

### III 土壤リン酸の有効利用によるリン酸施肥削減技術

# 1. 土着菌根菌利用によるリン酸減肥技術

## 1) 背景

### (1) 菌根菌とは？

自然界の多くの植物は微生物と協力し合いながら生きています。このような関係を共生と呼びます。植物に共生する微生物でもっとも普遍的なものは植物の根に共生するアーバスキュラー菌根菌（以下AM菌と略します）と呼ばれるカビの仲間です（図1）。AM菌はほとんどの種類の植物の根に共生することができますが、例外的にAM菌と共生できない植物種も知ら

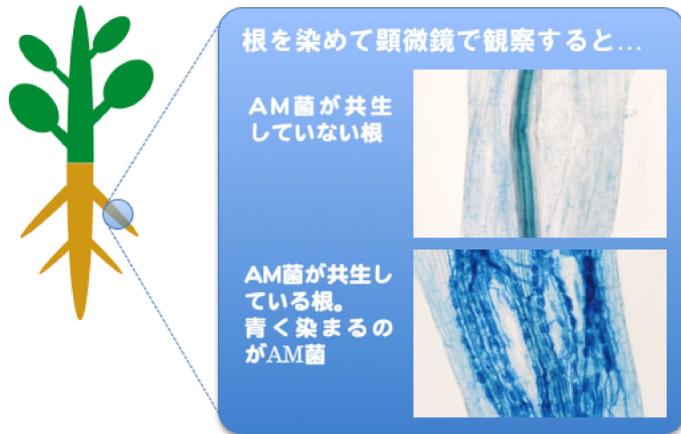


図1 植物の根に共生するアーバスキュラー菌根菌（きんこんきん、AM菌）

れています。AM菌と共生する植物を「宿主（しゅくしゅ）植物」、共生できない植物を「非宿主（ひしゅくしゅ）植物」と呼びます（表1）。

表1 AM菌の宿主と非宿主

		AM菌が共生する植物（宿主植物）	AM菌が共生しない植物（非宿主植物）
畑作物		小麦、大麦、ばれいしょ、大豆、小豆、菜豆、ひまわり	てんさい、そば、なたね
園芸作物	果菜	トマト、きゅうり、なす、かぼちゃ、スイートコーン、さやえんどう、さやいんげん、えだまめ	
	葉菜類	たまねぎ、ねぎ、食用ゆり、にんにく、にら、みつば、しゅんぎく、	はくさい、キャベツ、ほうれんそう、こまつな、みずな
	根菜類	にんじん、ごぼう、ながいも	だいこん、かぶ
	果実的野菜	すいか、メロン、いちご	
	洋菜類	ピーマン、レタス、セルリー、アスパラガス	カリフラワー、ブロッコリー
緑肥	イネ科	えん麦、えん麦野生種、ライ麦、とうもろこし、ソルガム、ギニアグラス、イタリアンライグラス、スーダングラス	
	マメ科	大豆、赤クローバ、クリムソクローバ、ヘアリーベッチ	ルーピン※1
	アブラナ科		シロカラシ、なたね
	その他	マリーゴールド、ねぎ、ひまわり、	ハゼリソウ

掲載した種を選択やその標記は「北海道施肥ガイド2010」および「北海道緑肥作物等栽培利用指針」に準拠

※1 マメ科の中でルーピンは例外的に非宿主なので特記した(北海道でもルーピンを緑肥利用した事例があるため)

### (2) AM菌のはたらき

AM菌は植物から光合成産物（糖）をもらう代わりに、根の外側に伸ばした菌糸（外生菌糸）によって土壌からリン酸などの養分や水を吸収し、共生している植物に運ぶ役割を持っています。リン酸は土の中の移動（拡散）速度が遅いため、植物が土壌中の養分を吸収する根の周囲には他と比べてリン酸の濃度が低い領域ができてしまいます。AM菌の菌糸はその領域の外側まで伸長して、根の届かない範囲のリン酸を吸収することができます。またAM菌の菌糸（直径0.01mm程度）は最も細い根（直径1mm程度）よりもさらに細いため土壌中の微細な隙間にあるリン酸を吸収することができます（図2）。このため、AM

菌の活躍が期待できる環境下では、AM菌がない場合と比べてリン酸などの養分吸収が促進され、初期生育の改善（図3）や収量向上、リン酸等の肥料節減（後述）が期待できます。また干ばつなどのストレスや病害虫に対する抵抗性も向上する、という研究報告もあります。

### （3）前作効果

AM菌は一般の微生物とは異なり「絶対共生菌」であるため、宿主植物がない条件では増殖することができません。AM菌は土壌中に大きな胞子を作ることによって増殖しますが、AM菌の宿主になるような植物がない環境では土壌中のAM菌密度が減少してしまい（図4、次ページ）、そのために後作物へのAM菌の共生割合が少なくなってしまうのです。様々な植物が生育している自然生態系ではそのような事はあまり起こらないのですが、同じ種類の作物が広い面積を占有する農業生態系では前の作物にどんなものを作ったかによってAM菌の活性が大きく変わってきます。つまり、宿主作物の栽培跡地ではAM菌密度の増加によって後に栽培する宿主作物の生育が促進されます（図5、次ページ）。これを前作効果と呼んでいます。

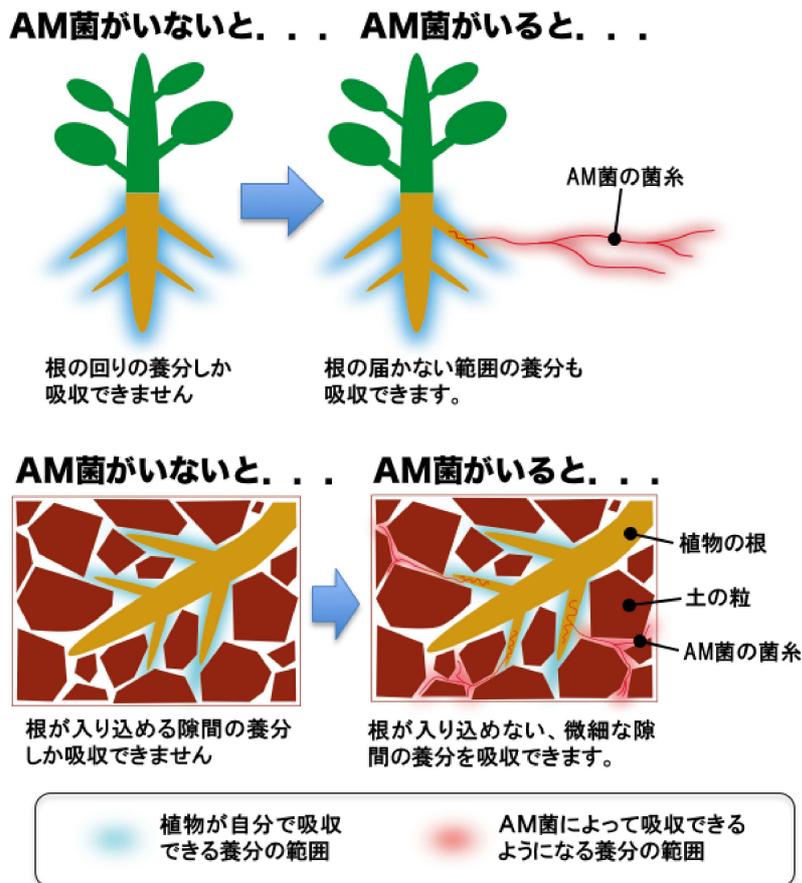


図2 AM菌のはたらき

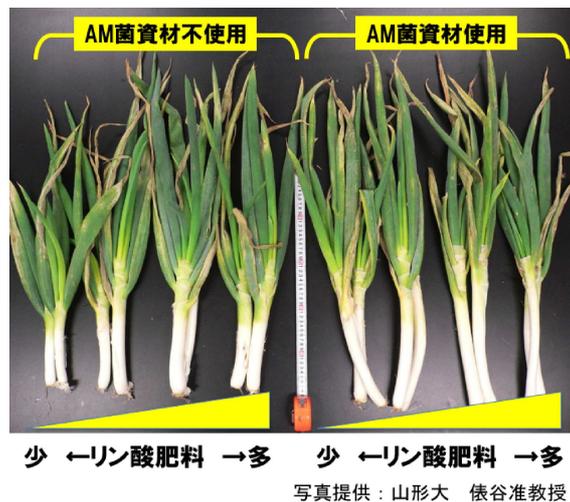


図3 AM菌資材を使用（右）または未使用（左）で栽培したネギ

#### (4) 前作効果を活用したリン酸減肥の可能性

作物の作付け順序はAM菌の前作効果だけを考慮して決めるわけには行きません。また、非宿主作物がAM菌を減らすからと言って、アブラナ科やアカザ科の作物を作らない、ということもできません。さらに、例えば大豆の栽培に前作効果を活用しようとしても、表1に示したようにほとんどの植物種はAM菌の宿主になりますので、現在の作付け順序ですでに大豆の前には宿主植物が作付けされているかも知れません。このような場合では前作効果をさらに活用する余地はないのでしょうか。

現在の施肥基準は前作効果の影響を考慮していません。つまり前作がどんな作物であっても一定の収量を確保する上で必要な施肥量が設定されています。逆に言えば、前作がどんな作物だったかを考慮すれば（前作効果の影響を考えれば）、現在必要と考えられている肥料の量を減らすことができる可能性があります。次ページからは前作効果を考慮することで、リン酸肥料をどの程度「節約」できるか、を具体例で解説します。

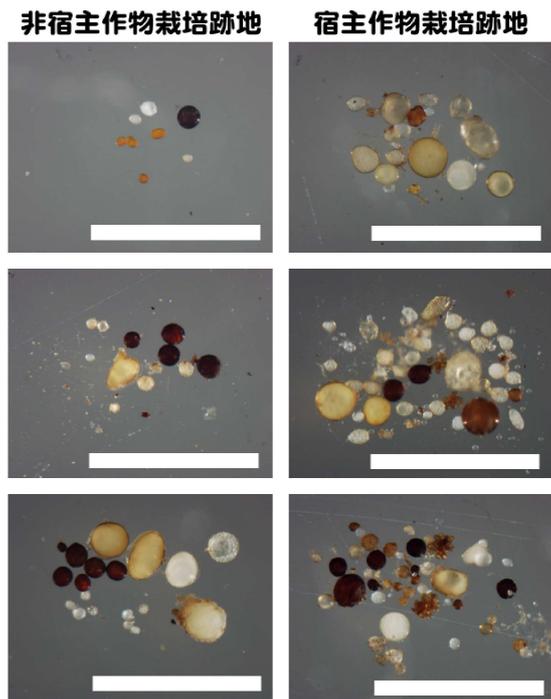


図4 土壌 10g から分離した AM 菌胞子  
同一圃場の3組のプロットから AM 菌胞子を回収した。左右に並んだ写真は対応するプロットの非宿主跡(左)および宿主跡(右)から回収した胞子。写真の右下の白い線は1mmの長さを示す。  
写真提供：畜産草地研究所 小島主任研究員

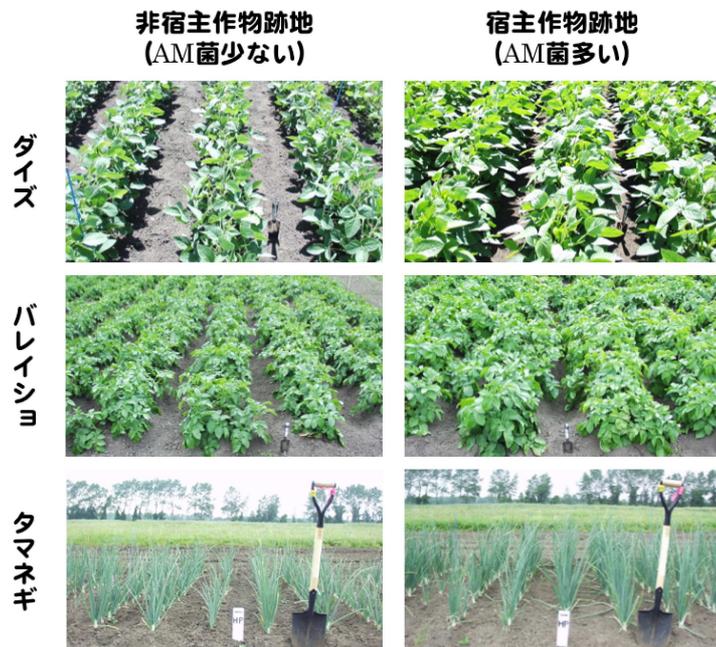


図5 様々な作物にあらわれる前作効果

前の年に異なる作物を作付けした後にダイズ、バレイショ、タマネギを栽培しました。(同じ作物はそれぞれ同じ条件で栽培しています) 宿主跡地では主にリン酸の吸収が促進されることで、初期の生育が改善します。

## 2) 土着菌根菌を活用した北海道におけるダイズのリン酸減肥

### (1) 前作の違いによるリン酸減肥可能量

図6は北海道農業研究所センター（札幌市）の精密圃場で2007-2008年および2011-2013年の5カ年にわたって実施したダイズのリン酸減肥試験結果です。この図からダイズ栽培では、どのようなリン酸施肥量であっても菌根菌（以下AM菌）宿主跡地の方が非宿主跡地よりも収量レベルが高いこと、AM菌非宿主の跡地では標準量から減肥するに従って収量は低下していくのに対し、AM菌宿主の跡地では3割減でも収量がほとんど変わらない事、7割減だと減収傾向となることが分かります。

