要約

- ① 汚染源近傍に植生帯を設置することによって、地下水中の硝酸性窒素濃度の軽減効果が台地土で認められた。台地土では平均地下水位が261cmと低かったが、効果が認められなかった低地土では59cmと高かった。
- ② 台地土における軽減効果はひまわりがとうもろこしより高かった。軽減効果には窒素吸収量や根域の深さが強く影響していると考えられた。なお、ひまわりは草丈が高く大輪種である「ロシアひまわり」を用いた。また、植生帯の初期生育を確保する必要があることから、窒素を5kg/10a施用した。
- ③ ひまわり、デントコーン、スイートコーン、えん麦の4緑肥作物間で比較するとひまわりで窒素吸収量が多く、根域も深いことから窒素捕集能力は優れていると考えられた。
- ④ 植生帯の設置場所の条件としては土壌水の横移動があることに加えて、平均地下水位は1m以下のときに、植生帯を汚染源に近接して設置することで軽減効果が期待される。

2) 土壌下層への有機質資材埋設による局所汚染軽減対策

(1) 目的

C/N比の高い有機質資材は、有機化や脱窒等の作用により窒素の保持あるいは軽減効果が期待できることから、農地からの硝酸性窒素の流出を軽減する対策の一つとして、土壌下層へ有機質資材を埋設する方法が報告されている³⁾。しかし、寒冷地における研究事例はない。そこで本節では、下層への硝酸性窒素溶脱軽減を目指し、C/N比の異なる有機質資材を下層へ埋設し、土壌溶液中の硝酸性窒素を軽減する対策手法を検討する。

(2) 方法

供試した有機質資材の成分を表Ⅱ-3-9に示す。

表Ⅱ-3-9 有機質資材成分

	水分率 ¹⁾ %	pH (H ₂ O)	EC ²⁾ ms/cm	C/N比 ²⁾	T-C ²⁾ %	T-N ²⁾ %
麦かん	10.9	-	-	124	40.2	0.3
バーク堆肥	51.8	7.9	2.4	21	28.6	1.4
ナタネ粕	10.7	6.3	4.2	7	41.3	6.3

1) 現物あたり 2) 乾物あたり

① 有機質資材が土壌溶液中の硝酸性窒素濃度に及ぼす影響

ねらい：柀圃場において下層へ埋設した有機質資材が土壌溶液中の硝酸性窒素濃度に及ぼす影響を検討する。

調査年次：2006年～2008年（融雪期を除く）

実施場所：中央農試（柀圃場）

有機質資材：麦かん（C/N比=124，高），バーク堆肥（C/N比=21，中）

試験処理：2006年5月末に1辺1m，面積1m²で深さ1mのコンクリート柀に火山性土を充填し柀圃場を造設した。有機質資材は火山性土充填時に表Ⅱ-3-10に示す量を0.3mの深さに埋設した。対照として有機質資材を埋設しない無埋設区を設けた。毎年，合計窒素施用量が30kg/10aになるように，作物の標準施肥量を化成肥料で施用し，残りを硝酸カリで施用した（表Ⅱ-3-11）。深さ0.8mに埋設したポーラスカップにより土壌溶液を採取した（図Ⅱ-3-13）。

供試土壌：火山性土

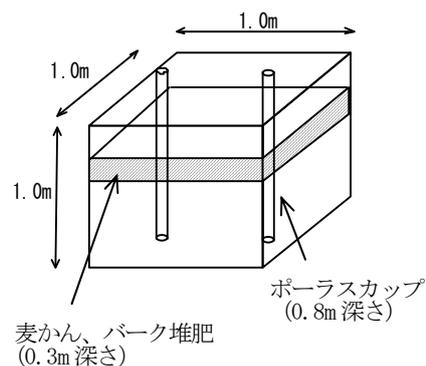
供試作物：エン麦、キャベツ、スイートコーン

（表Ⅱ-3-11）収穫物は全量搬出した。

調査項目：土壌溶液中硝酸性窒素濃度，乾物生産量，作物窒素吸収量

表Ⅱ-3-10 試験処理概

系列	処理区	埋設有機物		栽培作物
		種類	量 t/10a	
無埋設	栽植	—	—	有
	無栽植	—	—	無
麦かん	少	麦かん	1	有
	多	麦かん	2	有
バーク堆肥	少	バーク堆肥	4	有
	多	バーク堆肥	8	有



