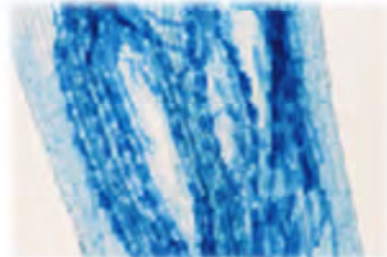


農林水産省委託プロジェクト研究
気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト
施肥削減に向けた生産技術体系の開発 研究成果

土壌診断、施肥法改善、土壌養分利用による リン酸等の施肥量削減にむけた技術導入の手引き



平成26年3月

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター

はじめに

国内で使用されている化学肥料は海外からの輸入資源に大きく依存しています。今後、世界の肥料需給が楽観視できない中で、肥料コスト増加が農家経営に大きな影響を及ぼし、将来的な食料の安定供給に支障をきたす要因ともなりかねません。その一方で、国内農地土壌では、リン酸、カリウムの過剰蓄積による土壌養分バランスの悪化が顕在化してきています。

このような状況の改善を図るため、平成 21 年度より農林水産省の委託プロジェクト研究として、独立行政法人農研機構、公設試験研究機関、大学、民間が一体となって農業生産力を維持しつつ、リン酸等の化学肥料の投入量を削減するための研究に取り組んできました。

この手引きは、本委託プロジェクト研究で行われた成果の一部として「土壌診断に基づく減肥技術」、「新しいリン酸施肥技術」、「土壌リン酸の有効利用技術」についてとりまとめたものです。

「土壌診断」では水田土壌の有効態リン酸に基づく減肥指針および畑土壌の有効態リン酸の新たな分析法による施設キュウリの減肥指針について、「新しい施肥」ではリン酸のセル苗施肥、定植前施用およびスポット施肥による露地野菜のリン酸減肥、「土壌リン酸の利用」では菌根菌や緑肥を利用したダイズ、トウモロコシなどの畑作物、拍動かん水などの養液土耕装置による露地果菜類、畑地のかんがい施設を利用した夏期湛水によるニンジンのリン酸減肥について解説しています。ここで紹介した技術が生産現場での省肥料対策として関心をもたれ、導入されることを期待するものであります。

目次

はじめに

I 土壌診断評価法の改良とリン酸・カリウムの減肥指針	-----	1
1. 水稲作のリン酸・カリウムの減肥に向けて		
1) 背景	-----	2
2) リン酸減肥の基本的な指針	-----	2
3) リン酸減肥の基本指針の解説	-----	2
4) リン酸減肥指針の具体的策定例	-----	5
5) カリウム減肥の基本的な考え方	-----	7
6) カリウム減肥指針の具体的策定例	-----	8
7) その他（参考資料等）	-----	10
8) 担当者・問い合わせ先	-----	10
2. 畑土壤中リン酸の現場型評価法に基づく施設キュウリでのリン酸減肥		
1) 背景	-----	12
2) 安全・簡便な畑土壤中リン酸の現場型評価法	-----	12
3) 施設キュウリにおけるリン酸減肥	-----	15
4) その他（参考資料等）	-----	17
5) 担当者・問い合わせ先	-----	18
II 露地野菜のリン酸施肥量削減のための新しい施肥方法	-----	19
1. セル内リン酸施肥によるキャベツのリン酸施肥量の削減		
1) 背景	-----	20
2) 技術の内容と特徴	-----	20
3) 技術導入にあたってのコスト評価	-----	23
4) その他（参考資料等）	-----	23
5) 担当者・問い合わせ先	-----	24
2. 定植前リン酸苗施用による野菜のリン酸施肥量の削減		
1) 背景	-----	25
2) 技術の内容と特徴	-----	25
3) 技術導入にあたってのコスト評価	-----	29
4) その他（参考資料等）	-----	30
5) 担当者・問い合わせ先	-----	30
3. うね内複合施用によるキャベツの施肥量の削減		
1) 背景	-----	31

