

緑肥作物を使った減肥栽培：持続可能な農業の実践

1. はじめに

近年、持続可能な農業の実現に向けて、化学肥料の使用を削減する取り組みが世界中で進められています。日本においても、農業分野での化学肥料使用量削減は重要な課題となっており、みどりの食料システム戦略では2050年までに化学肥料の使用量を30%低減することを目標に掲げています。また、肥料・資材価格の高騰も相まって、地力向上や減肥を目的とした緑肥作物の利用がますます注目されると考えられます。これまで当社では、緑肥作物を利用することで主作物の収量が増加する試験結果を得ていました。今回は新たに、緑肥作物による減肥試験を行い、持続可能な農業実践に向けた重要な知見を得られましたので、本稿で詳しく紹介します。

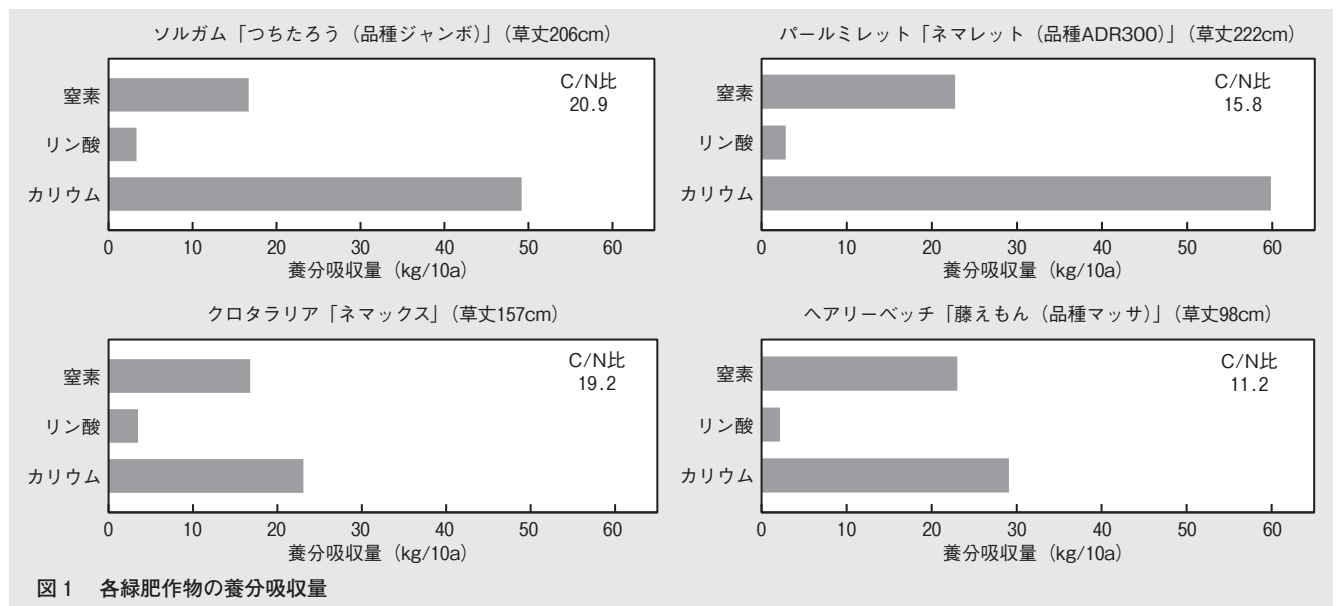
2. 緑肥作物の減肥効果について

緑肥作物はすき込むことで緑肥作物から溶出する養分を次作物が利用することで減肥が期待できます。本項では減肥に関わる緑肥作物が含む養分、

C/N比、後作物の利用率、実践的な手法について解説します。

(1) 緑肥作物による養分の供給

緑肥作物は窒素、カリウムの吸収量が多く（図1）、これらの養分を次作物へ供給することが期待できます。特にマメ科緑肥は根粒菌と共生し、空気中の窒素をアンモニアに変換し養分として利用するため、次作物に窒素を供給することができます。その他のイネ科などの緑肥作物については、マメ科緑肥と作用機作は異なり窒素固定は行いませんが、土壌中から吸収した養分を含む緑肥作物をすき込むことで、再び作土層へ供給することができます。特にソルガムなどイネ科緑肥は窒素やカリウムの吸収量が多いことが特徴です。緑肥作物によるリン酸の吸収量は窒素やカリウムと比べて少なく、直接的にリン酸を供給できる量は少ないですが、すき込み後にリン溶解菌が増加することや、フォスファターゼ活性の向上などにより次作物が利用可能な形態に変換することが知られています。



(2) C/N比と肥効

C/N比とは有機物中の窒素含有率に対する炭素含有率の比で、土壤中における分解のしやすさの指標とすることができます。減肥効果を期待する場合は緑肥作物のC/N比を考慮して、すき込みのタイミングを決定する必要があります。緑肥作物のC/N比の目安を表1に示しました。一般にC/N比が小さく20以下では無機態窒素の放出が行われ、20以上では土壤中に窒素の固定が行われることが多いとされています。マメ科緑肥のC/N比は20以下と低く、無機態窒素に変換されやすいため後作物が利用しやすい利点があります。ただし、無機態窒素の一つである硝酸態窒素は水溶性であり降雨で流亡しやすいため、長期間の肥効は期待できないということが懸念点です。イネ科緑肥の場合は、出穂前のC/N比が低い状態ですき込みを実施したときに後作物の減肥が期待でき、マメ科緑肥と比べるとC/N比が高い傾向にあるため、分解は緩やかとなり長い肥効が期待できます。注意点として、出穂期以降（C/N比20以上）にすき込みを行うと窒素飢餓により一時的に後作物が利用できる窒素量が減少し、生育不良を引き起こすリスクが高まりますので、すき込みのタイミングが遅れないように注意してください。

(3) 緑肥作物の肥料吸収量と後作物の利用率

緑肥作物が吸収した養分は乾物収量（kg/10a）と養分含有率の積で算出することができます。正確な値を知るためには乾物収量を求める必要がありますが、実際の現場では乾物率を10%と仮定し、生収量から乾物収量を推定し、おおよその窒素吸収量を算出することができます。表1に養分含有率を示しました。養分含有率は草種、ステージ、土質などによって異なりますので目安としてください。