図Ⅱ-3-13 有機物およびポラスカップ埋設位置

表Ⅱ-3-11 作付け概要

年次	2006年	2007年	2008年
化成肥料 (N-P-K, kg/10a)	5-10-5	22-20-18	12-18-16
硝酸カリウム (N, kg/10a)	25	8	18
作物	エン麦 「前進」	キャベツ 「楽園」	スイートコーン 「ピーターコーン」
施肥・播種	6月5日	6月7日	5月15日
収穫	8月15日	8月14日	8月26日

② 各種有機質資材の作物生育への影響 (ポット試験)

ねらい: 有機質資材が作物へ及ぼす影響を明らかにする。

調査年次: 2008年5月~9月

有機質資材: 麦かん (C/N比=124, 高), バーク堆肥 (C/N比=21, 中), ナタネ粕 (C/N比=7, 低)

試験処理: 各種有機質資材と硫酸を未風乾土と混和し、1/5000aのワグネルポットに充填した(表Ⅱ-3-12)。

対照として無施用区を設けた。

施用量: N-P-K=1.0-0.5-0.5g /pot

供試土壌: 褐色森林土

供試作物: イタリアンライグラス

播種日: 5月15日 (0.3g/pot)

調査日: 6月23日, 7月14日, 8月8日, 9月9日
地際から3cmを残して刈り取った。

調査項目: 作物窒素吸収量, 乾物生産量

表Ⅱ-3-12 試験処理概要 (ポット試験)

有機質資材		施用量		
		現物 g/pot	炭素含量 g/pot	窒素含量 g/pot
無施用		—	—	—
麦かん	少	20	8.0	0.06
	多	40	16.1	0.12
バーク堆肥	少	80	22.9	1.12
	多	160	45.8	2.24
ナタネ粕	少	20	8.3	1.26
	多	40	16.5	2.52

③ 各種有機質資材の無機化・有機化特性 (培養試験)

ねらい: 有機質資材の無機化および有機化特性を明らかにする。

調査年次: 2008年

有機質資材: 麦かん (C/N比=124, 高), バーク堆肥 (C/N比=21, 中), ナタネ粕 (C/N比=7, 低)

試験処理: 各種有機質資材と硝酸カリウムを未風乾土

30gと混和し, 100mlポリビンに入れ, 25°Cで培養した。土壌水分は最大容水量の60%となるように2週間ごとに調整した。有機質資材混和量を表Ⅱ-3-13に示す。

培養開始後4週間, 8週間, 12週間に取り出した。

硝酸性窒素施用量: 8mg/ビン

供試土壌: 褐色森林土

調査項目: 無機態窒素濃度

表Ⅱ-3-13 試験処理概要 (培養試験)

有機質資材		施用量		
		現物 mg/ビン	炭素含量 mg/ビン	窒素含量 mg/ビン
麦かん	少	250	101	0.8
	多	500	201	1.5
バーク堆肥	少	350	100	4.9
	多	700	200	1.2
ナタネ粕	少	250	103	15.8
	多	500	207	31.5