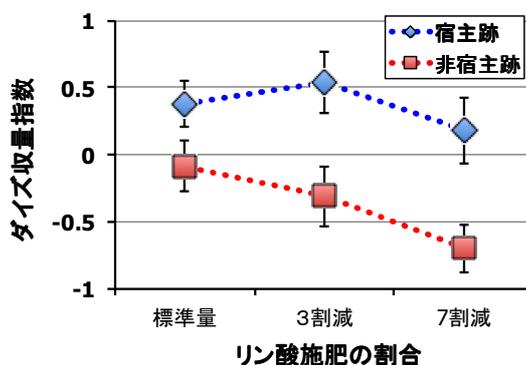


図6 ダイズ栽培におけるリン酸減肥と収量変化

ダイズ収量指数：複数年の試験結果について、各年の全データの平均が0、分散が1となるように標準化し、その標準化データを集計した

### (2) AM菌宿主跡でリン酸減肥が可能となる条件

図7はリン酸施肥を標準から3割削減した時の収量変化（0%は増減なし。正の数字は減肥区で収量が高かった例、負の数字は減肥区で収量が低かった例を示します）と減肥をしなかった時の収量レベルの関係です。必ずという訳ではありませんが、収量水準が高い時に1割以上収量が少なくなっている例が多くなっています。現在の施肥基準は標準収量（精選子実重で240~320kg/10a。精粒歩合を9割とすると粗収量では266~355kg/10aに相当します）を確保する事を前提にしています。収量レベルがこの範囲であればAM菌の機能を活用した減肥が可能ですが、それよりも大幅に多収な場合（それだけ必要な肥料も多くなると考えられます）は必ずしもそうではないことを示していると考えられます。

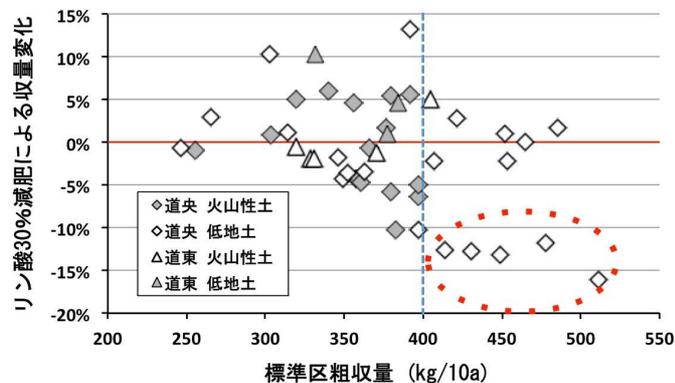


図7 収量水準と3割リン酸減肥による収量変化

赤の直線より下に離れるほど減収程度が大きい事を示します。収量水準が高い場合（青の点線より右）では減肥によって収量が標準区より1割以上低下する例（赤点線で丸囲み）が増えました。

図8はAM菌の感染率とリン酸5割減肥を行った時の初期生育量の関係です。先ほど、今回の試験ではリン酸5割減でも大きな減収はなかった事を述べましたが、AM菌の感染が低い場合は初期生育の低下が起こり、冷害年などでは減収につながる危険性が懸念されます。その他、土壌のリン酸濃度が低い場合も減肥は勧められません。以上のことを表2にまとめました。

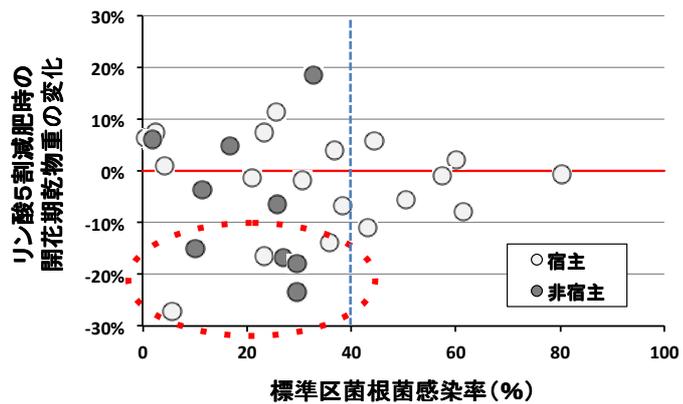


図8 5割リン酸減肥による開花期生育量の変化

赤の直線より下に離れるほど生育低下が大きい事を示します。感染率が低い場合（青の点線より左）では初期生育が著しく低下する例（赤の点線で丸囲み）が増加しました。

表2 AM菌を活用した北海道におけるダイズのリン酸減肥の適用基準

AM菌の宿主跡地ではダイズのリン酸施肥を現行基準から3割削減可能。ただし、

- ・ 土壌のリン酸レベルが低い場合（有効態リン酸が10mg/100g未満）
- ・ 非常に多収が想定される場合（粗収量で400kg/10aを越える）
- ・ その他、初期生育が確保できないなど、生育不良が懸念される地域では適用を除外する。

○ 宿主跡地でAM菌の活性が十分高い場合（開花期感染率40%以上）では5割減肥も可能な結果が得られていますが、AM菌活性の予測手段がないため、将来技術として位置づけています。

### （3）その他の環境条件などの影響

上述した「AM菌宿主跡ではリン酸施肥を3割以上削減可能」は北海道農業研究センターおよび北海道立総合研究機構（中央農業試験場、および十勝農業試験場）が道央・道東の異なる気候・土壌型の畑を用いて確認した結果です。現在のところ、この範囲であれば気候区分や土壌型によらず、宿主跡でのリン酸減肥は可能であると考えられます。

AM菌はカビの仲間なので、殺菌剤の影響などを心配される方がいらっしゃいますが、これまでのところ、非燻蒸タイプの殺線虫剤や殺菌剤などの薬剤を標準使用量で使用する場合にAM菌に顕著な悪影響が出た、という実験結果は得られておりません。また堆肥や作物残渣などの有機物を施用した条件でもAM菌の効果が期待できる事が確認されています。一方、リン酸肥料の多施肥により土壌のリンレベルが高くなっている場合はAM菌の感染は抑制される事が示されています。農薬も肥料も基準を守って使用する事が重要です。

### （4）リン酸減肥のコスト低減効果

肥料費は北海道における大豆生産費用の約1/7を占めます（平成24年度、図9）。肥料価格が高騰した平成21年度には費用合計の1/5近くにものぼることもありました。リン鉱石や塩化カリなどの肥料原料は世界的に資源の枯渇が懸念されており、現在の施肥のやり方を継続する以上、今後肥料代の占める割合は上昇こそしても、減少することは想定しにく

い情勢となっています。

また、大豆はリン酸の施肥量が他の成分に比べて多く、単肥で施用した場合の試算ではリン酸肥料のコストは肥料費全体の6割から7割を占めています(図10)。もしリン酸の施肥量を3割～5割削減できれば10aあたり1,620円から2,700円のコストを削減することができ、これは肥料費の約20～30%、費用合計の2.5%～4.2%に相当します。

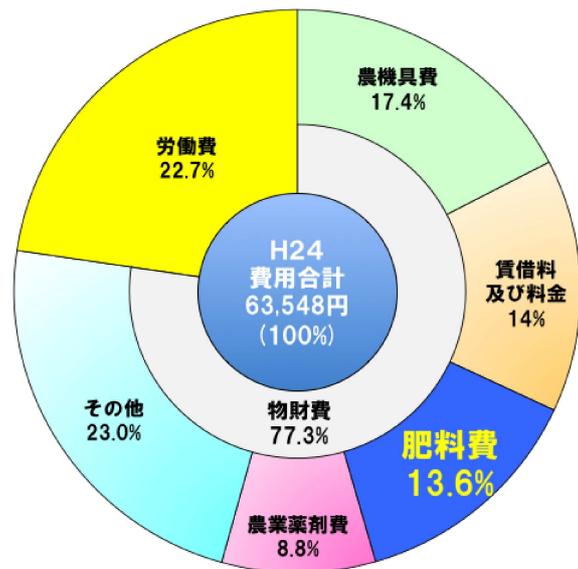


図9 大豆生産費の内訳(平成24年度)

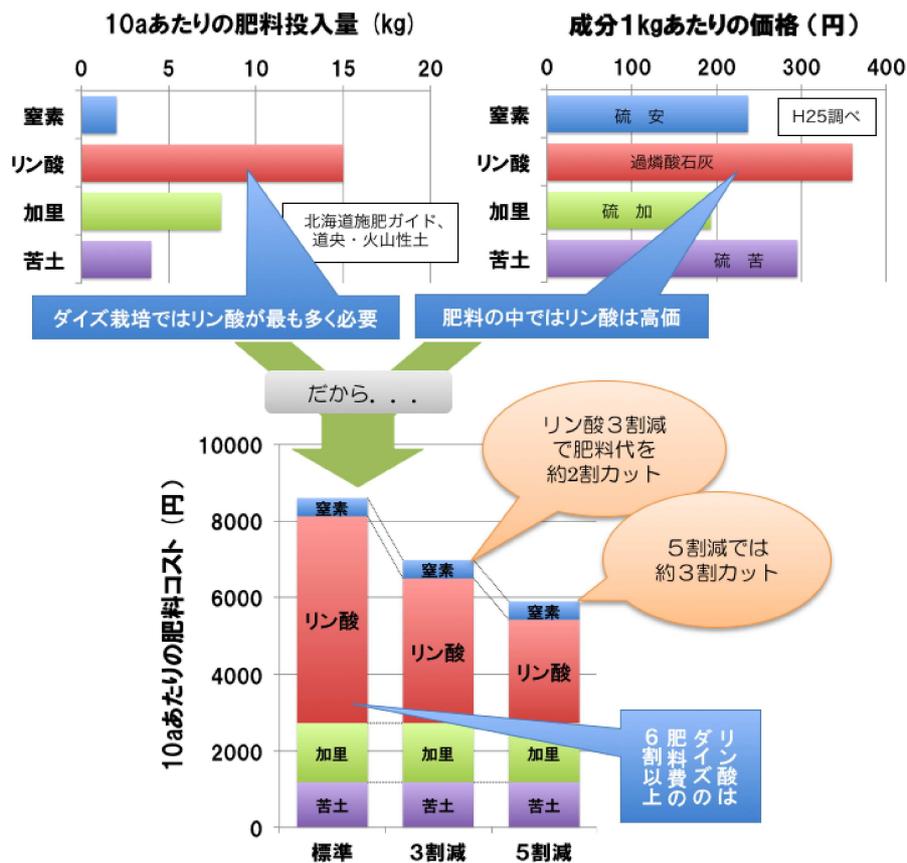


図10 リン酸減肥の生産コスト低減効果

### 3) 土着菌根菌を活用した飼料用トウモロコシのリン酸減肥栽培指針

現在、飼料用トウモロコシに対するリン酸施肥量は、土壤中の有効態リン酸含量に基づいた指針があります（表3）。

表3 飼料用トウモロコシにおけるリン酸施肥対応（現行基準、根釧地域の例）

有効態リン酸量（トルオーグ法） (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g)	基準値未満		基準値	基準値以上	
	～5	5～10	10～30	30～60	60～
施肥量 (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /10a)	30	24	20	16	10

#### (1) 飼料用トウモロコシに対する前作効果

ここでは、トウモロコシの作付け前年に、同じ畑を分割して非宿主作物（テンサイまたはシロガラシ）と宿主作物（飼料用トウモロコシ）を栽培して、菌根菌（以下AM菌）の前作効果を確認しました。



図11 シロガラシおよびトウモロコシ跡地におけるトウモロコシの初期生育  
(播種後約45日目の様子。施肥量は同量)

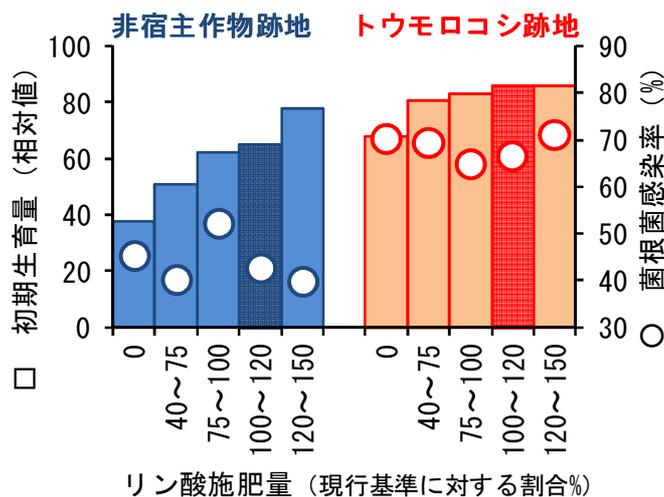


図12 前作物の異なるトウモロコシ畑における  
リン酸施肥量と初期生育量および菌根菌感染率の関係  
(初期生育量は圃場の最大値を100とした相対値)

図11のように、トウモロコシ跡地では、非宿主作物跡地よりも初期生育が明らかに旺盛でした。収穫期の収量を高めるためには、初期生育を十分に確保することが重要ですが、

リン酸施肥量を現行基準より少なくした条件でも、初期生育量は低下しませんでした（図12）。また、トウモロコシの根のAM菌感染率を調べると、トウモロコシ跡地では、非宿主跡地よりも高いことが確認されました（図12）。

3年間の試験から、飼料用トウモロコシの跡地（連作畑）では、AM菌が感染することによる前作効果が確認され、リン酸減肥の可能性が高まりました。

## （2）前作効果を左右する栽培条件

### （i）土壌型

土壌の種類は、施肥したリン酸の効果に大きな影響を与えますが、AM菌の前作効果にも影響を与えることが分かりました。

図13に示す土壌型の異なるトウモロコシ連作畑で、リン酸の施肥試験を行いました。その結果、黒ボク土の方が火山放出物未熟土よりもリン酸減肥の影響が小さい（=AM菌による前作効果が大きい）結果となりました（図14）。