2) 技術の内容と特徴	-----	31
3) 技術導入にあたってのコスト評価	-----	35
4) その他（参考資料等）	-----	36
5) 担当者・問い合わせ先	-----	36
4. まとめ	-----	37
III 土壌リン酸の有効利用によるリン酸施肥削減技術	-----	38
1. 土着菌根菌利用によるリン酸減肥技術		
1) 背景	-----	39
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	-----	42
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	-----	45
4) その他（参考資料等）	-----	49
5) 担当者・問い合わせ先	-----	49
2. リン酸減肥のための緑肥の使い方		
1) 背景	-----	50
2) 緑肥に期待されるリン酸吸収促進効果	-----	50
3) 冬作物のリン酸減肥のための夏作緑肥の導入	-----	51
4) 夏作物のリン酸減肥のための冬作緑肥の導入	-----	54
5) ヘアリーベッチの導入による減肥栽培実証	-----	56
6) その他（参考資料等）	-----	59
7) 担当者・問い合わせ先	-----	59
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	-----	60
2) 低コスト養液土耕装置について	-----	60
3) 露地果菜類におけるリン酸減肥について	-----	63
4) その他（参考資料等）	-----	68
5) 担当者・問い合わせ先	-----	68
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	-----	69
2) 夏期湛水の方法について	-----	69
3) 夏期湛水後のニンジンの減化学肥料栽培	-----	72
4) 夏期湛水による雑草と線虫の防除効果	-----	74
5) 夏期湛水の経営評価	-----	77
6) その他（参考資料等）	-----	78
7) 担当者・問い合わせ先	-----	78

I 土壤診断評価法の改良とリン酸・カリウムの減肥指針

1. 水稲作のリン酸・カリウムの減肥に向けて

1) 背景

肥料原料の輸入価格が2008年に急騰し、農業生産における肥料費の抑制が喫緊の課題になるとともに、原料資源の有限性に対する危機意識から資源の有効利用が以前にも増して大きな課題となっています。一方、多くの水田土壌では、長年努力を続けてきた土壌改良の結果、地力増進基本指針の改善目標の下限值や各機関で定められている土壌診断における下限値より多くリン酸とカリウムが含まれる状況が見られるようになってきています。これらの養分が改善目標の下限值以上に含まれていれば、減肥が可能と考えられてきましたが、広く普及できる明確な減肥指針がありませんでした。そこで、水稲作のリン酸とカリウムを減肥する指針を策定しました。

2) リン酸減肥の基本的な指針

既存の改善目標の下限值*を基準とし安全を見越した幅を持たせて、有効態リン酸が10～15mg/100gの場合には標準施肥量～その半量の施肥を、15mg/100gより大きい場合には半量の施肥を推奨する。

*トルオーグ法による有効態リン酸(トルオーグリン酸)が乾土100gあたり10mg(10mg/100gと表記)。

3) リン酸減肥の基本指針の解説

(1) リン酸を減肥しても水稲収量が確保できる。

本州以南の代表的な気象と土壌条件を選定して、4年間リン酸を減肥する水稲栽培試験を継続実施しました。有効態リン酸10mg/100g前後とそれよりリン酸が蓄積した圃場を準備し、リン酸無施用、標準から1/2に減肥した処理、標準施肥量で栽培試験を継続しました。その結果、有効態リン酸10mg/100g前後より大きい圃場では、1/2減肥では、生育量と収量が低下することはほとんどありませんでした(図1)。なお、この栽培試験では、稲わらは全量圃場に還元しました。本稿では、これ以降、土壌中の有効態リン酸量の推移やリン酸の減肥量に関して述べますが、稲わらは全量圃場に還元することを前提としています。