後作物の養分の利用について、緑肥作物から溶出した養分の全量が後作物に利用されるわけではありません。キャベツの窒素吸収量に占める緑肥作物由来窒素の割合でみると、ソルガム11.4%、ギニアグラス8.9%、クロタラリア31.1%、セスバニア17.5%と報告されています¹⁾。また、水稻においては緑肥作物由来の窒素の水稻利用率はシロクローバー26.1%、レンゲ31.8%、ヘアリーベッチ17.8%、クリムソンクローバー15.7%、エンバク14.4%、ライムギ25.1%、イタリアンライグラス30.0%、ハゼリソウ23.4%、シロカラシ27.8%となったと報告されています²⁾。ゆえに、後作物に施肥する際には緑肥作物が含む全窒素の8.9～31.8%程度の窒素を減肥することが目安になります。

ヘアリーベッチの例では、開花前後の乾物収量は300～600kg/10a、窒素含有率は4.0%ですので、ヘアリーベッチの窒素吸収量は12～24kg/10aと算出できます。後作物の利用率を20%と仮定すると窒素の減肥可能量は2.4～4.8kg/10aということがわかります。

(4) 実際の緑肥作物による減肥栽培

上記のように緑肥作物の窒素吸収量と後作物への利用率を考慮して、減肥量を算出できますが、初めて緑肥作物による減肥を行う場合は1～3割程度の減肥から始めることをおすすめします。地温や降雨などの条件の違いにより緑肥作物による肥効に不安定さがあること、緑肥作物から放出される窒素は化学肥料と比べて緩効性であるため、初期生育のための肥料分が必要であることが理由です。なお、マメ科緑肥などC/N比の低い緑肥作物をすき込んだ場合は、後作物の生育後期に肥効が切れる可能性があります。そのような場合は、追肥を行ってください。

表1 主な緑肥作物のC/N比と特徴

草種（ステージ）	C/N比	分解の難易	施用効果		地上部収量		養分含有率（乾物あたり%）			
			肥料効果	土づくり効果	生収量（kg/10a）	乾物収量（kg/10a）	窒素	リン酸	カリウム	炭素
ソルガム（出穂期）	30以上	難	小	大	3,500～5,500	700～1,000	1.4	0.4*	4.7*	44
パールミレット（出穂期）	25以下	中～難	小	大	4,500～7,000	750～1,050	1.8	0.2	4.5	41
ライムギ（出穂期）	20前後	中～難	小	大	4,500～6,000	900～1,200	2.5	0.3	3.6	44
クロタラリア（開花前）	20以下	中	中～大	中	3,000～5,000	300～1,500	3.3	0.2	4.2	45
ソルガム（出穂前）	18～23	中	中	中～大	3,000～5,000	350～550	2.1	0.2	4.3	43
パールミレット（出穂前）	14～17	中	中～大	中	2,000～3,500	300～450	2.5	0.3	6.8	39
クローバ（開花期）	12～15	易	大	小	2,000～4,000	300～600	3.0	0.3	4.7	45
ライムギ（出穂前）	10～15	易	大	小	4,000～6,000	400～600	4.0	0.4	6.0	42
ヘアリーベッチ（開花前後）	10～12	易	大	小	3,000～6,000	300～600	4.0	0.5	6.0	43

*緑肥利用マニュアルのデータを引用して計算

3. 緑肥作物による減肥事例（都府県）

（1）「ネマレット」によるキャベツの減肥試験

キャベツは全国で栽培される野菜の中で2番目に栽培面積の大きい作物で、令和5年度には33,700haが作付けされています。都府県における冬獲りの作型の栽培面積は14,656haであり、都府県の40%以上を占めていて重要な作型の一つとなっています（令和5年農林水産省、「作物統計」）。

そこで、当社の千葉研究農場（千葉県千葉市）にて夏播き緑肥作物であるパールミレット「ネマレット」を前作として栽培し、後作の冬獲りキャベツの施肥量を減少させることができるのか試験を実施しました。

「ネマレット」（写真1、表2）は草丈が2m程度まで生育し、土壤中に多量の有機物を投入できるため、土づくり効果が高い緑肥作物です。見た目はソルガムに似ていますが、茎葉は柔らかく、すき込み作業がしやすい特徴を持ちます。C/N比はソルガムより低く推移し、土壤中での分解が早いです。また、キタネグサレセンチュウおよびサツマイモネコブセンチュウ抑制効果を持ちます。酸性土壌でも健全に生育でき、土壌を選ばないため適応範囲が広いです。

本試験では「ネマレット」（播種量4kg/10a）を6月上旬に播種し、8月上旬に細断、すき込みを行い、約3週間腐熟させました。減肥を目的とする場合はすき込みのタイミングが重要です。腐熟期間が長すぎると緑肥作物由来の養分が流亡する量が多くなってしまいます。逆に、腐熟期間が短すぎると一時的に増えた緑肥作物の分解菌が後作物に立枯れや苗痛みを引き起こしてしまう恐れがあるため注意が必要です。夏場のイネ科であれば3～4週間、マメ科であれば2週間程度が目安になります。



写真1 ネマレットの草姿

表2 ネマレットの播種量および播種期

播種量	北海道	3～4 kg/10a (線虫対策の場合は4 kg/10a)	
	都府県	4 kg/10a	
播種期	露地		ハウス
	北海道	6月上旬～8月上旬 ※遅霜を避ける	6月上旬～8月上旬
	寒・高冷地	6月上旬～8月上旬	5～8月
	一般地	5月下旬～8月中旬	5～8月
	西南暖地	5月中旬～9月上旬	5～9月

キャベツ「彩里」を7月下旬に播種、8月下旬に定植を行いました。試験区は慣行区、基肥30%減肥区、基肥50%減肥区、基肥100%減肥区を設け、後作キャベツを栽培して収量を調査しました。追肥は2回にわけて、すべての区で窒素4kg/10aを施用しました。なお、本試験は2年間実施しました。「ネマレット」は十分な生育量が確保でき、2023、2024年の生重はそれぞれ5,458kg/10a、6,651kg/10aでした。（表4）。