	火山放出物未熟土	黒ボク土
有機物	少ない	多い
黒さ	淡い	濃い
土壌粒子の大きさ	大きい	小さい
リン酸固定力	強い	弱い

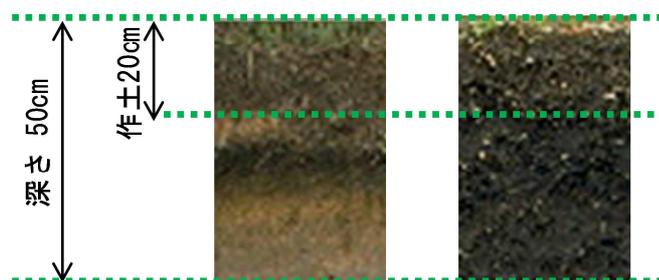


図13 各土壌型の断面と作土（20cm）の特徴

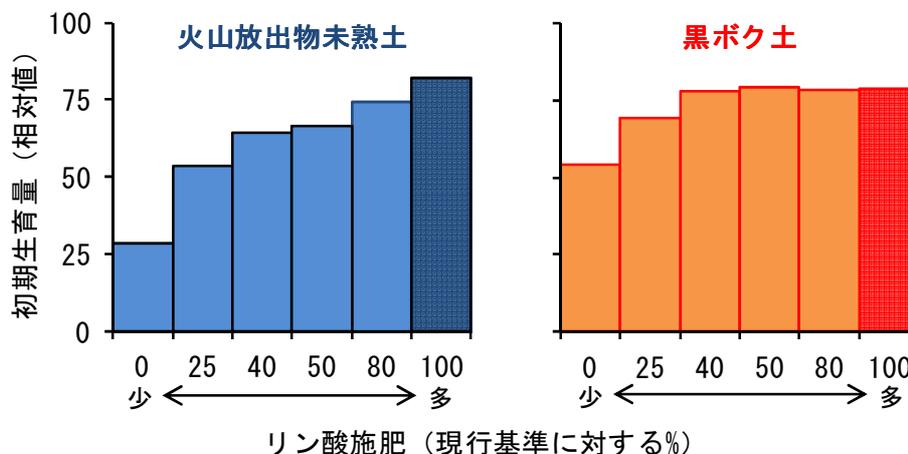


図14 土壌型別にみたリン酸施肥と初期生育量の関係  
（初期生育量は、圃場の最大値を100とした相対値）

(ii) 耕起法

トウモロコシの播種床造成方法には、プラウ耕によって土層を大きく反転する慣行法と、表層 10~15cm のみをロータリー耕によって混和する簡易耕に大別されます (図 15・16)。

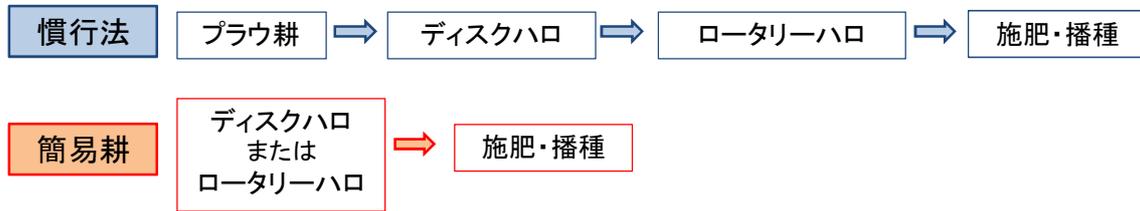


図 15 播種床造成の流れ

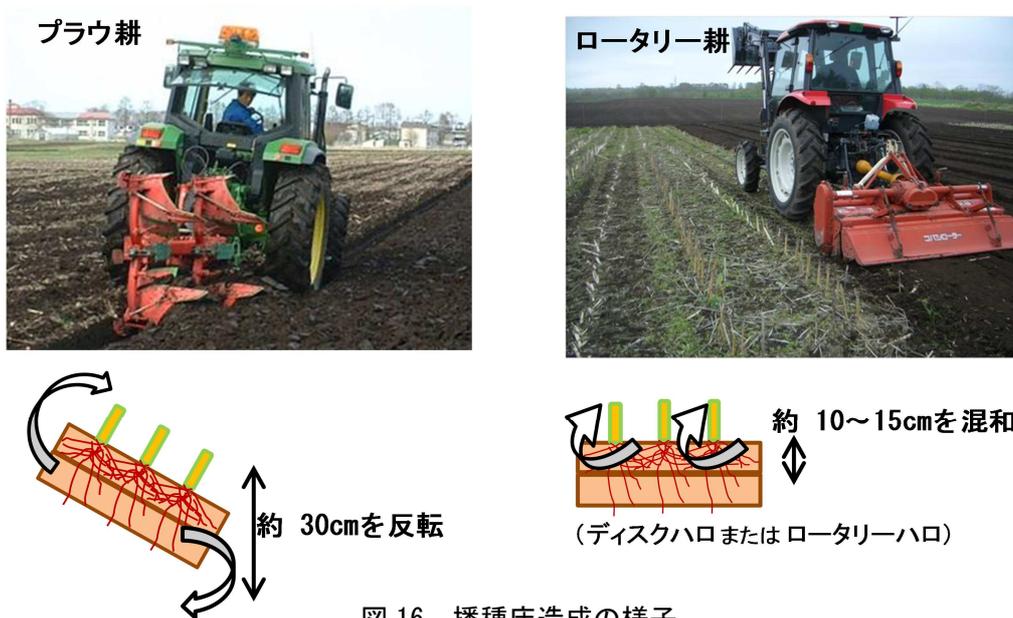


図 16 播種床造成の様子

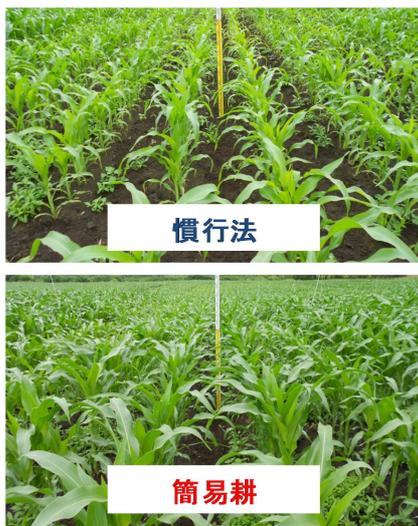


図 17 耕起法試験における初期生育  
(いずれもリン酸施肥は無し)

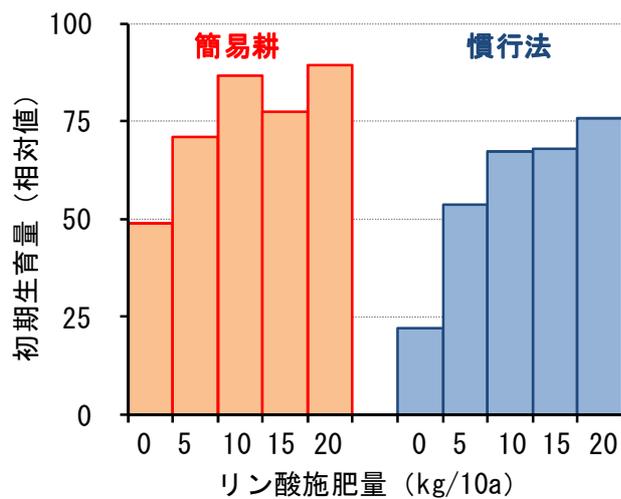


図 18 耕起法の異なるトウモロコシ畑におけるリン酸施肥と初期生育の関係  
(初期生育量は圃場の最大値を 100 とした相対値)

トウモロコシの播種床造成方法によっても、AM菌の前作効果は異なることが確認されました。慣行法と簡易耕を比較すると、簡易耕の方が初期生育は良好で、リン酸減肥の影響も受けづらい（＝AM菌による前作効果が大きい）結果でした（図 17・18）。

（3）土着菌根菌を活用したリン酸減肥指針（コスト評価を含む）

（i）飼料用トウモロコシ畑におけるリン酸施肥指針

今回、トウモロコシの連作畑でリン酸の施肥試験を行った結果、土壌型や耕起法により、リン酸減肥可能性が異なる可能性が示され、いずれの条件でも、これまでの施肥基準に対して 20%以上の減肥が可能と判断できました。そこで、AM菌の前作効果が期待できる連作条件について、新しい施肥指針を策定しました。

表 4 飼料用トウモロコシ畑における新たなリン酸施肥指針（北海道根釧地域の例）

有効態リン酸量（トルオーグ法） (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g)		基準値未満		基準値	基準値以上	
		～5	5～10	10～30	30～60	60～
施肥量	新規作付け（1年目）	30	24	20	16	10
(kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /10a)	連作（2年目以降）	24	20	16	12	8

北海道の施肥基準は、土壌のリン酸肥沃度に応じた施肥量が設定されているので、トウモロコシの連作条件では、それぞれのリン酸肥沃度区分で 20%ずつ削減しました（表 4）。

なお、リン酸施肥を行う場合、土壌改良資材として全面全層に施用する方法、リン酸肥料として播種と同時施用する方法の 2 通りが考えられます。減肥を行う場合には、全面全層に施用するリン酸からの減肥を優先します。

（ii）コスト低減効果

施肥コストの低減効果を試算しました。ここでは、北海道根釧地域の標準的な施肥量を、単肥（硫安、過リン酸石灰、硫酸加里、硫酸苦土）で施用することを想定しました。また、肥料価格は、2013 年春購入時の価格としました（表 5）。

表 5 リン酸施肥削減にともなうコスト低減効果

	肥料成分			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
施肥量 (kg/10a)	13	10～30	20	4
施肥コスト (円/10a)	3,090	3,600～10,810	3,870	1,180

リン酸肥料 20% 削減

肥料成分	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
施肥量 (kg/10a)	8～24
施肥コスト (円/10a)	2,880～8650

合計施肥コスト (円/10a)

従来の方法 11,740～18,940



-6～11%

新技術採用 11,020～16,780

従来の方法でリン酸施肥量を決めた場合の施肥コストは、10a 当たり 11,740～18,940 円

で、このうちリン酸が 30～60%を占めていました。今回の新基準を採用してリン酸の施肥量を 20%削減したときの施肥コストは、10a 当たり 11,020～16,780 円となり、施肥コスト全体では 6～11%のコスト低減効果が見込まれます。

飼料用トウモロコシ栽培では、家畜ふん尿が土壤還元されることが多いので、ふん尿の肥効を適切に評価することによるリン酸減肥も可能です。このような基本技術を組み合わせることにより、施肥コストの低減効果は更に大きくなると考えられます。

#### (iii) 留意点

定期的に土壤分析を行い、土壤診断に基づいて施肥量を決定して下さい。また、ふん尿を施用する場合には、ふん尿由来の肥料養分も考慮して、化学肥料を施用して下さい。

#### 4) その他（参考資料等）

- 「VA 菌根菌宿主作物の前作効果と大豆栽培」 農家の友 第 62 巻 第 5 号、pp. 98-99 (2010)
- 「リン酸吸収に対する VA 菌根菌宿主作物の前作効果」 ニューカントリー 第 57 巻 10 月号、pp. 66-67 (2010)
- 「アーバスキュラー菌根菌宿主作物利用によるダイズ栽培でのリン酸減肥」 圃場と土壤 第 41 巻 8 号、pp. 10-13、2009
- 「菌根菌を利用したダイズ生産」 北農 第 79 巻第 1 号、pp. 54-59、2012
- 「土着菌根菌の利用による施肥削減」 土づくりとエコ農業 Vol. 44 No. 506、pp. 48-51、2012

#### 5) 担当者・問い合わせ先

##### 研究担当者

(独) 農研機構 北海道農業研究センター  
大友 量・杉戸智子・岡 紀邦

(地独) 北海道立総合研究機構 根釧農業試験場  
八木哲生・松本武彦

##### 問い合わせ先

(独) 農研機構 北海道農業研究センター 生産環境研究領域 土壤グループ  
〒062-8555 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘 1 電話：011-851-9141 (代表)

(地独) 北海道立総合研究機構 根釧農業試験場 飼料環境グループ (草地環境)  
〒086-1135 標津郡中標津町旭ヶ丘 7 番地 電話：0153-72-2004 (代表)

## 2. リン酸減肥のための緑肥の使い方

### 1) 背景

緑肥とは、栽培した植物を収穫せずそのまま田畑にすきこみ、次に栽培する作物の肥料にする技術、あるいは、そのための植物のことです。

緑肥の肥料効果については、これまで主に、マメ科植物の窒素固定に期待した窒素源としての評価が進められており、緑肥を栽培した後作への窒素減肥指針を示している都道府県もあります。また、緑肥をすき込んだ場合にカリ減肥を推奨しているものも見られます。しかし、緑肥すき込みによるリン酸減肥については、検討されていませんでした。

植物の中にはリン酸栄養の獲得において、優れた能力をもつものが知られています。それらの能力を活用し、土壌中のリン酸をいったん植物体に吸収させ、それを緑肥としてすきこみ、リン酸供給能を高めることで、後作物へのリン酸施肥量を低減することが期待されます。

そこで、本章では、優れたリン酸吸収能を持つ植物をリン酸減肥のための緑肥として利用する技術について紹介します。優れた緑肥として、リン酸吸収量の多い夏作緑肥、冬作緑肥を選定するとともに、後作でのリン酸可給化に役立つ土壌微生物活性を調査し、一部の緑肥が有用微生物の活性化に効果があることを確認しました。また、ヘアリーベッチを水田裏作に緑肥として栽培し、水稻、ダイズを用いてリン酸減肥の現地実証を行った成果も示しました。

リン酸蓄積が進んだ圃場では、最初の数年間、何らの対策技術を取らなくてもリン酸を削減あるいは無施用にして栽培できる場合があり、リン酸減肥技術としての本技術の適用場面は、比較的リン酸レベルが低い圃場に限られるかもしれません。しかし、近年、緑肥は肥料効果だけでなく、土壌の保護・改善効果、雑草制御、病虫害・有害線虫の防除、天敵の保護・増殖、農村景観美化など様々な機能について着目されています。裸地の期間が長くなる場合には、緑肥のさまざまな効果を期待し、緑肥が導入されることを期待します。