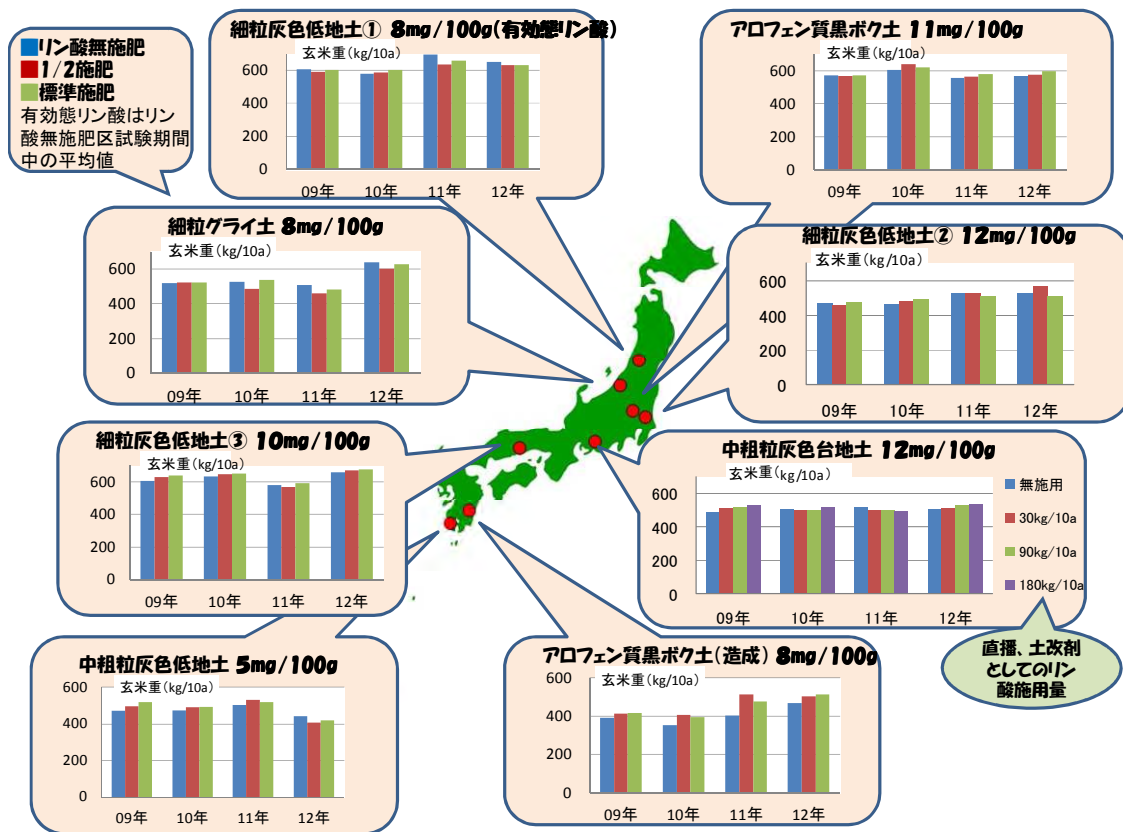


図1 有効態リン酸が改善目標下限値前後の土壤におけるリン酸減肥試験の玄米収量

(2) リン酸無施肥栽培すると土壤の有効態リン酸が減少する。

水稻の生育量が低下しなくても、リン酸無施肥栽培あるいはリン酸少量施肥栽培を継続すると、土壤中の有効態リン酸は水稻の吸収と土壤による固定で減少します。リン酸無施肥栽培試験を継続した結果、有効態リン酸の栽培経過年数に応じた減少傾向を数式化することができました。各地で得られた数式を適用して有効態リン酸の減少推移を推定しました(表1)。地域性より土壤の性質の影響が強く、粗粒質な土壤で減少が早い場合があり、黒ボク土では造成後間もない水田のように土壤改良剤の投入し始めからの年数経過が短い場合(表1では黒ボク土造成)で非常に早く減少することがわかります。