(3) 結果および考察

① 有機質資材が土壤溶液中の硝酸性窒素濃度に及ぼす影響

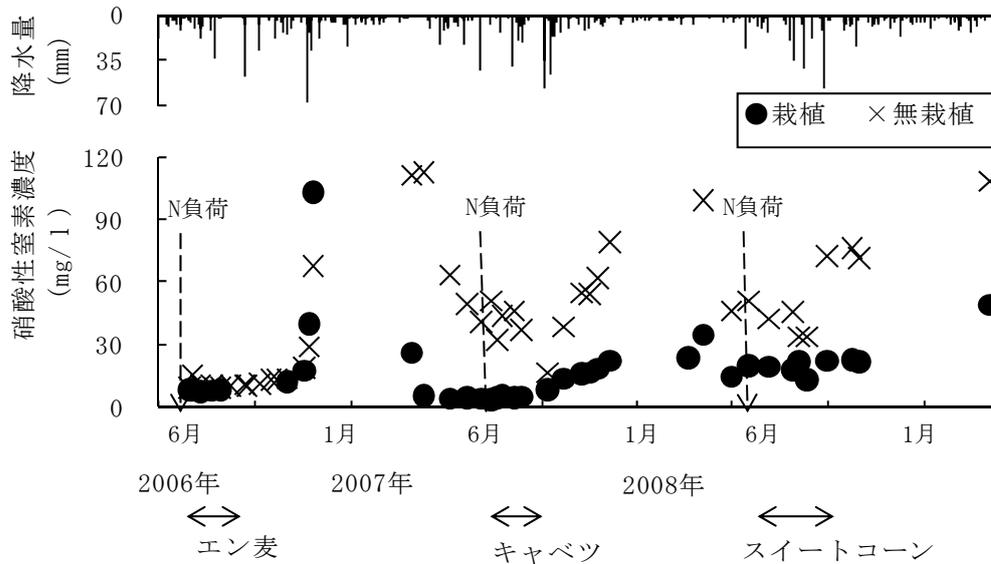
a. 無埋設区の土壤溶液中硝酸性窒素濃度の推移

2006年の無埋設栽植区の土壤溶液中硝酸性窒素濃度は、施肥直後は濃度の上昇がみられず、10月までは7.3~8.3 mg/lで推移した(図II-3-21)。作物収穫後の10月以降濃度が上昇し、11月に103 mg/lの高濃度となり、融雪(2007年3月、4月)以降は低下した。2007年も2006年と同様に、施肥直後は濃度の上昇がみられず、10月までは3.2~13.4 mg/lで推移した。作物収穫後は10月以降濃度が上昇し、融雪以降低下する傾向がみられ、融雪時(2008年3月)に最大の34.7 mg/lを示した。2008年は施肥から10月までの濃度は14.0~22.2 mg/lと2006年、2007年に比較して高く推移し、融雪時(2009年3月)に最大の49.0 mg/lを示した。

2006年と2007年、2008年では土壤溶液中の硝酸性窒素濃度の値が大きく異なっていた。この要因は次のよう

に考えられる。すなわち、2006年は7月20日~8月26日の28日間降水がなく、8月、9月は土壤溶液が採取できない状態であったことから、下層への水と窒素移動が少なく、水分状態の高まった秋に土壤中の窒素が一気に溶脱したため最高値が高かったと考えられる。これに対し、2007年、2008年は継続的に土壤溶液が採取できたことから、窒素も徐々に溶脱し、2006年ほど濃度は急激に上昇しなかったと考えられる。また、2008年は、施肥から10月までの濃度が2006年、2007年に比較して高かった。これは2008年は作物の生育が不良であったために、作物による窒素吸収が少なく窒素の溶脱が多くなったと考えられる。

無栽植区の土壤溶液中硝酸性窒素濃度を栽植区と比較すると、2006年は概ね同様の推移を示したが、2007年以降明らかに高く推移した。また、土壤溶液を採取できた回数、量ともに無栽植区が上回った。このことから、作物生育は土壤中の硝酸性窒素量とともに、土壤水分量にも影響を及ぼすと考えられた。