キャベツの収量について、2023年はネマレット区

表3 「ネマレット」の減肥試験における緑肥作物播種量とキャベツへの施肥量

試験区		緑肥作物播種量 (kg/10a)	基肥 (kg/10a)	追肥 (kg/10a)	合計施肥量 (kg/10a)		
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O
無栽培区	慣行区	0	125.0	24	19.0	20.0	19.0
	基肥30%減肥区		87.5	24	14.5	14.0	14.5
	基肥50%減肥区		62.5	24	11.5	10.0	11.5
	基肥100%減肥区		0.0	24	4.0	0.0	4.0
ネマレット区	慣行区	4	125.0	24	19.0	20.0	19.0
	基肥30%減肥区		87.5	24	14.5	14.0	14.5
	基肥50%減肥区		62.5	24	11.5	10.0	11.5
	基肥100%減肥区		0.0	24	4.0	0.0	4.0

*元肥にはくみあいMMB燐加安A929（N：P：K＝12：16：12）、追肥にはNK化成（N：P：K＝17：0：17）を使用した

表4 すき込み時の「ネマレット」の収量、養分含量、養分吸収量

年	栽培日数 (日)	草高 (cm)	草丈 (cm)	生収量 (kg/10a)	乾物収量 (kg/10a)	乾物率 (%)	C/N比	地上部養分含量 (%)				地上部養分吸収量 (kg/10a)		
								炭素	窒素	リン酸	カリウム	窒素	リン酸	カリウム
2023	60	未調査	未調査	5,458	778	14.3	20.1	39.09	1.94	0.11	5.35	15.1	0.9	41.6
2024	56	194	224	6,651	793	11.9	29.8	42.55	1.43	0.27	5.62	11.3	2.1	44.6

播種日：2023年6月1日、2024年6月5日

調査、すき込み日：2023年7月31日、2024年7月31日

*2024年ネマレットは1反復で生育不良となり、窒素吸収量が低下したため、C/N比が高まった

が無栽培区の同等程度の結果でした（データ省略）。2024年は「ネマレット」基肥30%減肥区のキャベツの青果物重量が慣行区と同程度となり、基肥を30%減肥しても収量を維持することができました（図2）。「ネマレット」の窒素吸収量である11.3kg/10aの一部がキャベツへ供給されたことが増収の要因の一つだと考えられます。また、各年の緑肥作物播種前とすき込み後の土壌分析値を表5に示しました。無栽培区よりもネマレット区の全窒素量が増加している傾向にあり、すき込みによる地力の向上が確認できました。一方で50%以上の基肥を減らした場合、青果物重量が同等もしくは減収する

結果となりました。この理由は「ネマレット」のC/N比が30.1と高いことから未分解の残渣があり、基肥が少ないと微生物に取り込まれた窒素量が相対的に多くなり窒素飢餓を起こしたと推定されます。ゆえに、C/N比が高い緑肥作物をすき込む場合は、基肥を一定以上投入し、緑肥作物の分解およびキャベツの初期生育に十分な窒素を供給する必要があると考えられます。

2023年の試験ではキャベツの収量に差はありませんでしたが、緑肥作物を連用した2024年ではネマレット区のキャベツの青果物重量が無栽培区よりも増加しました。山本ら（2015）はクロタラリア連用

は場で土壌中可給態窒素量の増加が認められた³⁾と報告しており、本試験でも同様の理由で後作物が増収した可能性があります。

試験結果から、緑肥作物を栽培するにあたってかかる経費（種子代、肥料代、ガソリン代、人件費など）と収益（主作物の増収分）および経費削減額（減肥した分の肥料代）を概算しました。後作キャベツの試験では、「ネマレット」の基肥30%減肥区で、無栽培慣行区と比較して18,636円/10aの利益が生じると試算されました。

本試験は「ネマレット」とキャベツを組み合わせた試験でした

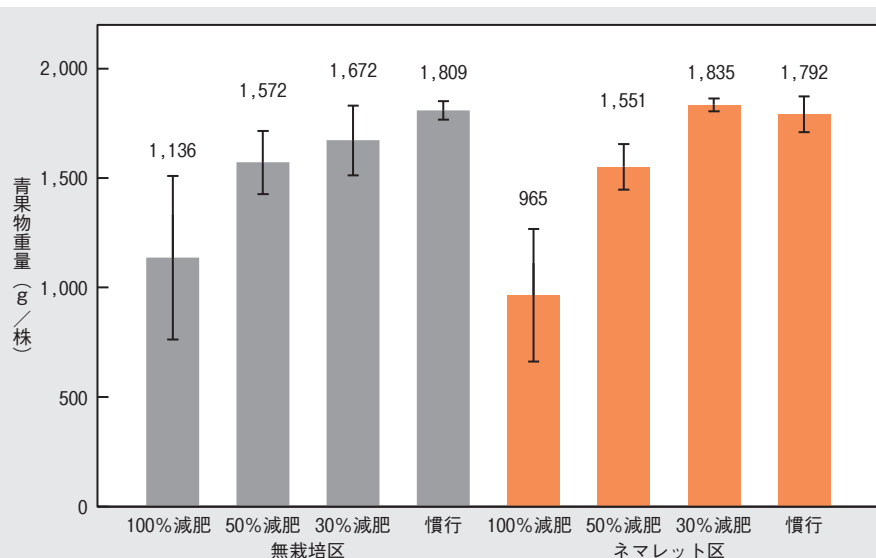
図2 ネマレットすき込み後の基肥施肥量ごとのキャベツの青果物重量（千葉市、2024）
エラーバーは標準誤差を示す

表5 緑肥作物播種前とすき込み後の土壌の分析値

年	土壌採取日	試験区	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	腐植 (%)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	有効態 リン酸 (mg/100g)	無機態 窒素 NH ₄ -N (mg/100g)	無機態 窒素 NO ₃ -N (mg/100g)	熱水抽出性 窒素 NH ₄ -N (mg/100g)	CEC (meq/100g)	CaO (mg/100g)	MgO (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)
2023	5月26日	緑肥作物 播種前	無栽培 6.5	0.13	10.4	6.0	0.55	12.9	1.38	1.00	4.27	58.5	656	110	95
		ネマレット	6.6	0.17	10.5	6.1	0.57	10.5	1.57	0.99	4.80	59.1	671	125	117
	8月29日	すき込み後	無栽培 6.2	0.15	10.0	5.8	0.55	6.6	1.33	5.07	4.34	57.2	617	119	102
		ネマレット	6.3	0.18	10.9	6.3	0.60	9.8	0.64	5.75	5.09	64.2	629	117	118
2024	6月3日	緑肥作物 播種前	無栽培 6.8	0.09	9.7	5.6	0.53	10.3	3.29	0.60	3.86	54.3	599	107	89
		ネマレット	6.7	0.10	10.3	6.0	0.54	23.1	1.72	0.85	4.87	54.8	606	101	90
	8月19日	すき込み後	無栽培 6.7	0.11	9.8	5.7	0.53	6.1	0.88	2.12	3.83	60.0	576	111	91
		ネマレット	6.7	0.13	10.5	6.1	0.56	8.0	0.77	2.46	4.80	57.0	574	105	108