表1 リン酸無施肥栽培した場合の有効態リン酸減少推定推移

細粒グライ土		細粒灰色低地土①				細粒灰色低地土②				細粒灰色低地土③			
経過年数	有効態リン酸量(mg/100g)	経過年数	10	15	35	経過年数	10	15	35	経過年数	10	15	35
0	10	0	10	15	35	0	10	15	35	0	10	15	35
1	9.1	1	9.1	13.7	31.9	1	9.3	14.0	32.6	1	9.2	13.8	32.2
2	8.3	2	8.3	12.5	29.1	2	8.7	13.0	30.3	2	8.4	12.7	29.6
3	7.6	3	7.6	11.4	26.5	3	8.1	12.1	28.2	3	7.8	11.6	27.2
4	6.9	4	6.9	10.4	24.2	4	7.5	11.2	26.2	4	7.1	10.7	25.0
5	6.3	5	6.3	9.5	22.1	5	7.0	10.5	24.4	5	6.6	9.8	23.0
6	5.8	6	5.8	8.6	20.1	6	6.5	9.7	22.7	6	6.0	9.0	21.1
7	5.2	7	5.2	7.9	18.4	7	6.0	9.1	21.2	7	5.5	8.3	19.4
8	4.8	8	4.8	7.2	16.8	8	5.6	8.4	19.7	8	5.1	7.6	17.8
9	4.4	9	4.4	6.5	15.3	9	5.2	7.9	18.3	9	4.7	7.0	16.4
10	4.0	10	4.0	6.0	13.9	10	4.9	7.3	17.0	10	4.3	6.5	15.1

中粗粒灰色台地土				中粗粒灰色低地土				アロフェン質黒ボク土				アロフェン質黒ボク土造成			
経過		有効態		経過		有効態		経過		有効態		経過		有効態	
年数	リン酸量(mg/100g)			年数	リン酸量(mg/100g)			年数	リン酸量(mg/100g)			年数	リン酸量(mg/100g)		
0	10	15	35	0	10	15	35	0	10	15	35	0	10	15	35
1	9.2	13.8	32.3	1	8.0	12.0	28.1	1	9.4	14.1	32.9	1	5.6	8.4	19.5
2	8.5	12.8	29.8	2	6.4	9.7	22.6	2	8.9	13.3	31.0	2	3.1	4.7	10.9
3	7.9	11.8	27.5	3	5.2	7.8	18.1	3	8.3	12.5	29.2	3	1.7	2.6	6.0
4	7.3	10.9	25.4	4	4.2	6.2	14.6	4	7.9	11.8	27.5	4	1.0	1.4	3.4
5	6.7	10.1	23.5	5	3.3	5.0	11.7	5	7.4	11.1	25.9	5	0.5	0.8	1.9
6	6.2	9.3	21.7	6	2.7	4.0	9.4	6	7.0	10.4	24.4	6	0.3	0.4	1.0
7	5.7	8.6	20.0	7	2.2	3.2	7.5	7	6.6	9.8	22.9	7	0.2	0.2	0.6
8	5.3	7.9	18.5	8	1.7	2.6	6.1	8	6.2	9.3	21.6	8	0.1	0.1	0.3
9	4.9	7.3	17.0	9	1.4	2.1	4.9	9	5.8	8.7	20.3	9	0.1	0.1	0.2
10	4.5	6.7	15.7	10	1.1	1.7	3.9	10	5.5	8.2	19.1	10	0.0	0.0	0.1