図II-3-21 無埋設区の土壤溶液中硝酸性窒素濃度の推移

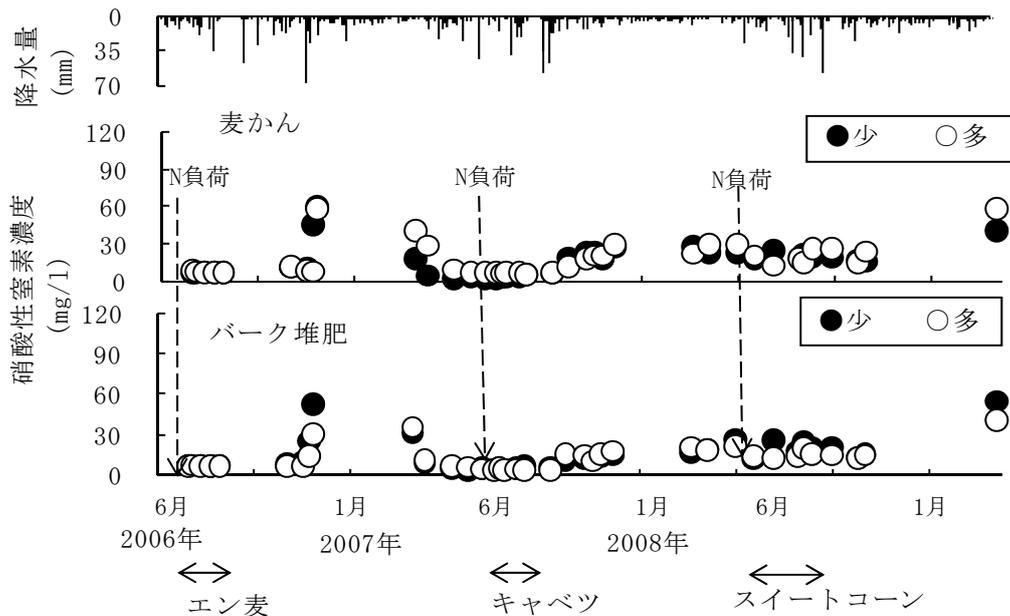
b. 有機質資材埋設区の土壤溶液中の硝酸性窒素濃度

麦かん系列では無埋設栽植区と同様に、2006年は施肥から10月まで硝酸性窒素濃度は上昇せず、7.8~8.7 mg/lで推移した(図II-3-22)。作物収穫後の10月以降、濃度が上昇したが、およそ60 mg/lと上昇程度は無埋設栽植区よりも小さく融雪以降は低下した。2007年、2008年も無埋設栽植区と同様の推移を示した。バーク堆肥系列でも麦かんとほぼ同様の推移を示した。

埋設期間ごとに土壤溶液中の硝酸性窒素濃度の平均値を比較すると、埋設1年目は麦かん系列で1割ほど、バ

ーク堆肥系列で3割ほど無埋設栽植区より低い値となり、両資材とも埋設1年目は硝酸性窒素の溶脱が抑制される可能性が示された(表II-3-14)。しかし、埋設2年目以降は資材間で異なる傾向を示した。すなわち、麦かん系列では、埋設2年目は無埋設栽植区と比較して2割高くなり、3年目はほぼ同等であった。一方、バーク堆肥系列では埋設2年目は1割低下し、3年目も同等あるいは低下がみられた。

有機質資材の埋設量と硝酸性窒素濃度の間には一定の傾向は認められなかった。



図Ⅱ-3-22 有機質資材埋設区の土壤溶液中硝酸性窒素濃度の推移

表Ⅱ-3-14 土壤溶液中の硝酸性窒素濃度の比較

系列	処理区	2006年度 ²⁾	2007年度 ³⁾	2008年度 ⁴⁾	全期間 ⁵⁾
		埋設1年目 mg/l	埋設2年目 mg/l	埋設3年目 mg/l	
無埋設	栽植	19.3 (100)	12.8 (100)	23.0 (100)	17.6 (100)
	無栽植	40.4 (209)	50.3 (393)	59.7 (260)	49.1 (279)
麦かん	少	15.7 (81)	15.1 (118)	22.8 (99)	17.2 (98)
	多	16.8 (87)	15.8 (123)	24.6 (107)	18.3 (104)
バーク堆肥	少	14.1 (73)	11.0 (86)	23.0 (100)	15.0 (85)
	多	12.2 (63)	11.5 (90)	18.3 (80)	13.4 (76)