### 2) 緑肥に期待されるリン酸吸収促進効果

リン酸は、作物にとって吸収しにくい養分であるため、過去に施肥したリン酸の多くが土壌中に残っています。一方、植物の中にはリン酸吸収能が高い種類があることが知られています。そこで、リン酸吸収能が高い植物を栽培し、土壌に蓄積しているリン酸を一度吸い上げ、それを緑肥としてすき込むことで、次作物のリン酸吸収を増やす効果を期待できます。

緑肥には、土壌中の微生物のエサとなり、その働きを高める効果もあります。微生物の中には、難溶性リン酸を可溶化するリン溶解菌や、有機態リン酸を無機化するホスファターゼ産生菌などが知られており、緑肥を導入すると、これら有用微生物の活性を高めて、次作物へのリン酸供給を増やす効果も期待できます。

### 3) 冬作物のリン酸減肥のための夏作緑肥の導入

#### (1) 夏作緑肥の種類と栽培方法

冬作物を栽培する圃場で、その前に何も栽培しない期間がある場合、緑肥を導入します(図1上)。コムギ前であれば、ヒマワリ、ソルガムなどが適しています。緑肥への施肥は、前作物に施用した窒素が無機態窒素として残っていれば不要ですが、必要に応じて4~6 kg/10aの窒素を施用します。ヒマワリなら開花期に、ソルガムなら播種50~60日後にロータリなどですき込みます(図1中)。緑肥の播種量、播種時期、すき込みに適した時期などは、表1を参考にしてください。すき込み後、3週間以上おいてから、リン酸施肥量を減らして、コムギなど冬作物を播種します(図1下)。



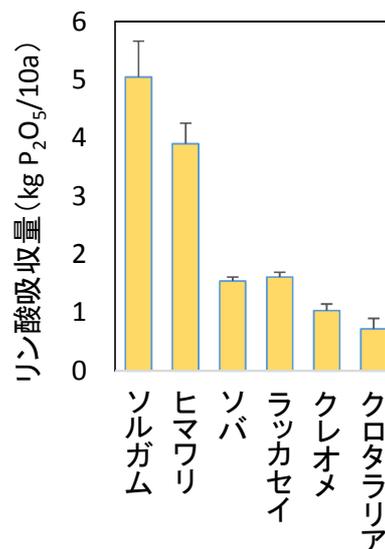
図1 冬作物のリン酸減肥を目的とした夏作緑肥の栽培方法  
(試験では、緑肥は6月播種、9月すき込み)

表1 主な緑肥の種類と栽培法（種苗会社のカタログなどの情報より）

科名	作物名	栽培法（関東露地栽培）				乾物収量 kg/10a
		播種量 kg/10a	播種時期		すき込み期	
			春～夏播き 月	越冬栽培 月		
寒地型イネ科	エンバク	8-10	3-5, 8-9	10-11	出穂前後	500-800
	エンバク野生種	10-15	3-5, 8-9	10-11		500-800
	ライムギ	8-10	3-4	9-12		600-900
暖地型イネ科	ソルガム	4-5	5-8	不可	播種50-60日後	700-900
	ギニアグラス	1-1.5	6-8	不可	播種50-70日後	600-800
寒地型マメ科	ヘアリーベッチ	3-5	3-4	9-11	開花前～開花盛期	400-700
暖地型マメ科	クロタラリア	6-9	5-7	不可	開花期	300-500
	セสบニア	4-5	5-7	不可	開花期	400-600
キク科	ヒマワリ	1-2	5-7	不可	開花期	400-600
アブラナ科	シロガラシ	2-3	3	11	開花期	300-600
ハゼリソウ科	ハゼリソウ	2-3	3-4	11	開花期	300-600

（2）リン酸源として優れた夏作緑肥

冬作物へのリン酸供給量（リン酸すき込み量）は、地上部乾物重が大きな緑肥ほど多い傾向にあり、ソルガムとヒマワリでは、4～5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a 程度（次に栽培するコムギやコマツナのリン吸収量と同等以上）のリン酸をすき込むことができました（図2）。



（3）有用微生物の活性化に適した夏作緑肥

(i) ホスファターゼ

ホスファターゼ（土壌酵素の一種）は、植物が利用しにくい有機態リン酸を無機化します（図3）。乾物すき込みの多い緑肥を使うと活性が上がるということが分かりました。ホスファターゼは、すき込んだ緑肥に含まれる有機態リン酸の分解に役立つほか、土壌中の有機態リン酸を分解し、作物が利用できる形に変えてくれます。

図2の夏作緑肥は、左側から乾物重が多い順に並べています。今回用いた夏作緑肥の中では、ソルガム、ヒマワリの乾物すき込み量が多く、これらのすき込みで、ホスファターゼ活性が高くなりました。

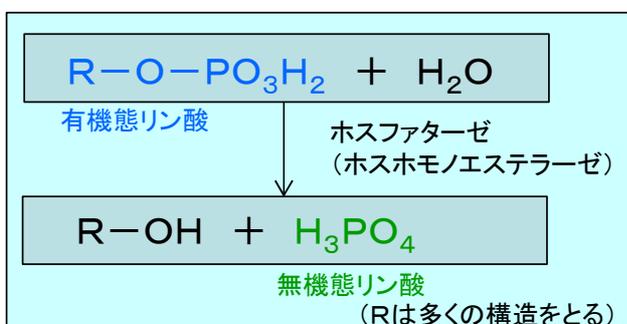


図3 ホスファターゼが触媒する反応

(ii) リン溶解菌

リン溶解菌は、植物が利用しにくい難溶性リン酸を、有機酸を放出して可溶化します。その密度を、難溶性のリン酸カルシウム沈殿を広げた培地（写真 1）で、沈殿を溶かし周りを透明にするコロニーを数えることにより調べました。すると、リン溶解菌のうち糸状菌は、ソルガム、ラッカセイ、クレオメのすき込みで増加しました。これら緑肥のすき込みで、土壤中の難溶性リン酸が溶けて次作物が利用できるようになることが期待できます。

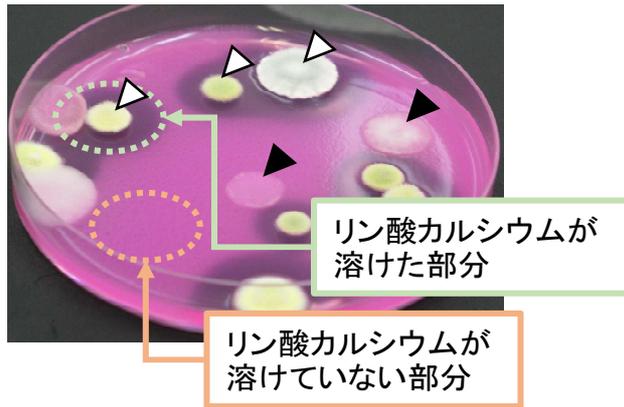


写真 1 リン溶解糸状菌

周りが透明な（黒い）コロニーがリン溶解菌（白矢印）

周りが透明にならないコロニーはリンを溶解しない糸状菌（黒矢印）

(iii) アーバスキュラー菌根菌

作物のリン酸吸収を促進する有用微生物として、ホスファターゼ産生菌、リン溶解菌のほかに、アーバスキュラー菌根菌（AM菌）が知られています。AM菌は、ホスファターゼのように有機態リン酸を分解したり、リン溶解菌のように難溶性リン酸を溶かしたりするのではなく、作物のリン酸吸収域を広げることでそのリン酸吸収を促進します。AM菌の宿主（共生相手）である緑肥を選ぶと、土壤中の菌密度が高まり、次の作物のリン酸吸収を増やすことができます。AM菌の利用については、他の章を参考にして下さい。

(4) 冬作物への効果

各緑肥のすき込み跡地においてリン酸無施肥（-P）でコムギを栽培し、緑肥なし区と比較しました。コムギの生育は、緑肥なし+P（リン酸標準施肥、慣行）区を 100 とすると、緑肥なし-P区で劣る（69）一方で、ヒマワリ、ソルガム、ラッカセイ、クレオメのすき込み区（-P）では、リン酸無施肥にも関わらず+P区に近い生育（86~91）を示しました（図 4）。この結果から、リン酸すき込み量が多いソルガム、ヒマワリ（図 2）、リン溶解糸状菌密度が高くなるソルガム、ラッカセイ、クレオメ（前節を参照）のすき込みにより、コムギのリン酸吸収、生育を改善できると考えられました。

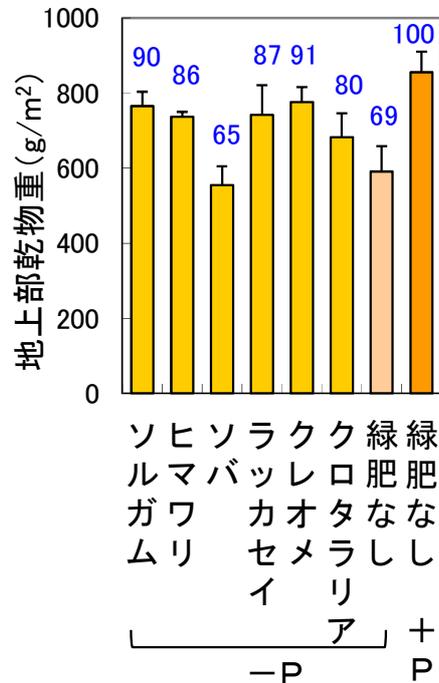


図 4 緑肥のすき込みやリン酸施肥量がコムギの生育に及ぼす影響（出穂期）

図中の数字は、緑肥なし+P区を 100 とした値

#### 4) 夏作物のリン酸減肥のための冬作緑肥の導入

##### (1) 冬作緑肥の種類と栽培方法

夏作物を栽培する圃場で、その前の冬期間に何も栽培しない期間がある場合、緑肥を導入します(図5上)。スイートコーンなどの前であれば、エンバク、ライムギ、ベッチなどが適しています。緑肥への施肥は、前作物に施用した窒素が無機態窒素として残っていれば不要ですが、必要に応じて3~6 kg/10aの窒素を施用します。緑肥の播種量、播種時期、すき込みに適した時期などについては、表1を参考にしてください。すき込み後、3週間以上おいてから、リン酸施肥量を減らして、スイートコーンなどの夏作物を播種します(図5下)。

##### (2) リン酸源として優れた冬作緑肥

次の夏作物へのリン酸供給量となる冬作緑肥のリン酸吸収量は、地上部乾物重が大きな緑肥ほど多い傾向にあり、今回試験した冬作緑肥の中では、エンバク、ライムギ、ハゼリソウ、ベッチで大きい一方、チャガラシ、ルーピンでは多くありませんでした(図6)。

今回の試験でエンバク、ライムギ、ハゼリソウ、ベッチの吸収したリン酸は、4~5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a でした。これは、次の作物をスイートコーンとすると、その標準的なリン酸施肥量 18 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a の25%程度に相当します。



図5 夏作物のリン酸減肥を目的とした冬作緑肥の栽培方法(試験では、緑肥は10月播種、5月すき込み)

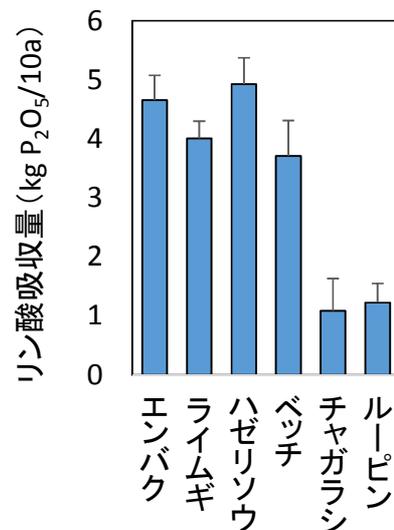


図6 冬作緑肥のリン酸すき込み量

### (3) 有用微生物の活性化に適した冬作緑肥

#### (i) ホスファターゼ

夏作緑肥と同様に、冬作緑肥についても、乾物すき込み量の多い緑肥を使うと活性が向上することが示されました (図7)。

#### (ii) リン溶解菌

植物が利用しにくい難溶性リン酸を可溶化する働きをもつリン溶解糸状菌は、今回用いた冬作緑肥の中では、ルーピンのすき込みで増加することが示されました。一方、エンバク、ライムギ、ベッチ、ハゼリソウ、チャガラシのすき込みは、土壌中のリン溶解糸状菌密度に大きな影響を及ぼしませんでした。

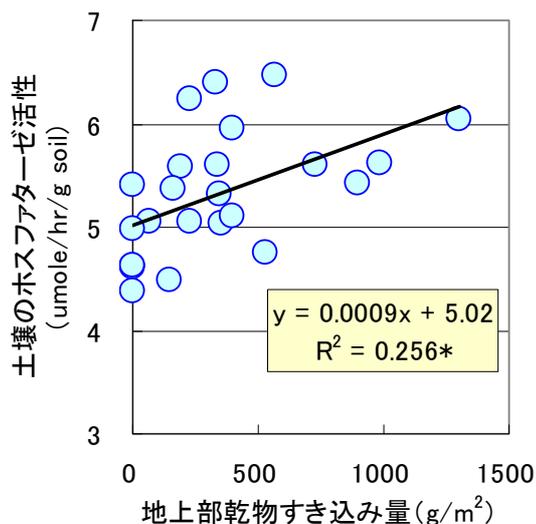


図7 緑肥の地上部乾物すき込み量と土壌のホスファターゼ活性との関係

### (4) 夏作物への効果

各種の冬作緑肥のすき込み跡地で、リン酸を施用せずにスイートコーン、ダイズを栽培し、リン酸を標準施肥した緑肥なし区と比較しました (データ省略)。スイートコーンは、リン酸すき込みが多いエンバク、ライムギ、リン溶解糸状菌密度の高くなるルーピンなどのすき込みにより、リン酸吸収、生育を改善できることが分かりました。ダイズも、様々な緑肥のすき込みで、リン酸吸収を増やすことができました。