栽培開始時の有効態リン酸が10、15、35mg/100gの場合の減少経過を示す。

(3) 施肥により土壌のリン酸量を維持する。

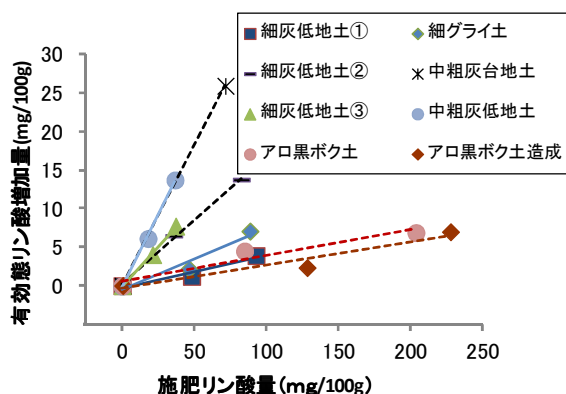


図2 各地の土壌におけるリン酸施肥により増加する有効態リン酸量

施肥により増加する有効態リン酸量を明らかにした実験結果(図2)を基に、水稻作期間中に減少する有効態リン酸(表1)を補給するための施肥量を算出できます。特に、改善目標の下限值(10mg/100g)状態から減少する有効態リン酸量の補給は、改善目標を維持するために必要なもので、表2にまとめました。その施肥リン酸量は、概ね、各地の標準施肥量からその半量程度で、

黒ボク土を除いて、リン酸吸収係数が大きい土壌で多くなる傾向があります。なお、前述した有効態リン酸の減少が非常に早い黒ボク土造成(表1)の場合は、必要施肥量の算出対象外としました。このような土壌では、土壌改良資材による多量のリン酸投入が必要です。

そして、土壌中の有効態リン酸が改善目標の下限值より多ければ、その減少は許容できますので、施肥量を少なくし、有効態リン酸が15mg/100gより多い場合には標準の半量施肥とすることを推奨します。この場合には、表1を参考に、有効態リン酸が下限値に達するまでの期間(例えば15mg/100gの時点からは、中粗粒灰色低地土で2年、その他土壌では5~7年)を目安に土壌診断を実施して、施肥量を見直すことが無難です。

表2 有効態リン酸改善目標の下限值を維持するために必要なリン酸施肥量(kg/10a)

細粒グライ土 (1110)	細粒灰色 低地土① (900)	細粒灰色 低地土② (630)	細粒灰色 低地土③ (390)	中粗粒灰色 台地土 (340)	中粗粒灰色 低地土 (180)	アロフェン質 黒ボク土 (2070)
11.1	14.0	5.8	4.9	3.2	6.3	8.6

()内数値はリン酸吸収係数(mg/100g)

4) リン酸減肥指針の具体的策定例

(1) 寒冷地灰色低地土水田におけるリン酸50%低減栽培

山形県内の水田でも、これまで施用されたリン酸が土壌診断改善目標の下限値以上に蓄積している圃場が見られます。従来より、リン酸の施肥効果は寒冷地で高いことが知られていますが、寒冷地水田において、リン酸の減肥指針策定に取り組みました。

寒冷地灰色低地土水田において、改善目標の下限値前後のリン酸状態では、リン酸50%低減栽培が、3年を限度として、生育と収量に影響を与えることなしに実施可能です。

(i) リン酸50%低減栽培

土壌のリン酸肥沃度が異なる各圃場に基肥リン酸量を7(慣行)、3.5(50%低減)、0kg/10aに設定し、2009年から2012年まで水稻品種「はえぬき」を毎年同一管理で栽培しました。

リン酸50%低減処理では、減肥4年目になると有効態リン酸量を異にする圃場間で初期茎数に変化がみられましたが(図3)、減肥3年目までは、すべての圃場で初期茎数、穂数、収量はほぼ慣行と同等でした。また、リン酸50%低減処理では、玄米の品質(粗タンパク質含有率)の低下も認められませんでした(図4)。従って、いずれのリン酸肥沃度の圃場においても、特に有効態リン酸が改善目標の下限値程度あれば、50%リン酸低減栽培が可能であり、少なくとも3年間は減肥の影響が極めて小さくなると考えられます。