- 1) 括弧内数値は無埋設栽植区に対する比
- 2) 2006年度：2006年6月8日～2007年6月6日（積雪期を除く）
- 3) 2007年度：2007年6月7日～2008年5月14日（積雪期を除く）
- 4) 2008年度：2008年5月15日～2009年3月26日（積雪期を除く）
- 5) 全期間：2006年6月8日～2009年3月26日（積雪期を除く）

c. 供試作物の窒素吸収量および乾物生産量

2006年のエン麦の窒素吸収量は無埋設栽植区と比較して、麦かん系列では少なくなり、バーク堆肥系列では多くなる傾向がみられた（表Ⅱ-3-15）。エン麦の乾物生産量の処理間差も窒素吸収量と同様の傾向を示した。

2007年のキャベツの窒素吸収量および乾物生産量は、バーク堆肥系列では2006年と同様に、無埋設栽植区や麦

かん系列より多くなったが、麦かん系列では2006年と異なり、無埋設栽植区より多くなった。2008年の窒素吸収量および乾物生産量は麦かん系列、バーク堆肥系列ともに無埋設栽植区より少なかったが、生育が不良であり、窒素吸収量は5.2～8.4kg/10a、乾物生産量は439～693kg/10aと全体的に少なく一定の傾向は判断できないと考えられた。

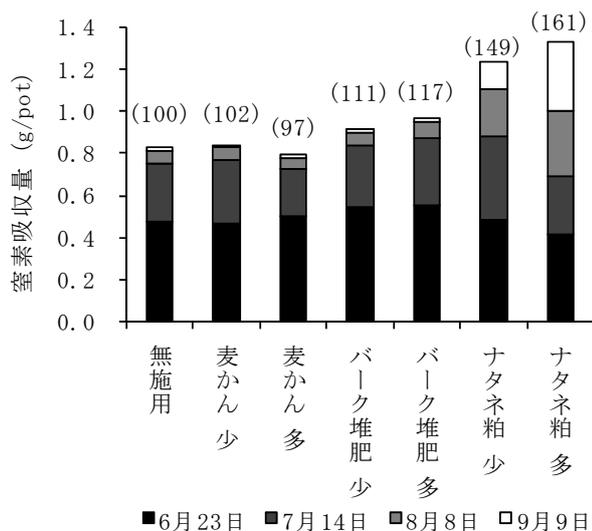
表Ⅱ-3-15 供試作物の窒素吸収量および乾物生産量

系列	処理区	2006年度 ²⁾ 埋設1年目		2007年度 ²⁾ 埋設2年目		2008年度 ²⁾ 埋設3年目	
		窒素吸収量 kg/10a	乾物生産量 kg/10a	窒素吸収量 kg/10a	乾物生産量 kg/10a	窒素吸収量 kg/10a	乾物生産量 kg/10a
無埋設	栽植	15.4 (100)	1271 (100)	17.3 (100)	665 (100)	7.8 (100)	693 (100)
麦かん	少	12.7 (82)	1032 (81)	23.3 (135)	984 (148)	5.2 (67)	439 (63)
	多	12.5 (81)	1032 (81)	20.9 (121)	776 (117)	8.4 (108)	680 (98)
バーク堆肥	少	18.1 (118)	1361 (107)	25.4 (147)	967 (145)	5.4 (69)	442 (64)
	多	21.3 (138)	1422 (112)	25.7 (149)	1054 (158)	6.6 (85)	485 (70)