が、ブロッコリー、ハクサイ、ダイコンなどのアブラナ科野菜を始め、秋冬で栽培される換金作物であれば減肥利用が期待できます。持続的な農業の実践や肥料高騰対策の一助になれば幸いです。

(2) ヘアリーベッチ後作のスイートコーンの減肥栽培

令和5年のスイートコーンの作付面積は20,900haであり、全国で栽培される野菜の中で6番目に面積が大きい野菜です。スイートコーンは多肥を好む特性があり、施肥量が多い作物であることから緑肥作物の栽培によって化学肥料の施用量を減らすことができれば環境保全とコスト削減につながる可能性があります。そこで、千葉県八街市でヘアリーベッチを栽培後のスイートコーンの減肥試験を実施したので紹介します。

ヘアリーベッチ「藤えもん」(播種量4kg/10a)を2016年3月12日に播種し、5月18日に細断、すき込みを行いました。その後、スイートコーン「ゴールドラッシュ90」を5月21日に播種し、8月5日に収量調査を行いました。栽植密度は3,333/10a(畝

間200cm、株間30cm、条間45cm(2条))とし、透明マルチを使用しました。慣行区、慣行20%減肥区、慣行50%減肥区とベッチ20%減肥区、ベッチ50%減肥区を設け、後作スイートコーンの収量、土壌中の無機態窒素、土壌硬度を調査しました。

すき込み直前の「藤えもん」の生重は2,130kg/10a、乾物重は248kg/10a、窒素含有率は5.2%となり、窒素吸収量は13kg/10aと算出されました。

スイートコーンの草丈と葉数には慣行区とベッチ区の違いに大きな差はありませんでした(データ省略)が、収量はベッチ減肥区の雌穂調整重が慣行区よりも5~7%増加する結果となり、化学肥料の20~50%の減肥の可能性があることを示しました(表6)。増収の要因として下記の二つが考えられます。一つ目として、ベッチ20%減肥区は慣行20%減肥区よりも収穫3週間前の無機態窒素量が多かったことです(図3)。収穫3週間前はスイートコーンの絹糸抽出期直後であり、追肥が推奨されている時期であることからベッチ由来の窒素がスイートコーンに供給され、増収したと考えられます。50%減肥区の土壌中の無機態窒素は収穫期以外ほとんど差が

表6 ヘアリーベッチのすき込みがスイートコーンの収量および品質に及ぼす影響(八街市、2016年)

試験区	雌穂調整重 ^{*1}		等級別割合 ^{*2}				雌穂長 (cm)	先端不稔長 (cm)	雌穂径 (mm)	糖度 ^{*3} (%)
	g/本	対比	2L %	L %	M %	規格外 %				
慣行区	380	100	46.7	46.7	6.7	0.0	21	0.2	44	16.0
慣行20%減肥区	389	102	60.0	26.7	6.7	6.7	21	0.1	45	15.6
慣行50%減肥区	381	100	51.1	37.8	11.1	0.0	21	0.0	45	16.3
ベッチ20%減肥区	398	105	73.3	20.0	6.7	0.0	21	0.1	45	15.5
ベッチ50%減肥区	405	107	66.7	33.3	0.0	0.0	21	0.0	44	15.1

*1: 包皮、軸を残した状態

*2: 2L≥380g、380>L≥320、320>M≥250、250>規格外

*3: 子実20粒の搾汁液をBrix糖度計(アタゴ社製PAL-1)で測定。値は5反復の平均値

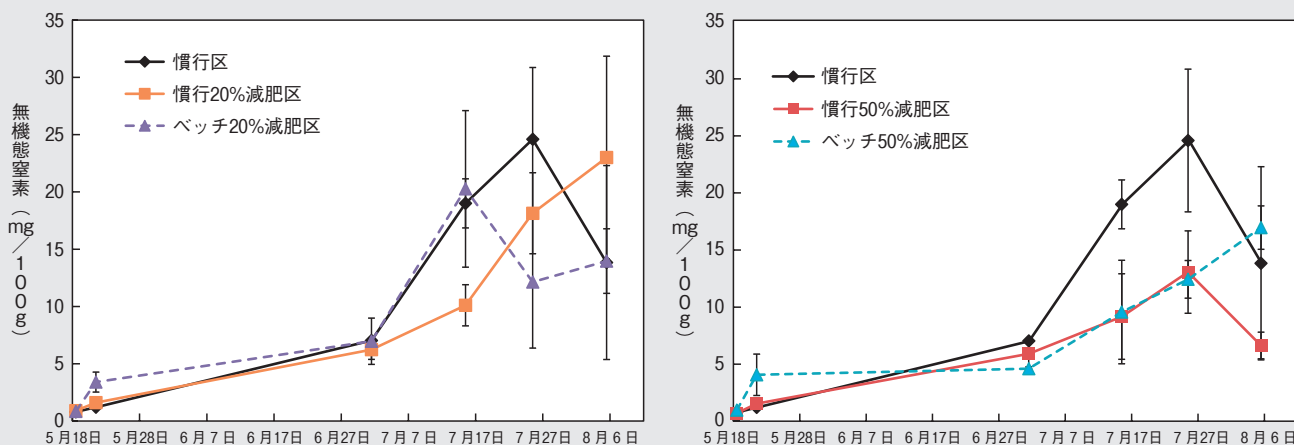


図3 スイートコーン栽培期間中の土壌中の無機態窒素の推移(八街市、2016年)
エラーバーは標準誤差を示す。値は3反復の平均値

なく、今回調査した項目以外の理由で増収したと考えられました。

二つ目として、ベッチ栽培により土壌硬度が変化することが考えられます。慣行区は除草のため定期的にロータリーをかけていたことからスイートコーン播種時の硬度は慣行区の方が低くなりましたが、スイートコーン収穫時のベッチ区は慣行区よりも20cm以下の層で土壌硬度が低下していたことがわかりました（図4）。ベッチ栽培により土壌が柔らかくなり、スイートコーンの根域が広がったことが増収につながった可能性があります。