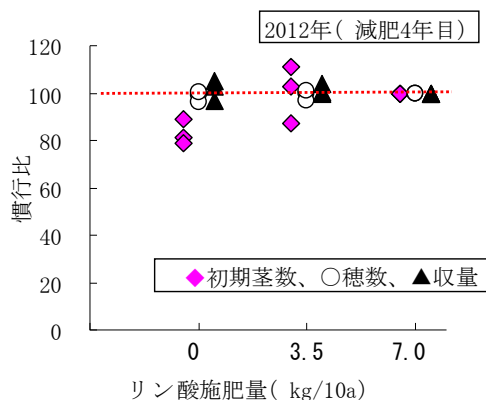


図3 初期茎数、穂数、収量に及ぼすリン酸減肥の影響

試験 4年間の平均有効態リン酸(mg/100g)が3、9、22の3圃場データから作図。

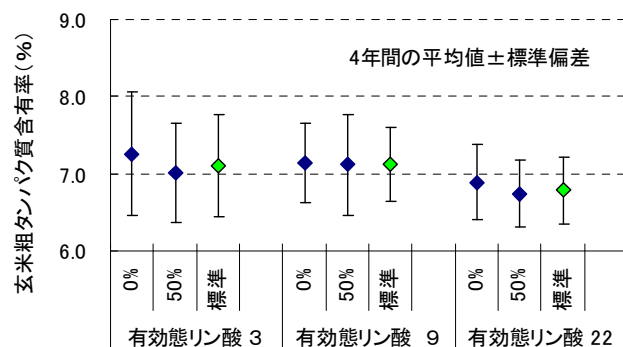
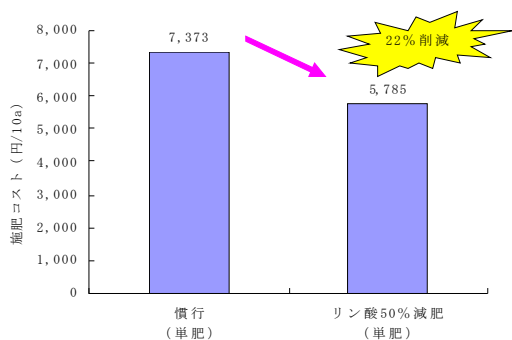


図4 玄米粗たんぱく質含有率に及ぼす土壌中のリン酸量とリン酸減肥の影響

有効態リン酸は4年間の平均値(mg/100g)、リン酸無施肥(0%)、リン酸半減肥(50%)、標準施肥(標準)を実施。

(ii) リン酸50%低減による施肥コストの削減



リン酸50%低減栽培の施肥コストは慣行施肥に比べ22%減少しました(図5)。また、今回の試験では、単肥(硫安、過リン酸石灰、塩化カリ)で比較しましたが、通常使用される化成肥料の価格と比べた場合だと16%の削減となります。

図5 施肥コスト (2012年度の価格で算出)

(2) グライ土水田におけるリン酸50%低減栽培

新潟県の水田の70%は排水不良による青灰色のグライ層を持つ粘土質のグライ土水田で、土壤中に鉄と結合したリン酸が豊富にあります。湛水により土壤の還元化が進むと、リン酸は、鉄との結合が緩み、水稻が利用しやすい形態に変化します。新潟県の平坦地グライ土水田における、リン酸減肥指針を策定しました。

平坦地のグライ土水田においては、土壤のリン酸改善目標を概ね満たしているか、目標をやや下回っている場合であっても、現行の標準施肥量に対するリン酸50%低減栽培が実施可能です。

(i) リン酸50%低減施肥の水稻生育、土壤中リン酸量に及ぼす影響

リン酸施肥量を、現行の栽培指針による標準量(概ね7kg/10a)に対して、3.5kg/10aに半減、あるいは0kg/10a(無リン酸)として、2009年から3年間コシヒカリを栽培しました。

水稻初期生育の低下が懸念されましたが、初期の茎数増加率(移植30日後頃の茎数/移植本数)には施肥低減の影響は見られませんでした(表3)。また、最高分けつ期ころの稲体リン酸濃度は1.0%程度と高く、3年間、収量や玄米品質への影響もありませんでした。