- 1) 括弧内数値は無埋設栽植区に対する値
- 2) 2006年度：エン麦, 2007年度キャベツ, 2008年度スイートコーン

② 各種有機質資材の作物生育への影響（ポット試験）

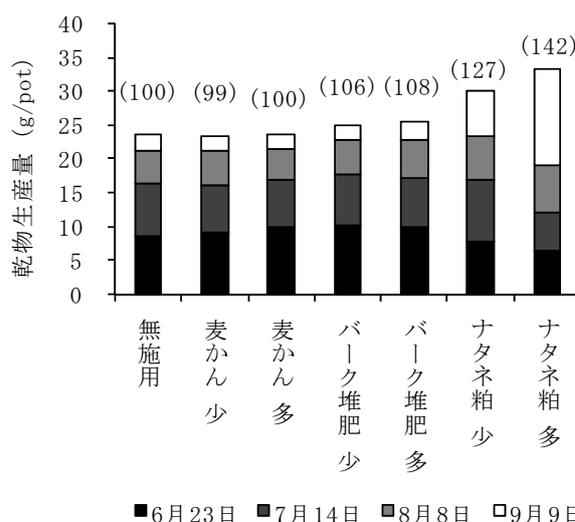
無施用区のイタリアンライグラスの6月23日～9月9日の合計窒素吸収量は0.83g/potであった（図Ⅱ-3-23）。イタリアンライグラスの合計窒素吸収量は有機質資材のC/N比が大きいほど少なく、麦かん施用区≒無施用<バーク堆肥施用区<ナタネ粕施用区の順であった。また、無施用区のイタリアンライグラスの6月23日～9月9日の合計乾物生産量は、23.5 g/potであった。（図Ⅱ



図Ⅱ-3-23 イタリアンライグラスの窒素吸収量

—3-24)。有機質資材施用区の合計乾物生産量を無施用区と比較すると、窒素吸収量と同様の傾向を示した。

資材施用量間の差違をみると、麦かん施用区では、乾物生産量は差がみられなかったが、窒素吸収量は資材施用量が多い区で少なくなる傾向がみられた。一方、バーク堆肥施用区とナタネ粕施用区では資材施用量が多いほど多かった。



図Ⅱ-3-24 イタリアンライグラスの乾物生産量

③ 各種有機質資材の無機化・有機化特性（培養試験）

麦かん施用区の窒素無機化量は-0.3～-5.1mg/ビンとなり、培養8週間後に最も有機化が進行していた（表Ⅱ-3-16）。バーク堆肥施用区の窒素無機化量は-0.3～0.8mg/ビンと変化は小さく、培養8週間から12週間後に

無機化に転じた。ナタネ粕施用区の窒素無機化量は7.0～19.2mg/ビンとなり、窒素無機化量は培養日数の経過とともに増加した。

（4）有機質資材埋設が作物生育および窒素溶脱に及ぼす影響

C/N比の異なる有機質資材を枠圃場において下層へ埋設し、土壤溶液中の硝酸性窒素濃度に及ぼす影響を検討した。その結果、C/N比が高い麦かんでは埋設1年目は土壤溶液中の硝酸性窒素濃度は低下したが、埋設2年目以降は低下が認められなかった。作物の窒素吸収量および乾物生産量を無埋設区と比較すると、埋設1年目は少なかったが、埋設2年目は多かった。C/N比の高い有機物では土壤に施用後、微生物の作用により窒素の取り込み（有機化）が起こることが知られている。ポット試験では収量の差違は判然としなかったが、培養試験では培養4週間後から12週間後まで有機化が起きていた。このことから、麦かんを埋設した区では

表Ⅱ-3-16 有機質資材の無機

有機質資材	資材施用量	無機化量(mg/ビン)		
		4週間	8週間	12週間
麦かん	少	-0.4	-4.9	-3.3
	多	-0.3	-5.1	-4.1
バーク堆肥	少	-0.3	-0.2	0.8
	多	0.0	0.1	0.6
ナタネ粕	少	7.0	7.7	11.0
	多	14.3	12.4	19.2