試験結果から、緑肥作物を栽培するにあたってかかる経費（種子代、肥料代、ガソリン代、人件費など）と収益（主作物の増収分）および経費削減額（減肥した分の肥料代）を概算しました。後作スイートコーンの試験では、「藤えもん」の20%減肥区で77,479円の利益が生じると試算されました。

なお本試験は戦略的プロジェクト研究推進事業「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（15653449）」の支援を受けて実施しました。

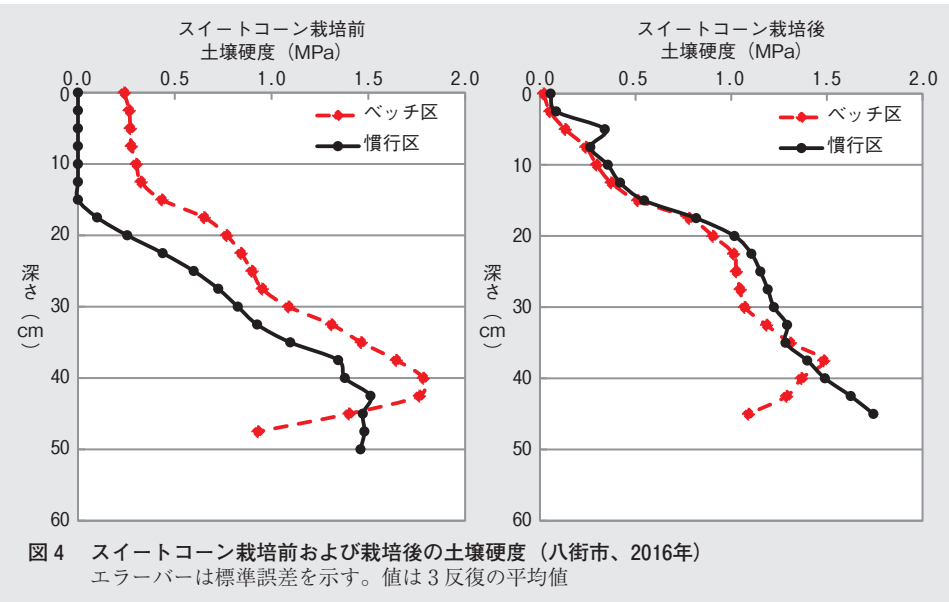


図4 スイートコーン栽培前および栽培後の土壌硬度（八街市、2016年）
エラーバーは標準誤差を示す。値は3反復の平均値

4. 緑肥作物による減肥事例（北海道）

(1) 休閒緑肥作物利用による後作コムギの減肥

北海道におけるコムギ（子実用）の栽培面積は132,300haで、その収穫量は719,400tです（令和5年、農林水産省「作物統計」）。コムギ栽培で減肥が可能であれば、環境保全とコスト削減の両方に大きなメリットがあります。

ここでは、当社北海道研究農場（夕張郡長沼町）における試験事例をご報告します。本試験では、クリムソクローバ「くれない」、ヒマワリ「NS クルナ」、ソルガム「つちたろう」を休閒利用した区と無栽培区を設けました。硫安を20kg/10a施肥し、2023年5月19日に上記緑肥作物を播種、2023年8月3日にすき込みました。さらに、各処理区の施肥量を慣行区、20%減肥区、30%減肥区に分け、後作のコムギの収量性を比較しました。コムギの品種は「きたほなみ」で2023年9月26日に播種し、2024年4月22日に収穫しました。コムギの慣行区は、基肥をN-P-K=4.0-15.0-10.0kg/10a、追肥を窒素のみ4.0kg/10a施肥しました。また本試験の緑肥作物栽培前（初期）の土壌の分析値を表7に示しました。

各緑肥作物の生育量について、「くれない」は同じマメ科のヘアリーベッチの道内休閒利用における乾物収量の目安（150～300kg/10a：「北海道緑肥作物等栽培利用指針」より）よりも多く、「NS クルナ」はヒマワリの道内休閒利用における乾物収量の目安（500～1,300kg/10a：「北海道緑肥作物等栽培利用指針」より）と同等で、十分な生育量を確保しました（表8）。「つちたろ

表7 緑肥作物栽培前（初期）土壌の分析値（夕張郡長沼町、2023年）								
処理区	腐植 %	全炭素 %	全窒素 %	pH (H ₂ O)	有効態リン酸 mg/100g	NH ₄ -N mg/100g	NO ₃ -N mg/100g	K ₂ O mg/100g
無栽培	9.0	5.2	0.40	5.9	10.2	4.0	2.7	21.5
くれない	8.7	5.0	0.39	5.8	12.2	3.3	3.1	19.2
NS クルナ	9.5	5.5	0.42	5.7	14.8	4.1	4.0	26.2
つちたろう	9.1	5.3	0.40	5.8	10.5	3.9	3.1	23.2

緑肥作物播種前：2023年5月18日
値は3反復の平均値

う」はソルガムの道内休閒利用における乾物収量の目安（800～1,400kg/10a：「北海道緑肥作物等栽培利用指針」より）より低収でした。

後作コムギの子実収量について、bonferroni法を用いて統計処理を行った結果、慣行区は30%減肥区と比較して5%水準で有意に多収となりました。この要因は、慣行区は減肥区と比較して1%水準で茎数が多く、他の収量構成要素には有意差がないことから、茎数の差によるものと考えられます（データ省略）。

減肥によるコムギの子実収量の影響について、無栽培の場合は慣行区と比較して20%減肥区と30%減肥区は低収になり、減肥によって子実収量が低下していることが確認されました。「くれない」栽培区では、無栽培慣行区と比較して慣行区と20%減肥区は同等でした。30%減肥区はやや低収となり減肥の

表8 休閒利用した各緑肥作物の収量性（夕張郡長沼町、2023年）

供試商品	播種量 kg/10a	草丈 cm	生収量 kg/10a	乾物収量 kg/10a	乾物率 %
くれない	2	62	2,823	643	22.7
NS クルナ	1	151	6,310	929	14.7
つちたろう	5	154	3,929	661	16.8