表3 リン酸減肥栽培の水稻生育への影響(3年間の平均値)

調査ほ場	施肥水準	初期茎数増加率	稲体リン酸濃度(%) (最高分けつ期)	収量(kg/10a)
A地域 有効態リン酸 8.2mg/100g	0kg	1.64	0.96	559
	3.5kg	1.54	0.94	556
	7kg	1.55	0.94	555
B地域 有効態リン酸 5.4mg/100g	0kg	1.76	1.04	551
	3.5kg	1.85	1.04	572
	7kg	1.68	1.05	562
研究センター(ほ場) 有効態リン酸 10.4mg/100g	0kg	2.25	1.05	518
	3.5kg	2.60	1.04	491
	7kg	2.46	1.03	515

茎数増加率は、移植後約1ヶ月の茎数を植付本数で割った値

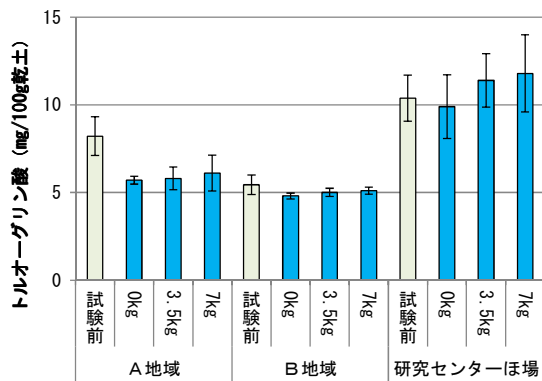


図6 減肥栽培3年経過後の有効態リン酸量
エラーバーは標準偏差

さらに、減肥栽培継続3年後の有効態リン酸量に、施肥量による違いはほとんど見られませんでした(図6)。

圃場からのリン酸収奪量は、稲わらすき込みを前提とした場合、毎年、収量による3.5~4kg/10aと試算されます(収量540kg/10aの場合)。水稻の生育を見る限り大幅なリン酸減肥が可能と考えられますが、長期的な視点から、収奪量程度の施肥(3.5kg/10a)、すなわち、50%低減施肥が推奨されます。

肥が推奨されます。

(ii) リン酸50%低減による施肥コストの削減

新潟県におけるコシヒカリの標準的施肥量からリン酸成分量を50%にすると、10a当たりの肥料費が4,827円から3,900円に約2割削減できることとなります(化成肥料での比較)。