*無機化量は資材施用区無機態窒素量から資材無施用区無機態窒素量と資材無機窒素量を差し引いた値
*無機態窒素：ナタネ（148mg/100g）、バーク堆肥（25.5mg/100g）

窒素の取り込みが大きかったため、埋設1年目の2006年は作物の窒素吸収量が低下した可能性が考えられた。有機質資材埋設2年目、3年目は、硝酸の軽減効果は得

られなかったが、埋設2年目の作物の収量は増加した。この要因として、有機質資材の分解に伴って有機化量が減少し、無機化へ転ずることから、作物生育を抑制するほどの窒素の取り込みが起こらなかった一方で、埋設1年目に有機化した窒素の溶脱が起きた可能性が考えられる。

C/N比が21であったバーク堆肥では土壌溶液中の硝酸性窒素濃度は埋設1年目～3年目まで低下した。しかし、埋設年数の経過により低下割合は小さくなる傾向があった。作物の窒素吸収量および乾物生産量は埋設1年目、2年目ともに無埋設区より多かった。ポット試験では増収効果が得られ、培養試験では窒素の無機化および有機化の変化が小さかった。このことから、バーク堆肥を埋設した区では、生育を抑制するほどの窒素の取り込みは起きず、窒素負荷となるような無機化もなかったと考え

られる。また、堆肥埋設により作物生育が旺盛になり、窒素吸収量が高まり硝酸性窒素軽減に貢献したと推測される。

以上のことから、有機質資材埋設1年目は、麦かんで有機物の窒素の取り込みによる硝酸性窒素の軽減効果が期待でき、バーク堆肥系列では窒素の取り込みに加え、作物による吸収量増加により硝酸性窒素を軽減させ得ることが示唆された。下層への有機質資材埋設が作物の窒素吸収量および硝酸性窒素溶脱に及ぼす影響を表II-3-17に整理した。

下層への適切な有機質資材埋設は、作物の生育量を増大させ、収量の増加と硝酸性窒素汚染の防止を両立させる可能性が示唆された。今後は作物の生育量増加の要因や圃場への有機質資材の埋設方法、有効な有機質資材の特性などについて検討する必要がある。

表II-3-17 有機質資材埋設が作物の窒素吸収量および硝酸性窒素溶脱に及ぼす影響

埋設有機物	C/N比	埋設量 t/10a	窒素吸収量および 乾物生産量		期待される硝酸性窒素濃度 軽減効果	
			埋設1年目	埋設2年目	埋設年数	要因
麦かん	124	1～2	減	同等～増	埋設1年目 のみ軽減	有機質資材による窒素の取 り込み
バーク堆肥	21	4～8	増	増	埋設から3年程度 まで軽減	作物による窒素吸収量増加

*埋設深度：30cm

(5) 要約

- ① C/N比が大きく異なる2種類の有機物を下層へ埋設し、硝酸性窒素溶脱に及ぼす影響を検討したところ、C/N比が124の麦かんを下層へ埋設することにより、埋設1年目は硝酸性窒素の軽減効果が得られたが、埋設2年目以降は認められなかった。また、埋設1年目は作物の収量が低下した。主な軽減要因は有機質資材による窒素の取り込みによるものと考えられた。
- ② C/N比が21のバーク堆肥では埋設年数の経過により軽減効果は低下するが、埋設3年目まで軽減効果が得られた。また、埋設2年目までは作物の収量は増加した。主な軽減要因は作物による窒素吸収量増加によるものと考えられた。

3) 引用文献

- (1) 株式会社レアックス. “Surfur ユーザーズガイド 日本語概要版” p1-96. (2000)
- (2) 日本ペドロジー学会編. “土壌調査ハンドブック (改訂版)”. 博友社. P91. (1997)
- (3) 木方展治, 生駒泰基, 今園支和. “土壌下層への有機物埋設による硝酸性窒素溶脱低減効果”. 九州農業研究. 第60号. p63. (1998)

(濱村美由紀)