緑肥のすき込みによるリン酸減肥可能性を調べるため、各緑肥作物のすき込み跡地に、100P、80P、0P (100P はリン酸施肥標準量、80P は2割減肥、0P はリン酸無施用) 区を設け、スイートコーンを栽培しました (図8)。緑肥なしでは、80P 区で減収したのに対し、エンバク、ベッチすき込み区では、80P 区で減収しなかったことから、エンバクやベッチをすき込んだ場合には、リン酸の2割削減が可能であると考えられました。コマツナの栽培でも同様な結果が得られました。本試験圃場の有効態リン酸は、約 3~4 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g と低かったことから、緑肥を用いたリン酸減肥は、リン酸レベルが低い圃場でも可能といえます。

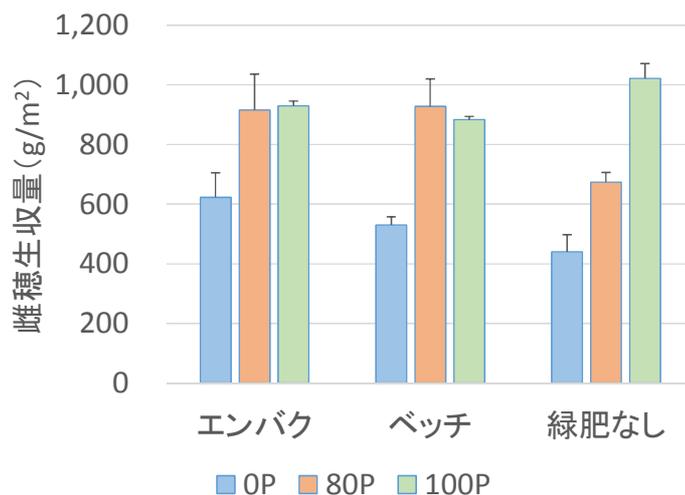


図8 緑肥のすき込みとリン酸施肥量がスイートコーンの収量に及ぼす影響 (いずれも窒素、カリは標準施肥)

## 5) ヘアリーベッチの導入による減肥栽培実証

### (1) ヘアリーベッチの特徴

ヘアリーベッチ（ベッチ）は体内のリン酸濃度が約 1%（乾物あたり）であり、乾物収量 300 kg/10a で約 3 kg/10a とリン酸吸収量が多い作物です。根粒菌による窒素固定も期待できます。これまで水稻でよく用いられてきたレンゲと異なり、すき込み時期を変えることで窒素のすき込み量を調節することができる上、種子の安定供給が可能です。そこで、レンゲなどの代替としてベッチに着目し、その導入により水稻へのリン酸施肥を削減できるかどうか調べました（写真 2）。



写真 2 ベッチのすき込み

ヘアリーベッチは、転換畑に広く栽培されているダイズで認められる収量不足の問題を解決するため、富山県などで普及しています。ここでは、ベッチ導入によるダイズのリン酸減肥又は無肥料栽培についても検討しました。

### (2) 水稻栽培へのヘアリーベッチの導入

#### (i) ヘアリーベッチ栽培のポイント

ベッチは、前年に秋播きし、4～5月にすき込むと、生収量 4～5t/10a をすき込めますが、この量では窒素過多で、水稻に倒伏や食味に問題が生じます。そこで、水稻の前に導入する場合には、すき込みの時期を調整するなどして、すき込み量を 2～3 t/10a（草高 30～40 cm、窒素 10 kg/10a）までとするのが適当です（表 2）。

表 2 ヘアリーベッチ、水稻の耕種概要

場所	ヘアリーベッチ(kg/10a)				水稻		
	播種期	鋤込み期	生収量	すき込成分量	品種	移植期	収穫期
			kg/10a	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O			
佐倉市	10月17日	4月10日	2569	12.1-3.6-11.0	ふさこがね	5月2日	8月22日
成田市	10月15日	3月26日	1854	9.8-2.7-7.6	ヒメノモチ	4月30日	8月22日

#### (ii) 水稻の生育と収量

ベッチ後の水稻は、無肥料や 0P（リン酸無施肥）でも、穂数が慣行のベッチ無 100P（リン酸標準量施肥）なみで、SPAD 値（葉緑素量）がやや高く、窒素の効果で葉色が濃くなりました（表 3）。ベッチ後の水稻のリン酸濃度は、リン酸施肥を減らしてもベッチ無 100P と同等以上でした（データ省略）。

精玄米収量は、有効態リン酸が基準値より低い(約 6 mg/100 g) 佐倉市ではベッチ無 100P (慣行) に比べ、ベッチ後 80P (リン酸 2 割減肥) で 93%、0P で 96%とやや低収となりました。しかし、有効態リン酸が基準値内(約 18 mg/100 g) の成田市では、ベッチ後 80P、0P は 114%、110%と慣行よりも多収で、ベッチによるリン酸供給の効果が現れています(表 3)。このことから、水稻では、有効態リン酸が基準内の土壌であれば、ベッチの導入によりリン酸減肥が可能であるといえます。

表 3 ベッチ栽培後の水稻の生育と収量

農家	ベッチ	減肥処理区	施肥量	穂数	SPAD	精玄米重	
						kg/10a	%
佐倉市 (H25)	無	100P	5-8-7	27.6	38.1	749	100
		0P	5-0-7	27.7	35.2	726	97
	有	100P	5-8-7	31.3	42.3	738	99
		80P	5-6-7	31.6	39.3	696	93
		0P	5-0-7	30.3	40.9	721	96
		無肥料区	0-0-0	26.1	40.8	711	95
成田市 (H25)	無	100P	5-8-7	19.6	32.9	573	100
		0P	5-0-7	20.1	30.6	520	91
	有	100P	5-8-7	20.8	39.0	702	123
		80P	5-6-7	21.6	34.1	651	114
		0P	5-0-7	18.3	35.5	631	110
		無肥料区	0-0-0	19.7	34.0	623	109

(iii) コスト低減効果

ベッチの播種量は 3~5 kg/10a、種子代は 4 kg/10a 播種で 3,300 円/10a 程度です。一方、リン酸肥料を約 2 割、2 kg/10a (過リン酸石灰で 11 kg/10a) 削減すると、900 円の肥料代の節約です。またリン酸を無施肥とした場合 (8 kg の削減)、過リン酸石灰で 44 kg/10a、3,600 円/10a の削減となり、肥料代の削減金額は、種子代よりも多くなります。更にベッチの窒素・カリ肥効を考慮して、無肥料栽培した場合には 6,700 円/10a の削減効果です (単肥で計算)。つまり、ベッチを導入することにより、減肥しても慣行 (ベッチ無 100P) と同等の収量が得られる場合には、リン酸 2 割減肥なら 2,400 円のコストアップ、リン酸 10 割削減で 300 円/10a のコスト低減、窒素とカリも与えない無肥料栽培ができれば 3,400 円/10a のコスト低減です (労賃は考慮していません)。

### (3) ダイズ栽培へのヘアリーベッチの導入

#### (i) ヘアリーベッチ栽培のポイント

ヘアリーベッチの播種時期は、ダイズの播種が6月の場合は3月に間に合いますが、5月だと前年の10月になります。ベッチは水はけを好むため、排水対策をして栽培して下さい。また、ベッチには冬枯れに強い晩生・寒地由来と生育が早い早生・暖地由来のものがありますので、品種選定に気を付けて下さい。

#### (ii) ダイズの生育と収量

ベッチ 4t/10a を圃場外から持込み(有効態リン酸 11 mg/100 g の圃場)、ベッチすき込みの有無、施肥レベルを変えてダイズ(エダマメ)を栽培し、地上部収量を比較しました。ベッチすき込みの有無で比較すると、すき込み区がすき込まない区の122%、草丈も平均で6cm高く、生育が旺盛(写真3)となりました。ベッチを導入してリン酸減肥した無施肥区、-P区、1/2P区ではいずれもベッチ無区より多収で、ベッチによるリン酸減肥が可能であることがわかりました(図9)。



写真3 ベッチすき込み後のダイズ栽培  
ベッチ有、無区とも、区画内に異なる施肥処理を設置(図9参照)

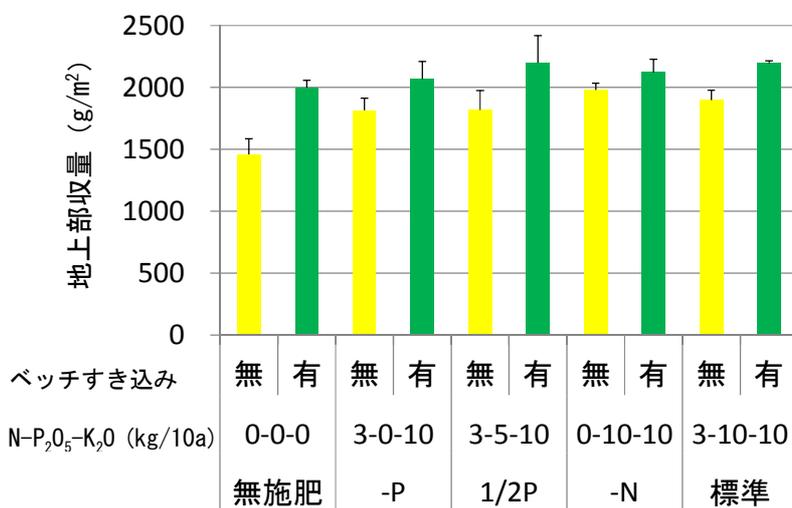


図9 ベッチすき込みと施肥がエダマメの地上部収量に及ぼす効果

無：ベッチすき込みなし、有：ベッチすき込み

-P：リン酸無施肥、1/2P：リン酸5割減肥、-N：窒素無施肥

## 6) その他 (参考資料等)

### 【代表的な緑肥作物の栽培方法】

緑肥は散播が基本で、散粒機かブロードキャスターで播種します。肥料は前作物に施用した窒素が無機態窒素として残っていれば不要ですが、必要に応じて、硫酸などを施用します。種子は肥料と混ぜて播種できます。播種後に軽い覆土・鎮圧を行い、発芽を良くします。ベッチは水はけの良い土壌を好むので、排水対策（額縁明渠や暗渠排水）を行い、また、寒冷地や積雪地帯では耐寒性の品種を選んでください。すき込みは、緑肥を細断できるフレイルモア、深耕できるプラウなどがあると作業性が良いですが、人間の背丈くらいまではトラクターで押し倒し、ロータリで耕起します。すき込みは、後作物の播種 20～30 日前に行います。

### 【参考図書など】

新版 緑肥を使いこなす 上手な選び方・使い方 (2007) 橋爪健、農文協

カバークロップ導入支援データベース検索システム <http://ccropps.narc.affrc.go.jp/>

カネコ種苗株式会社 <http://www.kanekoseeds.jp/>

タキイ種苗株式会社 <http://www.takii.co.jp/>

雪印種苗株式会社 <http://www.snowseed.co.jp/>

## 7) 担当者・問い合わせ先

### 研究担当者

(独)農研機構 中央農業総合研究センター  
唐澤敏彦

雪印種苗株式会社 千葉研究農場  
橋爪健、和田美由紀

### 問い合わせ先

(独)農研機構 中央農業総合研究センター 土壌肥料研究領域  
〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1 電話 029-838-8481 (代表)

雪印種苗株式会社 千葉研究農場  
〒263-0001 千葉県千葉市稲毛区長沼原町 634 電話 043-259-2826 (代表)

### 3. 低コスト養液土耕装置を用いた露地果菜類のリン酸減肥栽培

#### 1) 背景

露地果菜類栽培は、施肥量が多くなりがちです。慣行栽培で用いられる施肥基準は、単位面積当たりの収量目標をもとに、作物の生産に必要な肥料成分を算出し、気温や降雨などの気象条件の変動、土壌への吸着による肥効の低下などのリスクを考慮し、何割か多目に設計されています。特にリン酸の施肥量は多く、作物に吸収されない余剰リン酸は年々圃場の作土に蓄積し、土壌改良目標値を大幅に上回る圃場が多くみられます。そうした、リン酸が過剰に蓄積した圃場では、リン酸無施肥での栽培を指針として打ち出している事例もありますが、減肥は進んでいません。

そこで、露地栽培において養液土耕の技術を導入することにより養水分管理を改善し、気象条件の変動や土壌への吸着のリスクを極力少なくすることで、積極的なリン酸減肥を可能としました。また、養液土耕の特徴である適切な養水分管理により、減肥しながらも、収量増加が可能となりました。

本章では、低コスト養液土耕装置の中から日射制御型拍動かん水装置（本章では『拍動型』と表記）を中心に取り上げ、特徴および導入効果、さらに経営コスト評価について紹介します。

#### 2) 低コスト養液土耕装置について

露地栽培で利用できる低コスト養液土耕装置として、拍動型、タイマ・液肥混入器利用型、タイマ利用型の普及が行われています。分類を図1に示します。

分類	拍動型 (日射制御型拍動かん水装置)	タイマ・液肥混入器 利用型	タイマ利用型
装置の構成			
水源水圧の条件	水圧のかからない水源でも利用可能	0.5bar以上の水圧が必要	0.5bar以上の水圧が必要
液肥かん水	タンク投げ込み式	液肥混入器	不可
面積	概ね10a	10a以上も可能	概ね10a
配管を含まない基本セット価格	13万円 (タンク、架台等を含まない)	18万円	3万円

図1 低コスト養液土耕装置の分類

### (1) 拍動型

ソーラーポンプを利用した点滴かん水装置です。電源がなく、十分な水源水圧が得られない圃場への導入に適しています。(4)で示すように、装置が間欠的にタンクから送水するしくみで、その挙動があたかも心臓が血液を送り出す様子に似ていることから、図3の⑦を拍動タンクとよび、装置全体は「日射制御型拍動かん水装置」と呼ばれています。

拍動タンク内に肥効調節型肥料あるいは磷硝安カリなどの化成肥料を網袋に入れて投入する方法により、簡易に液肥かん水を行うことができます。対応可能面積は概ね10aです。表1に示したような資材が必要となり、基本資材は一式がセットで市販されており、配管資材などは圃場の立地条件や規模に合わせて選択します。配管や設置資材を含む初期導入費用は10aあたり20万円程度です。