播種日：2023年5月19日
収量調査日：2023年8月3日
施肥量：硫酸20kg/10a
値は3反復の平均値

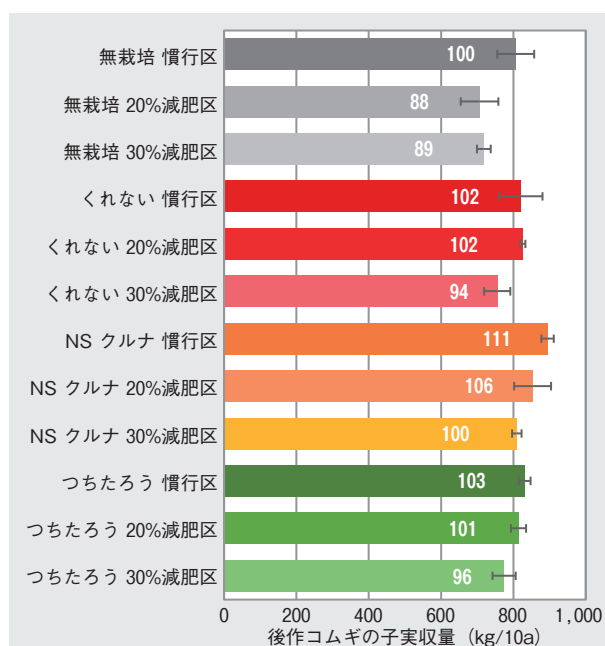


図5 各処理区の後作コムギの子実収量（夕張郡長沼町、2024年）
数字は無栽培区慣行施肥量を100としたときの値。値は3反復の平均値

影響は受けましたが、無栽培区の30%減肥区より収量は高くなりました。「NS クルナ」栽培区では、無栽培慣行区と比較して慣行区は多収となり、20%減肥区はやや多収、30%減肥区は同等であり、減肥をしても収量を維持できるだけでなく、増収することも確認されました。「つちたろう」栽培区では、無栽培慣行区と比較して全ての施肥区で無栽培慣行区と同等の収量を確保できました。

この結果から、「くれない」栽培区では20%減肥までであれば、後作コムギの収量を維持できることが確認されました。「NS クルナ」と「つちたろう」栽培区では30%減肥まで可能であり、「NS クルナ」については、20%減肥までであれば増収することも確認できました（図5）。

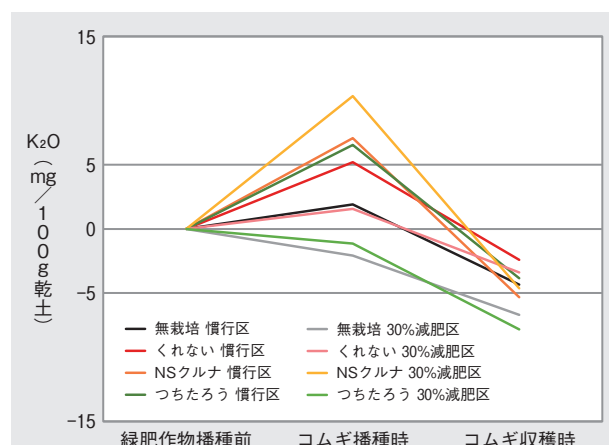


図6 各段階のK₂O値（夕張郡長沼町、2023年）

緑肥作物播種前の値との差を示す。緑肥作物栽培前：2023年5月18日、コムギ播種時2023年9月26日、コムギ収穫時：2024年7月19日。値は3反復の平均値

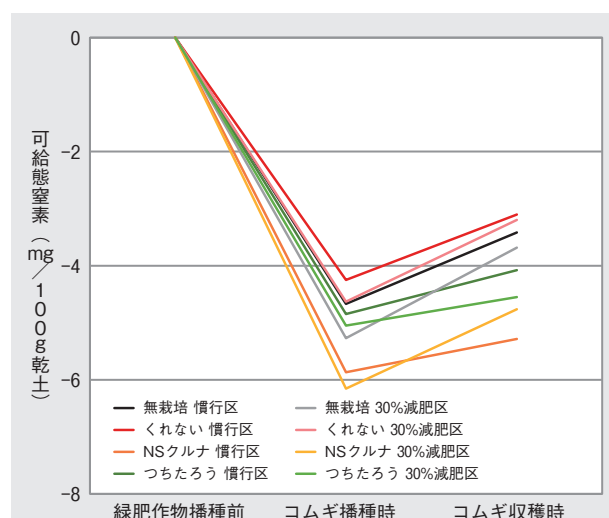


図7 各段階の可給態窒素の値（夕張郡長沼町、2023年）

可給態窒素はNH₄-NとNO₃-Nの合計値。緑肥作物播種前の値との差を示す。緑肥作物栽培前：2023年5月18日、コムギ播種時2023年9月26日、コムギ収穫時：2024年7月19日。値は3反復の平均値

さらに、緑肥作物播種前、コムギ播種時（施肥前）、コムギ収穫時の土壌を分析し、カリウムと可給態窒素の変化を確認しました（図6、図7）。カリウムについては、緑肥作物を栽培した区では「つちたろう」の30%減肥区以外はコムギ播種時に増加し、コムギ収穫時には再び減少しました。これは、緑肥作物の根が土壌の奥深くからカリウムを吸収し、すき込まれて分解されることで作土層にカリウムが増えたと考えられます。特に緑肥作物の乾物収量が最も多かった「NS クルナ」は、コムギ播種時のカリウムの値が高くなりました。「NS クルナ」のカリウムの吸収量が多かったため、すき込み後のカリウムが増えたと考えられます。可給態窒素の変動については、全ての処理区で緑肥作物播種前よりコムギ播種時の値が低くなりました。緑肥作物播種時に施用した硫安や土壌に元々含まれていた可給態窒素は、緑肥作物の分解や溶脱によって減少したと考えられます。特に乾物収量が最も高かった「NS クルナ」は大きく減少し、分解に窒素が多く使われたと推測されます。コムギ収穫時には増加傾向が見られましたが、これはコムギ播種時の施肥によるものと考えられます。カリウムと可給態窒素、および他の養分（データ省略）のみではコムギの収量性に与える要因を説明することはできないため、土壌物理性や生物的な変化も緑肥作物栽培区の子実収量の増加に寄与していると考えられます。