### (2) タイマ・液肥混入器利用型

タイマ・液肥混入器利用型は、乾電池式の電磁弁をタイマ制御することで、かん水を管理します。5 bar以上の水源水圧が必要で、液肥混入器によって一定濃度での追肥を行うことが可能です。電磁弁を複数個配置することで、10a以上の面積への規模拡大も可能で、かん水量(時間)を電磁弁毎にきめ細かく設定することが可能です。市販のかん水制御装置(かん水タイマ)、液肥混入器、電磁弁、ディスクフィルタ、配管資材が必要になります。配管を含む初期導入費用は10aあたり23万円程度です。

### (3) タイマ利用型

単純にかん水のオンオフをタイマで管理するだけの装置で、規模も概ね10aです。市販の電磁弁一体型かん水タイマ、ディスクフィルタ、配管資材が必要になります。配管を含む初期導入費用は10aあたり6万円程度です。液肥かん水を行う場合には、別途液肥混入機の追加が必要です。

これらの装置から、自分の圃場に適したものを下のフローチャートで診断できます。

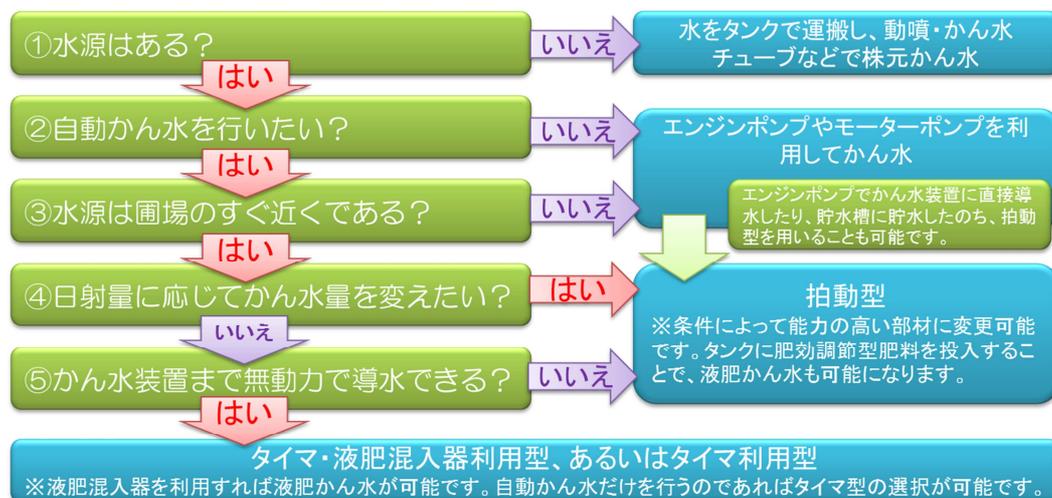


図2 低コスト養液土耕装置選択フローチャート

#### (4) 低コスト養液土耕装置（拍動型）のしくみ

図3は拍動型の具体的な構成例です。ソーラーパネル①で駆動する小型の水中ポンプ③により毎分数リットル程度の水を、かん水面より1.5m程度高い位置に設置した拍動タンク⑦へ揚水します。揚水量は日射量に対応して変動します。拍動タンク内の水位が水位センサー④のレベルに達すると制御装置②を介して電磁弁⑥が開き、点滴かん水チューブ⑩を介してかん水が開始されます。送水により水位が⑤のレベルに下がると電磁弁が閉じて再び貯水が行われます。この繰り返しにより、間欠的に点滴かん水を行います。

立地条件により様々な水源に対応可能です。取水部にストレーナー⑧などを取り付けることである程度の粗大物は除去できますが、水源水質によっては砂濾過槽などの追加が必要です。

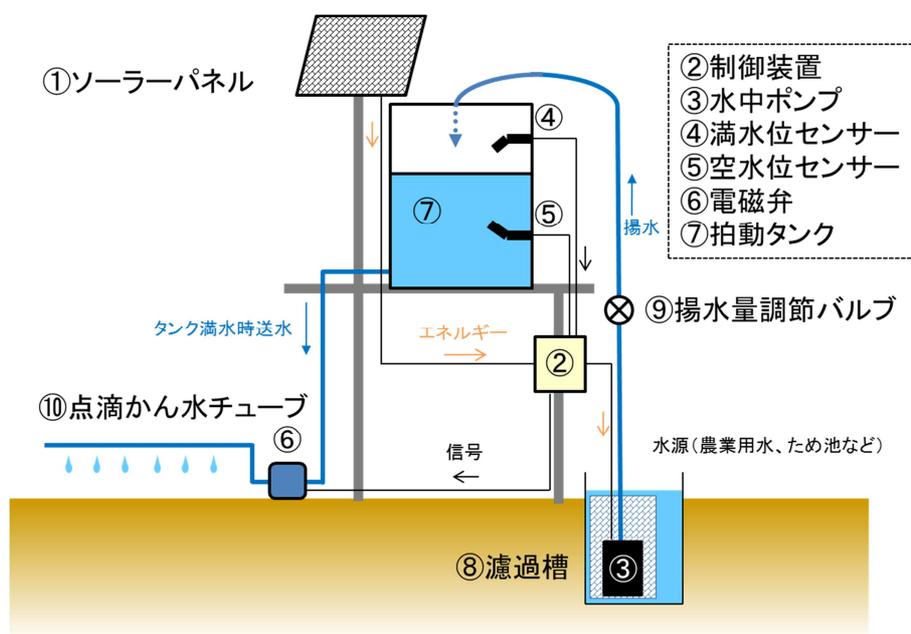


図3 低コスト養液土耕装置（拍動型）の構成例



図4 低コスト養液土耕装置（拍動型）に必要な資材の具体例

表1 低コスト養液土耕装置（拍動型）に必要な資材リスト(例)

設置および配管に要する資材（立地条件や圃場規模で変動）

項目	金額（千円）	耐用年数	減価償却費（千円）
養液土耕装置（拍動型）基本資材	123	-	18.4
かん水装置架台	24	10	2.4
塩ビ配管部分	6	5	0.8
貯水タンク	10	5	2
点滴かん水チューブ	35	1	35
合計	198	-	58.6

養液土耕装置（拍動型）基本資材の内訳（装置の動作に関わる必須な資材）

項目	金額（千円）	耐用年数	減価償却費（千円）
ソーラーパネル	67	10	6.7
水中ポンプ	20	3	6.7
制御装置	22	10	2.2
水位センサー、電磁弁	14	5	2.8
合計	123	-	18.4

※上記はあくまでも目安です。使用状況により、耐用年数は変化します。

### 3) 露地果菜類におけるリン酸減肥について

#### (1) 作業手順

露地での養液土耕栽培では、基肥を施用し、畝を形成した後に点滴かん水チューブを敷設し、その上にマルチ被覆を行います。追肥は、拍動タンクに粒状の肥料を浸すことで、肥料成分を溶かし出して液肥かん水を行います。

図5の例では被覆尿素肥料50日タイプや被覆磷硝安加里40日タイプを利用しています。作物の株元に養水分の供給を行うことができるため、慣行のかん水方法と比べて、肥料利用効率が高く、また作物の生育に合わせた追肥管理が可能となります。このため、基肥を減らし、追肥重視の施肥設計を行います。



図5 拍動タンクを用いた追肥の具体例

## (2) 具体的な導入事例

(i) 事例1；岩手県・露地ピーマン・拍動型利用

(施肥量および収量)

点滴かん水により土壌水分をpF1.9前後とし、水分ストレスの少ない栽培をすることで収量が1～2割向上します。リン酸施肥量を全量基肥で、吸収量相当の6kg/10a(慣行の8割削減)まで減肥することができます。



図6 露地ピーマン圃場に設置した装置の様子

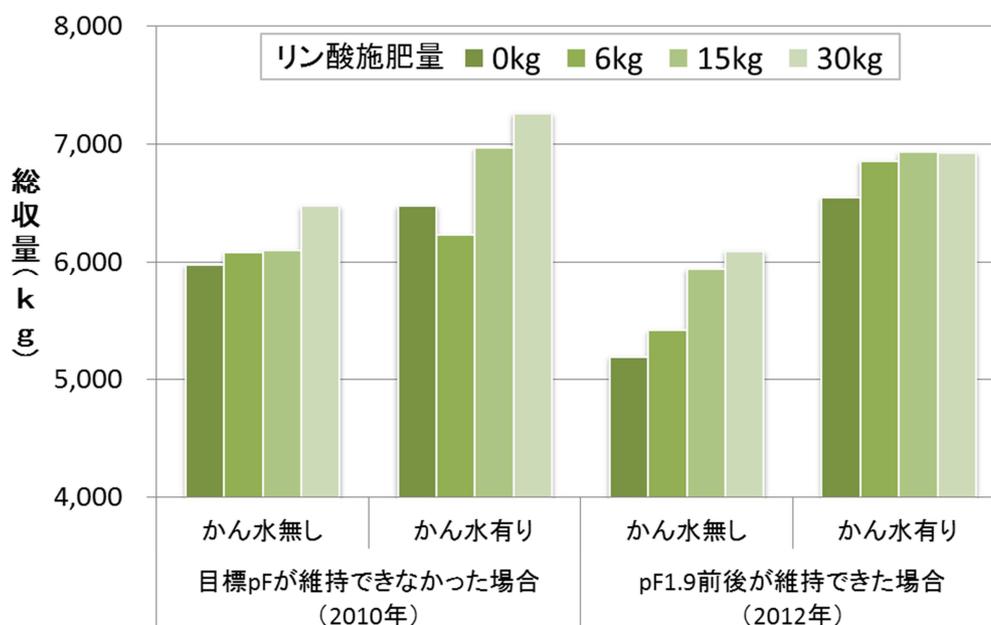


図7 かん水を行っても目標pF値を維持できなかった(pF2.1以上が2週間以上継続)場合と土壌水分を目標のpF1.9前後で維持できた場合のリン酸施肥量が収量に及ぼす影響

(経営評価)

かん水を行わない慣行栽培と低コスト養液土耕装置（拍動型）を用いた露地養液土耕栽培の10a 当たりの経営試算額を表2に示します。

- ・肥料費は25 千円～38 千円少なくなりました。
- ・諸材料費は点滴かん水チューブを毎年交換するため、10 千円程度多くなりました。
- ・収量が増加するため流通経費が100千円程度増加しました。

総合的に見ると、販売単価が同一の条件では露地養液土耕栽培での農業所得が108 千円増加しました。従って、低コスト養液土耕装置（拍動型）の初期導入費用は2.1 年で回収できることとなります。

表2 露地ピーマン栽培への低コストかん水装置導入時の収支比較（10aあたり）

単位；千円

項目		慣行栽培 (無かん水)	低コストかん水装置 (拍動型)
粗収入	10aあたり収量(kg)	4,250	5,100
	1kgあたり販売単価	242	242
	粗 収 益	1,027	1,232
経営費	種 苗 費	16	16
	肥 料 費	49	24
	農 薬 費	13	13
	光 熱 動 力 費	7	8
	諸 材 料 費	67	87
	小 農 具 費	9	9
	流 通 経 費	507	608
	変 動 費 計	668	765
	利益係数（粗収益-変動費）	359	467
	利 益 係 数 の 慣 行 と の 差		108
	か ん 水 装 置 導 入 費 用		230
	導 入 コ ス ト を 回 収 で き る 年 数		2.1年

※同様に導入コストを回収できる年数は、タイマ・液肥混入機利用型では2.3年、タイマ利用型では1.5年となります。なお、この経営評価は、岩手県農業技術体系及び平成23年の資材価格をもとに作成したものです。

(留意点)

- ・試験圃場の有効態リン酸は8.9～16.5mg/100g乾土でリン酸改良は実施しませんでした。
- ・pF値は土の湿り具合を示す値で、pFメータでは、植物がストレスを持たないpF1.7～2.3を適正範囲としています。

(ii) 事例2 ; 岡山県・露地ナス・拍動型利用

(施肥量および収量)

基肥は、畝間かん水による慣行区と拍動型を導入した実証区ともに化成肥料や有機質肥料を畝内に全層施肥しました。追肥は慣行区では畝肩に穴を開けて即効性の化成肥料を施肥しました。実証区ではかん水タンクに緩効性肥料を沈めて溶出させることで液肥かん水しました。施肥量 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, kg/10a) は、慣行区の基肥で59-56-48、追肥で6-6-4、実証区の基肥で35-37-38、追肥で20-10-11としました。基肥を減らしつつ、追肥成分を肥料利用効率が高い点滴かん水同時施肥することで、リン酸施用量を25%削減し、収量は慣行比17%増の11.3トン/10aとなりました。



図8 露地ナス栽培圃場に設置された点滴かん水チューブの様子

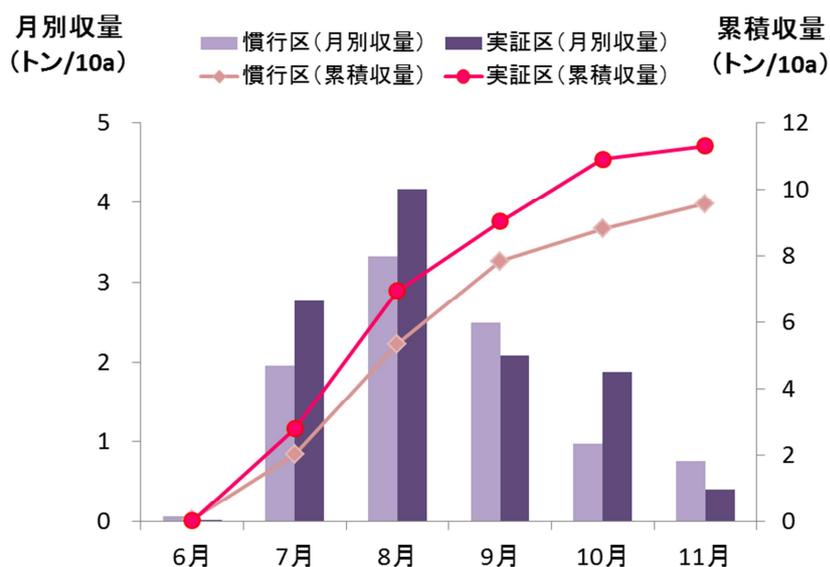


図9 実証試験でのナス果実収量 (10aあたり)

(経営評価)

畝間かん水を行う慣行栽培と低コスト養液土耕装置（拍動型）を用いた露地養液土耕栽培の10aあたりの経営試算額を表3に示します。

- ・肥料費は実証区の追肥に肥効調節型肥料を使用するため、減少幅が小さくなります。
- ・諸材料費は、点滴かん水チューブを毎年交換するとした場合、35千円多くなります。
- ・収量が増加するため流通経費が50千円程度増加しました。

総合的に見ると、販売単価が同一の条件では露地養液土耕栽培での農業所得330千円が増加しました。従って、低コスト養液土耕装置（拍動型）の初期導入費用を230千円とすると、単年度で回収できることとなります。

以上に基づく試算では、かん水装置の導入コストは、収量増加のため、単年度での回収が可能という結果となりました。

表3 露地ナス栽培への低コストかん水装置導入時の収支比較（10aあたり）

単位；千円

項目		慣行栽培 (畝間かん水)	低コストかん水装置 (拍動型)
粗収入	10aあたり収量(kg)	9,600	11,300
	1kgあたり販売単価	243	243
	粗 収 益	2,333	2,746
経営費	種 苗 費	94	94
	肥 料 費(うち追肥分)	102(16)	101(32)
	農 薬 費	32	32
	光 熱 動 力 費	10	10
	諸 材 料 費	90	125
	小 農 具 費	6	6
	流 通 経 費	489	538
	変 動 費 計	823	906
	利益係数(粗収益-変動費)	1,510	1,840
	利 益 係 数 の 慣 行 と の 差		330
	か ん 水 装 置 導 入 費 用		230
	導 入 コ ス ト を 回 収 で き る 年 数		0.7年

※この経営評価は、農業経営指導指標（平成22年度）及び平成23年の資材価格をもとに作成したものです。

(留意点)

- ・有効態リン酸値が約50mg/100g乾土の圃場における減肥試験の結果です。

#### 4) その他(参考資料等)

「ソーラーポンプを利用した拍動自動かん水装置の組み立て方法」、近中四農研センター研究資料、7、21-31. 吉川弘恭・中尾誠司(2010)

「点滴かん水を利用した露地ピーマンのリン酸減肥技術と導入効果」、岩手県農業研究センター試験研究成果、指-7、漆原昌二・大友英嗣(2012)

#### 5) 担当者・問い合わせ先

##### 研究担当者

(独)農研機構 近畿中国四国農業研究センター  
渡邊修一・笠原賢明・吉川弘恭

岩手県農業研究センター

漆原昌二・藤尾拓也・大友英嗣・菊地淑子・渡辺芳幸・本田純悦

##### 問い合わせ先

(独)農研機構 近畿中国四国農業研究センター 営農・環境研究領域  
〒721-8514 広島県福山市西深津町6-12-1 電話 084-923-4100(代表)

岩手県農業研究センター 技術部 野菜花き研究室

〒024-0003 岩手県北上市成田20-1 電話 0197-68-4420

## 4. 湛水防除とリン酸減肥を組み合わせた低コスト秋冬ニンジン栽培

### 1) 背景

湛水防除は休閑期の畑に長期間水を溜めた状態に保つことによって有害線虫を防除する技術です。これは古くから行われて来た防除技術ですが、薬剤防除の手軽さから実施する農家が少なくなっていました。しかし近年、環境保全型農業への関心が高まる中で再評価が進んでいます。また、わが国の畑地には長年にわたる施肥により多量の土壌リン酸が蓄積しています。土壌に固定された難溶性リン酸が湛水条件下において有効態になるとの報告がなされていることから、大規模な畑地かんがい可能な鹿児島県大隅半島の笠野原台地の多腐植質黒ボク土畑において、秋冬作物の休閑期となる夏期に湛水を行い、その処理後のニンジン栽培におけるリン酸の施肥削減技術を確立しました。また、研究の過程で夏期湛水が難防除雑草の抑制にも顕著な効果があることも分かってきました。

本章では、慣行の栽培体系をベースに、湛水防除による線虫抑制と雑草抑制、土壌理化学性の改善によるリン酸の減肥を提案します。湛水防除は、豊富なかんがい用水が利用可能な場合、安全、安価、省力で、人と環境に優しい技術になります。湛水をはじめるとアメンボ、トンボ、ゲンゴロウやそれを狙うカエルやサギ等多くの生き物が訪れました（写真 1）。そこには農薬に頼った農業では見ることのできないなつかしい農村の光景が再現されました。本章が環境保全型農業の推進、実施に関わる関係者に活用され、安全・安心な農作物の生産に少しでも貢献できれば幸いです。



写真 1 湛水ほ場を訪れたゲンゴロウ

### 2) 夏期湛水の方法について

小規模ほ場では畦波や畦形成による間仕切りを行えば再造成を行わずに湛水を行うことも可能ですが、大規模ほ場ではほ場勾配が 1% 程度以下でないと湛水状態を保持することが困難なのでレーザレベラによるほ場均平化が必要です。以下、作業の手順を示します。

#### (1) レーザレベラ作業（写真 2）

作業幅 4m クラスのけん引式レーザレベラ(LLT4100HB)による均平作業は、作業前最大高低差 7cm を高低差 3cm 程度まで均平化を図る場合、作業能率は 10a 当たり 0.3 時間程度で仕上がり表面も良好でした。

#### (2) 畦塗作業（写真 3）

畦塗機(NZR301)の作業能率は 10 a 当たり 0.3 時間、作業速度は前進作業時時速 0.4 km 程度でした。また、畦塗り壁面の仕上がりは良好で、側壁中心点の硬度(貫入抵抗)は畦塗り直後に表面硬度が急上昇し、湛水期間中は表面の硬さは十分に維持されています。畑地湛水を行う場合畦畔から漏水が懸念されますが、漏水防止対策として畦塗りが有効な手段となります。

### (3) 代かき作業 (写真4)

セミクローラトラクタによる代かきはホイルトラクタによる代かきに比べ、耕盤形成がスムーズに進むため、湛水期間中の平均減水深が減り、用水量を節約できます(表1)。代かき用水量は10aあたり180m<sup>3</sup>になります(表2)。給水栓一口からの給水量は1時間あたり約20m<sup>3</sup>なので、給水には10aあたり9時間を要します。可能な場合には給水栓を二口準備すると作業が効率よく行えます。セミクローラトラクタ(KL330)と代かきハロー(HS2010B)を使用した代かき作業能率は、2~3回耕の場合で10aあたり0.7時間でした。



写真2 レーザレベラによるほ場の均平化作業



写真3 畦塗機による畦塗り作業



写真4 セミクローラ型トラクタによる代かき作業

以上の結果から畑において効率的な湛水処理を行う場合、ほ場面均平作業を行うにはレーザーレベラ、畦畔漏水を防止するには畦塗機、破碎された耕盤の修復を行うにはセミクローラ

ーラトラクタを活用する事が有効です。湛水期間中の用水量は約 1,200 m<sup>3</sup>/10a です。減水深は代かきから時間経過とともに低下し、湛水期間中の平均減水深は約 3 cm となります。

表 1 セミクローラトラクタ代かきによる耕盤形成効果

区	耕盤深(cm)			
	平均	最深	最浅	最深～最浅差
セミクローラトラクタ+代かきハロー	22.0	24.0	19.0	5.0
ホイルトトラクタ+ロータリー	27.0	34.0	23.0	11.0

表 2 代かき用水量と代かき直後の減水深

区	代かき用水量 (mm = m <sup>3</sup> /10a)	給水所要時間 (時間/10a)	代かき直後減水深 (mm/日)
セミクローラトラクタ代かき	179	9.0	27
ホイルトトラクタ代かき	178	8.9	54

表 3 供試機主要諸元

	型式	大きさ(L×W×H)	機械重量	作業幅	備考
レーザレベラ	LLT4100HB	3.3×4.2×3.7 m (作業時)	1,010 kg	4.1 m	S社
トラクタ(ホイール)	JD6100				
畦塗機	NZR301	1.5×1.1×1.1 m	250		M社
代かきハロー	HS2010B	1.0×2.2×1.0 m	250	2.0 m	M社
トラクタ(セミクローラ)	KL330-24.3kw(33PS)	3.3×1.6×2.1 m	1,770		K社

#### (4) 水量の調整 (写真5、6)

水量の調整にはフロート式止水弁が、また、大雨が降ったときの畦の崩壊を防止するためオーバーフロー用ドレンパイプを設置することが有効です。



写真 5 フロート式止水弁



写真 6 ドレンパイプ

#### (5) 湛水終了後

30 日間の夏期湛水期間が過ぎたら止水弁を閉じ、湛水処理を終了します。湛水処理終了後は自然落水とします。天候にもよりますが概ね 3～5 日で落水します。落水後もほ場がぬかるんでいるためさらに 5～7 日間の乾燥期間が必要です。ほ場が乾燥したらロータリー耕耘、播種準備に入ります。

### 3) 夏期湛水後のニンジンの減化学肥料栽培

#### (1) 栽培暦と栽培の要点

鹿児島県ではニンジンが約 600ha 栽培されています。その中でも大隅地域は約 200ha と栽培面積が多く、大規模法人等による契約栽培が行われています。作型は、秋まき露地栽培が主で、青果用、業務用カット野菜、ジュース原料用他として栽培され、省力低コスト栽培技術が求められています。まず、この産地での一般的な加工用ニンジン栽培技術について紹介します。特徴は以下の通りです。

- は種：9月上旬～9月下旬、収穫は12月下旬～3月中旬まで行われます。
- 生育期間は畑地かんがい用水（畑かん）を使用することでニンジンの生育環境を改善します。
- 夏期の雑草管理は発生具合をみて適宜、ロータリー耕耘による除草を行います。
- 施肥は窒素：リン酸：カリで 20：15：30 (kg/10a) を施用します。

本章で示す、夏期湛水とリン酸減肥を組み合わせた低コスト秋まきニンジン栽培では、こうした慣行の栽培体系をベースに、湛水処理による線虫抑制と雑草抑制、土壌理化学性の改善によるリン酸の減肥を試みたものです。その主な内容は以下の通りです。

- 夏期湛水による殺線虫剤の不使用と湛水期間の雑草抑制を図ります。
- 慣行施肥からリン酸肥料3割減肥を行ないます。

#### 大隅地域におけるニンジン露地栽培の栽培暦

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
基本作型						●	●			収穫		
畑かん使用法*					基礎水 30 <sup>トン</sup>		5日おき		7～10日 おき			
夏期湛水**				畦塗 代かき	湛水 30日							

\*かん水量は10aあたり。 \*\*夏期湛水前の事前準備に要する日数は概ね1～2日。

#### (2) 鹿児島県農業開発総合センター大隅支場における試験

湛水実施の有無とリン酸減肥の有無がニンジンの生育収量に及ぼす影響を二カ年にわたり調査しました。ニンジンの初期生育は、夏期湛水を行った場合に旺盛でした（写真 7）。リン酸肥沃度が小さいほ場では夏期湛水により収量が増加し、リン酸を3割減肥しても標準施肥と同等の収量が得られました。リン酸肥沃度が中程度のほ場では、リン酸肥沃度の小さいほ場で見られた湛水による顕著な生育改善効果はありませんが、慣行栽培（無湛水標準施肥区）と同等の安定した収量が得られました（図 1）。また、夏期湛水を行なった場合には、収穫したニンジンの皮色が鮮やかで外観品質が向上しました。

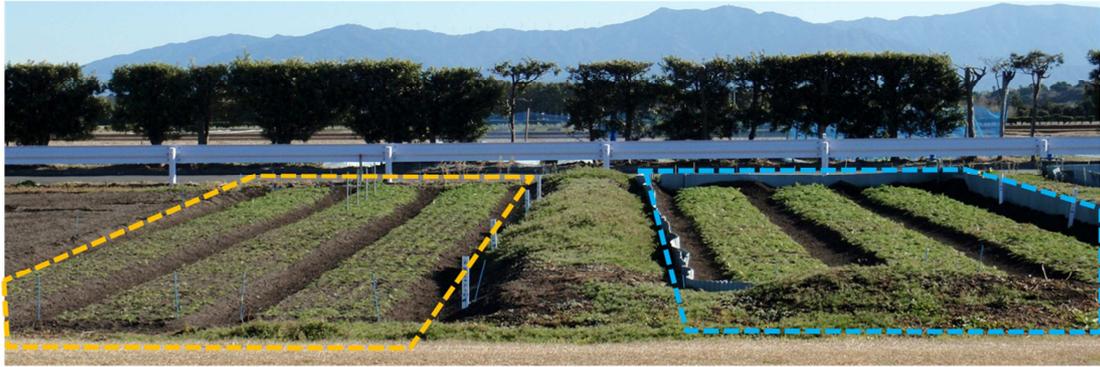


写真 7 ニンジンの初期生育

黄色の破線で囲んだ無湛水区に比べて青色の破線で囲んだ湛水区では初期生育が良好でした。

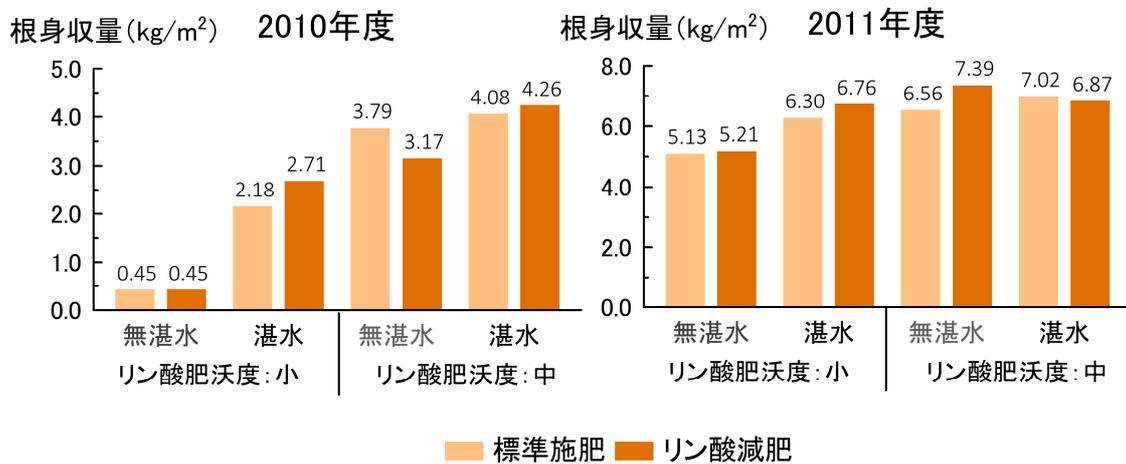


図 1 ニンジンの収量

土壌中の有効態リン酸含量は、リン酸肥沃度小のほ場で、6 mg/100g、リン酸肥沃度中のほ場で 11 mg/100g 以上でした。ニンジン品種は向陽 2 号を用い、株間 10cm、条間 12cm の 6 条播きとしました(栽植密度は 44,444 株/10a)。は種は 8 月下旬、追肥は 10 月下旬、収穫は 1 月下旬に行いました。