試験結果から、緑肥作物を栽培するにあたってかかる経費（種子代、肥料代、ガソリン代、人件費など）と収益（主作物の増収分）および経費削減額（減肥した分の肥料代）を概算しました。後作コムギの試験では、「NS クルナ」の慣行施肥区と20%減肥区で、無栽培慣行区と比較して約2,000円～6,000円/10aの利益になると試算されました。

（2）後作緑肥作物利用による後作ダイズの減肥

北海道におけるダイズの作付面積は43,200haで、その収穫量は108,900tです（令和4年、農林水

産省「作物統計」）。北海道の畑作は畑作4品と呼ばれるコムギ、テンサイ、バレイショ、豆類を輪作する体系が取り入れられています。この輪作体系に緑肥作物を取り入れる場合、畑の空くコムギの収穫後に夏播きの緑肥作物を栽培することが取り組みやすいです。本試験では、コムギ後作緑肥を想定し、アウエナ ストリゴサ「ヘイオーツ」、ヘアリーベッチ「藤えもん」、シロガラシ「キカラシ（品種メテックス）」を夏播きした翌年のダイズの収量に対する影響を比較しました。

緑肥作物には硫安を20kg/10a施肥し、2023年8月25日に播種、2023年10月30日にすき込みました。さらに、各処理区の施肥量を慣行区、20%減肥区、30%減肥区に分け、後作のダイズの収量を比較しました。ダイズの品種は「ユキホマレ」で2024年5月24日に播種し、2024年9月30日に収穫しました。ダイズの慣行区は、N-P-K=2.0-14.7-10.0kg/10a施肥しました。また本試験の緑肥作物栽培前（初期）の土壌の分析値を表9に示します。

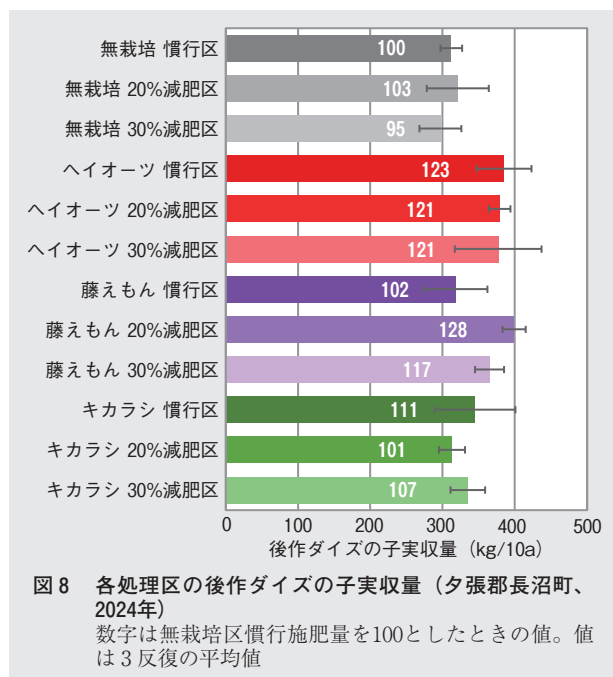
各緑肥作物の生育量について、「ヘイオーツ」はアウエナ ストリゴサの道内後作利用における乾物収量の目安（400～600kg/10a：「北海道緑肥作物等栽培利用指針」より）、「藤えもん」はヘアリーベッチの道内後作利用における乾物収量の目安（150～300kg/10a：「北海道緑肥作物等栽培利用指針」より）、「キカラシ」はシロガラシの道内後作利用にお

表10 夏播き利用した各緑肥作物の収量性（夕張郡長沼町、2023年）					
供試商品	播種量 (kg/10a)	草丈 (cm)	生収量 (kg/10a)	乾物収量 (kg/10a)	乾物率 (%)
ヘイオーツ	10	100	3,119	469	15.1
藤えもん	5	67	1,786	228	13.2
キカラシ	2	111	2,748	390	14.1
播種日：2023年8月25日 収量調査日：2023年10月30日 施肥量：硫安20kg/10a 値は3反復の平均値					

表9 緑肥作物栽培前（初期）土壌の分析値（夕張郡長沼町、2023年）								
処理区	腐植 (%)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	pH (H ₂ O)	有効態リン酸 (mg/100g)	NH ₄ -N (mg/100g)	NO ₃ -N (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)
無栽培	8.4	4.9	0.37	5.5	25.2	0.4	2.9	17.4
ヘイオーツ	9.3	5.4	0.44	5.2	24.2	0.6	3.0	16.2
藤えもん	9.0	5.2	0.40	5.4	27.5	0.6	2.7	18.1
キカラシ	8.9	5.2	0.41	5.2	25.0	0.4	2.7	18.1
緑肥作物播種前：2023年8月25日 値は3反復の平均値								



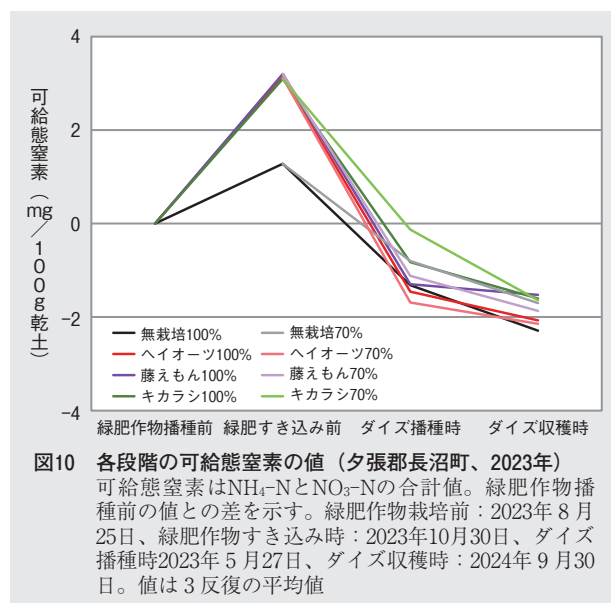
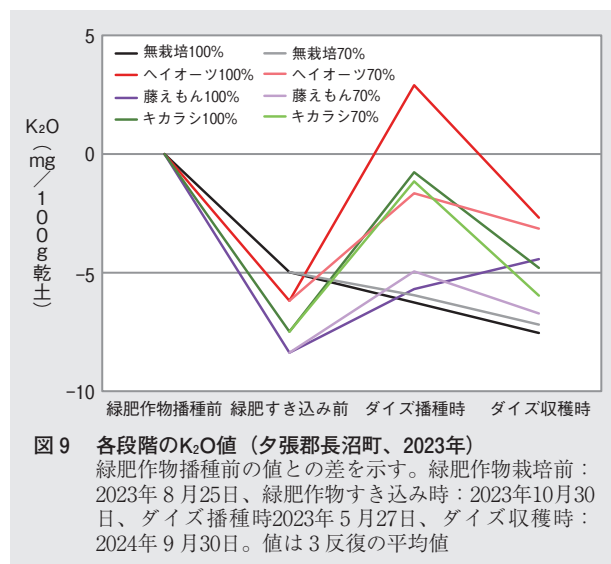
写真2 無栽培区と各緑肥作物の生育の様子（左から無栽培区、ヘイオーツ区、藤えもん区、キカラシ区）