### (3) 湛水処理に伴う土壌の変化

#### (i) 土壌蓄積リン酸の有効化

夏期湛水では長期間にわたって土壌は水面下にあるため、表層土の孔隙は水で飽和(飽水)されます。湛水後活発な微生物活動によって有機物の酸化分解が起こり、それと併行して酸素の消費、ついで鉄やマンガンの還元が生じます。鉄の還元によりリン酸鉄として沈殿、固定されていた土壌蓄積リン酸が有効化します(図 2)。土壌還元により生成したリン酸イオンは落水により再びリン酸塩として沈殿しますが、後作物の栽培中の水分状態の変動や作物根の伸長により容易に有効化することが期待されます。

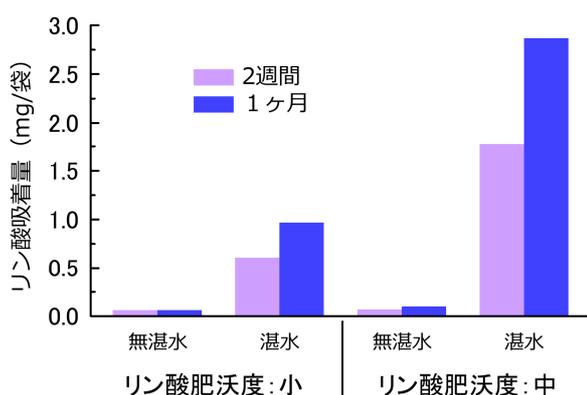


図 2 湛水処理に伴う土壌蓄積リン酸の可溶化

湛水前には場に陰イオン交換樹脂を埋め込み、後日回収し、樹脂に吸着したリン酸を浸出、分析することで、土壌中のリン酸鉄が土壌還元進行によりどれだけ溶解してくるかが分かります。樹脂へのリン酸吸着量は土壌のリン酸肥沃度の大小を反映しており、湛水後わずか2週間で相当量のリン酸イオンが生成することがわかりました。

(ii) 土壌物理性の改善効果

湛水処理に伴う代かきにより土壌が締め固められます。表 4 には、ニンジン栽培跡地土壌の作土深と次層のち密度並びに次層の pF1.5 水分量（作物が吸収しやすい有効水分）を示しました。湛水を行なったほ場では作土層は浅く、また、次層のち密度が上昇する傾向にあります。ニンジン播種期の9月上旬は鹿児島では非常に暑く、降雨がなければ作土は非常に乾きやすい状態です。次層の pF1.5 水分が上昇することから次層の保水性が向上し、作土への毛管上昇による水分供給が期待できます。これら湛水に伴う土壌物理性の変化がニンジンの発芽、初期生育を良好にし、増収を促す要因となると考えられます。

表 4 ニンジン栽培跡地土壌作土深と次層ち密度、次層 pF1.5 水分

区名		作土深 cm	次層ち密度 mm	pF1.5水分%
リン酸肥沃度中	無湛水	標準施肥	14	41.2
		3割減肥	15	42.9
	湛水	標準施肥	11	49.1
		3割減肥	12	43.9
		14.5	17.5	42.1
リン酸肥沃度小	無湛水	標準施肥	15	45.0
		3割減肥	—	—
	湛水	標準施肥	12	47.1
		3割減肥	—	—
		22.2	21.0	46.5

注)2011年調査データ

以上、夏期湛水によるリン酸減肥栽培では、湛水区は無湛水に比べて、次層水分が増加したことから初期の発芽が良好で初期生育が旺盛になりました。また、リン酸施用量を3割減らしても慣行施肥並みの収量が得られました。湛水によりほ場に埋設した陰イオン交換樹脂に吸着されたリン酸量が増加したことから土壌蓄積リン酸の有効化が認められました。

4) 夏期湛水による雑草と線虫の防除効果

(1) 雑草の防除効果

秋作物を栽培する前に夏期が休閑期間となる作付体系ではほ場の雑草管理が問題となり

ます。湛水を実施せず、放置すると写真8のように雑草は繁茂した状態になりますが、夏期湛水を実施すると写真9のように雑草の発生を抑えることができます。夏期湛水の30日間で難防除畑雑草であるハリビユ（写真10）の抑草効果が確認され、オヒシバ、メヒシバ、その他雑草も含めた抑草効果が認められました（図3）。



写真8 慣行区の雑草繁茂状態



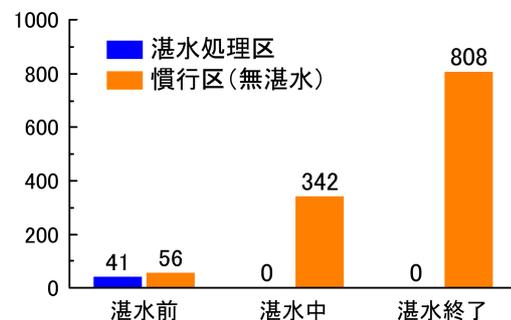
写真9 湛水処理区の状態



写真10 ハリビユ

ヒユ科の一年草で熱帯アメリカ原産です。葉腋および花序に細く鋭い棘を持ちます。ロータリー耕耘で鋤込むと、切断した茎から個別に生育するため拡散します。発生初期の抜き取りや刈り取り、そして非選択性除草剤による駆除しかない難防除畑雑草です。

雑草合計生重(g/m<sup>2</sup>)



注) 発生雑草量はオヒシバ、ハリビユ、メヒシバ、その他の順で図には合計量を示した。

図3 湛水期間中の雑草発生調査

## (2) 夏期湛水の線虫防除効果

ネコブセンチュウ(写真11)やネグサレセンチュウなどの有害線虫は根を加害し、こぶ(写真12)や腐れを生じさせて作物の生育を阻害します。有害線虫の防除には圃場湛水処理の効果が高いことが古くから知られています。畑地かんがい用水を利用した夏期湛水による線虫密度低減および作物被害軽減効果実証試験を行った結果を紹介します。表5に葉タバコとカンショ圃場における湛水処理前後および作物作付後の有害線虫の密度を示しました。薬剤処理区および非湛水区では作付後の線虫密度の回復が著しいのに対し、湛水処理区で

は密度回復の程度が低いことがわかります。また、葉タバコ根およびサツマイモ根における線虫被害程度は湛水処理区において小さく、高い防除効果が認められました（図4）。



写真 11 ネコブセンチュウ



写真 12 ニンジンの根こぶ被害

表 5 深さ 15cm における有害線虫密度の推移（鹿児島県鹿屋市）

	ネコブセンチュウ（葉タバコ畑）			ネグサレセンチュウ（カンショ畑）		
	処理前	処理後 (作付前)	作付後	処理前	処理後 (作付前)	作付後
非湛水	161	9	855	14	5	299
30日湛水	40	1	40	49	0	24
40日湛水	36	0	16	18	0	12
50日湛水	103	0	6	23	0	0
薬剤処理*	131	0	866	29	0	149

単位：頭/20g土

\*非湛水とし、殺線虫剤(ダゾメット)を処理した。

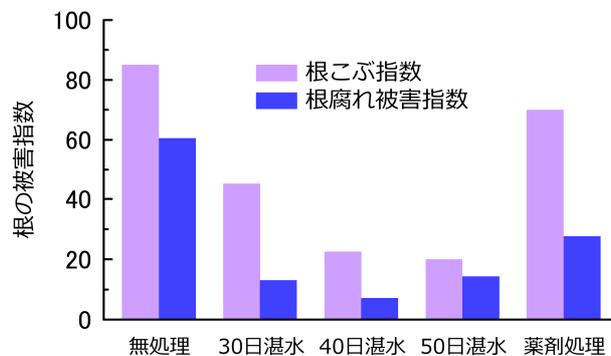


図 4 葉タバコ根のネコブセンチュウ被害（左）およびカンショ根のネグサレセンチュウ被害（右）に対する湛水防除効果（鹿児島県鹿屋市）

指数の説明：根こぶ指数、根腐れ被害指数=Σ(程度指数×同指数に属する株数)/(4×調査株数)×100 ただし、根こぶ程度：0(無)：全く認められない、1(少)：根こぶがわずかに認められる、2(中)：根の一部に多数の根こぶまたは根全体にまばらに認められる、3(多)：根全体に多数の根こぶが認められる、4(甚)：大きな根こぶが連なる。根腐れ被害程度(塊根表皮の被害痕の状況)：0(無)：全く認められない、1(少)：被害痕がわずかに認められる、2(中)：塊根の一部に連なった被害痕または根全体にまばらに認められる、3(多)：塊根全体に多数の被害痕が認められる、4(甚)：大きな被害痕が多数認められる。

### 5) 夏期湛水の経営評価

夏期湛水作業による経営評価を鹿児島県農業経営管理指導指標(平成23年3月)を用いて実施しました。2010年から2011年にかけてのニンジン生産量の平均収量は慣行区で5,226kg/10a、夏期湛水区で5,555kg/10aとなりました(表6)。単価については90.6円/kgとして試算した結果、慣行区の粗収益は473,476円、夏期湛水区は503,283円(慣行区比106%)となりました。生産費では夏期湛水によりリン酸肥料が3割減肥できることから肥料費が慣行区比88%、農薬衛生費が殺線虫剤と除草剤の必要がないことから慣行区比30%と削減できますが、一方で、夏期湛水費用が20,000円/10a経費として増加します。このため生産費は慣行区より1.3%増加しました。**これらを統合して農業所得を試算すると夏期湛水栽培では農業所得が慣行区比115%、所得率は慣行区比1.7%増加しました。**

夏期湛水の経営コスト評価では、収量の増加、肥料費、農薬費の削減から収益性が向上しました。また、夏期湛水の除草効果は難防除畑雑草であるハリビユ、また、その他の畑雑草の抑草効果も確認できました。

表6 10a当たりの生産費(単位:円/10a)

区 分		慣 行 (無湛水)	湛 水	備 考
粗 収 益	生 産 量	5,226	5,555	2011年リン酸肥沃度中群の平均収量
	単 価	90.6	90.6	H17~21 JA指宿・南さつま12~4月平均単価
	金 額	473,476	503,283	
	粗 収 益 合 計	473,476	503,283	
費 財 用	租 税 公 課	1,352	1,352	
	種 苗 費	39,348	39,348	
	肥 料 費	18,650	16,412	リン酸3割減肥
	農 薬 衛 生 費	20,006	6,066	殺線虫剤・除草剤不使用
	動 力 光 熱 費	10,952	10,952	
	湛水作業経費	0	20,000	夏期湛水委託費(勾配造成費を含まず)
	農 業 共 済 掛 金	520	520	
	減 価 償 却 費	59,298	59,298	
	賃 借 料	2,042	2,042	
	土 地 改 良 費	4,981	4,981	
	そ の 他 物 財 費	17,867	17,867	
	労 働 費	101,908	101,908	
	生 産 費	276,924	280,746	物財費+労働費
総 原 価	462,045	477,036	資本利子・地代全額算入生産費+流通費	
農 業 経 営 費	377,878	392,868	支払資本利子+支払地代+流通費	
農 業 所 得	95,598	110,415		
所 得 率	20.2%	21.9%	農業所得÷粗収益	

## 6) その他（参考資料等）

1. 笠之原地区土壌病害虫防除効果実証試験総合報告書（平成 20 年 3 月、笠之原地区土壌病害虫防除効果検討委員会）
2. 鹿児島県農業経営管理指導指標（平成 23 年 3 月、鹿児島県農政部）
3. 獄崎研・田中正一・岩堀英晶（2011）夏期の湛水処理による植物寄生性線虫類に対する防除効果. 鹿児島県農業開発総合センター研究報告 耕種部門(5)、33-42.

## 7) 担当者・問い合わせ先

### 研究担当者

（独）農研機構 九州沖縄農業研究センター  
荒川祐介・岩堀英晶

鹿児島県農業開発総合センター

森清文・脇門英美・肥後修一

### 問い合わせ先

（独）農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター  
〒861-1102 熊本県合志市須屋 2421 電話 096-242-1150（代表）

鹿児島県農業開発総合センター大隅支場 環境研究室

〒893-1601 鹿児島県鹿屋市串良町細山田 4938 電話 0994-62-2001（代表）