ける乾物収量の目安（350～550kg/10a：「北海道緑肥作物等栽培利用指針」より）と同等で、十分な生育量を確保しました（表10、写真2）。

後作ダイズの子実収量について、bonferroni法を用いて統計処理を行った結果、施肥量において有意差はありませんでした。処理区においては、無栽培区とヘイオーツ区の間に5%水準で有意な差がありました（データ省略）。

減肥によるダイズの子実収量の影響について、無栽培の場合は慣行区と比較して30%減肥区は低収になりました（図8）。「ヘイオーツ」栽培区では、すべての施肥量で無栽培慣行区と比較して多収となり、30%までは減肥をしても増収することが確認されました。「藤えもん」栽培区では、無栽培慣行区と比較して慣行区は同等で、減肥区では増収することも確認されました。「キカラシ」栽培区では、無栽培慣行区と比較して慣行区と30%減肥区は多収で、20%減肥区は同等になりました。無栽培区では減肥の影響があまり見られず、減肥による影響が分



かりにくい試験結果となりました。しかし、緑肥作物栽培区では減肥量に関わらず無栽培慣行区と同等かそれ以上の収量が得られました。これにより、緑肥作物栽培がダイズの収量を同等以上にすることが確認されました。

そこで、緑肥作物播種前とすき込み前、ダイズ播種時（施肥前）にダイズ収穫時の土壌を分析し、カ

リウムと可給態窒素の変化を確認しました（図9、10）。カリウムについては、全ての処理区で緑肥作物播種から緑肥作物すき込み前にかけて減少しました。緑肥作物栽培区は無栽培区より大きく減少しており、緑肥作物が土壌中のカリウムを吸収したためと考えられます。無栽培区ではダイズ播種時からダイズ収穫時にかけて徐々にカリウムが減少しました。これはダイズがカリウムを取り込んだことと、土壌から溶脱したためと考えられます。一方、緑肥作物栽培区ではダイズ播種時に増加し、ダイズ収穫時に再び減少しました。これは、緑肥作物の根が土壌深くからカリウムを吸い上げ、すき込まれて分解されることで作土層のカリウムが増えたと考えられます。特に乾物収量が高かった「ヘイオーツ」と「キカラシ」はダイズ播種時の値が高く、カリウムの吸収量も多かったと予想されます。ダイズ収穫時には再び減少しましたが、緑肥作物栽培区の方が無栽培区よりも値が高くなりました。

可給態窒素については、緑肥作物すき込み前の無栽培区の値が緑肥作物栽培区と比べて低くなりました。これは、緑肥作物播種時に施肥した硫酸によるものと考えられ、無栽培区でも増加している理由は地力によるものと考えられます。ダイズ収穫時には全ての処理区で減少し、無栽培区と緑肥作物栽培区の差が小さくなりました。無栽培区で減少している原因は土壌からの溶脱と考えられますが、緑肥作物栽培区では腐熟にも窒素が消費され、大きく減少したと考えられます。ダイズ収穫時には全処理区で減少傾向が見られました。ダイズ播種時の施肥により一時的に増加したはずですが、ダイズに吸収され、土壌からも溶脱したと考えられます。緑肥作物栽培区の方が無栽培区よりも減少が少ない傾向がありました。

今回の2つの試験結果から、植物に取り込まれやすく、土壌から溶脱しやすいカリウムは、1～2年の試験の間に変化が確認できましたが、土壌中でゆっくりと無機化される可給態窒素は、処理区間で差が見られにくい結果となりました。

試験結果から、緑肥作物を栽培するにあたってかかる経費（種子代、肥料代、ガソリン代、人件費など）と収益（主作物の増収分）および経費削減額

（減肥した分の肥料代）を概算しました。後作ダイズの試験では、「ヘイオーツ」の全ての区で約6,000円/10a、「藤えもん」の20%減肥区と30%減肥区で約9,000円～20,000円/10a、「キカラシ」の慣行区と30%減肥区において約4,000円/10aの利益になると試算されました。

5. おわりに

近年、農業・食品産業技術総合研究機構から「緑肥利用マニュアル」が発行され、「緑肥作物・カバークロップ導入ガイド」についても公開が開始されました。これらの情報により、日本全国における緑肥作物導入の取り組み事例や減肥利用の効果などが集約され、気軽に検索できるようになっています。当社でも、緑肥作物カタログを刷新し、全国各地での緑肥作物利用の事例も多く載せています。そちらも参考にいただければと思います。

緑肥作物の利用は、持続可能な農業の実現に向けた重要な手段の一つです。化学肥料の使用量削減や地力向上、さらにはコスト削減といった多くのメリットが期待できます。また、緑肥作物は土壌微生物の活動を活性化させ、土壌の物理性を向上させる効果もあります。これにより、土壌の保水性や通気性が改善され、作物の根の発育が促進されることが期待されます。

本稿で紹介した事例を参考に、皆様の農業現場でも緑肥作物の導入を検討してみてください。今後も新たな知見や技術が発展し、より効果的な緑肥作物利用が進むことを期待しています。

6. 参考文献

- 1) 浅木・上野「9種類の¹⁵N標識緑肥を施用した水田土壌における窒素動態の解明」『日本作物学会講演会要旨集』第222回日本作物学会講演会（2006）P2
- 2) 糟谷真宏「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」『愛知県農業総合試験場研究報告』39号（2007）P83-87
- 3) 山本拓ら「マメ科緑肥クロタリヤ（*Crotalaria juncea*）を利用したキャベツの窒素減肥」『愛知県農業総合試験場研究報告』51号（2019）P127-130