5) カリウム減肥の基本的な考え方

(1) カリウム減肥しても水稻収量が確保できる。

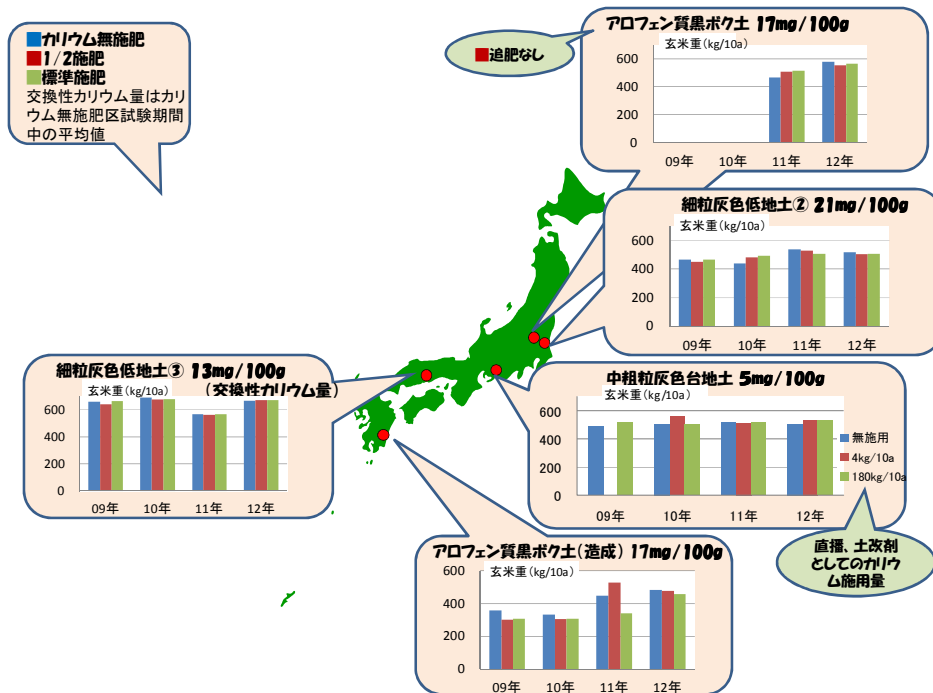


図7 各地のカリウム減肥試験における玄米収量

各地で4年間カリウムを減肥する水稻栽培試験を継続実施しました。交換性カリウム (K_2O) が20mg/100g前後 (試験開始時の値) の圃場を準備し、カリウム無施肥、標準の1/2 (アロフェン質黒ボク土では2/3) に減肥した処理、標準施肥で栽培試験を継続しました。その結果、試験開始時に交換性カリウムが20mg/100g前後より高ければ、大きく減肥しても、生育量と収量が低下することはほとんどありませんでした (図7)。なお、この栽培試験では、稲わらは全量圃場に還元しました。本稿で述べるカリウムの減肥に関しては、稲わらは全量圃場に還元することを前提としています。

(2) ナトリウムの代替吸収が生じないようにカリウムを施肥する。

水稻ではカリウムの吸収量がある限度以下になるとナトリウムを代替吸収する現象が報告されています。このナトリウムの代替吸収が生じるのはカリウムの潜在的な欠乏だと考えられますので、代替吸収が生じないことを指標にしてカリウム施肥をすることを新たな指針としました。

6) カリウム減肥指針の具体的策定例

(1) 岡山県における新たなカリウム減肥指針

(i) 新たなカリウム施肥指針の作成

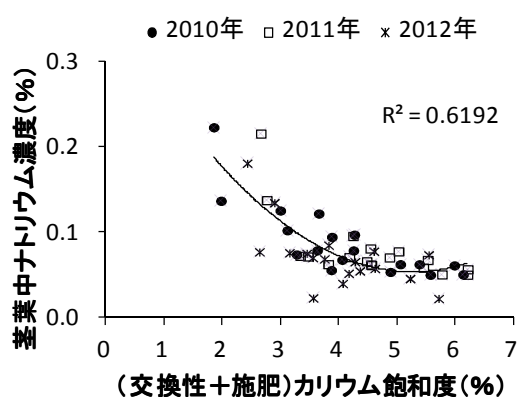


図8 「(交換性+施肥)カリウム飽和度」と成熟期の茎葉中ナトリウム濃度との関係

交換性カリウム量を異にする水田へ、それぞれカリウム施肥量を変えた試験区を設け、水稻 (品種: ヒノヒカリ) の栽培試験を実施しました。その結果、4年間栽培を続けても収量や食味等の玄米品質に試験区間の差は認められませんでした。

ところが、土壌の交換性陽イオン保持容量CECに占める交換性カリウムと施肥

カリウムが全て交換性になると仮定して算出した交換性カリウムの含量の割合「(交換性+施肥)カリウム飽和度」が4%を下回ると水稻茎葉中のナトリウム濃度が直線的に高まる現象を確認し (図8)、4%を下回る領域をカリウムの潜在的欠乏領域と定義しました。そして、施肥前土壌のカリウム飽和度が4%以上ではカリウム無施肥、4%を下回った場

合には4%を目標にカリウム施肥を行う、という新たなカリウム施肥指針を策定しました(図9)。

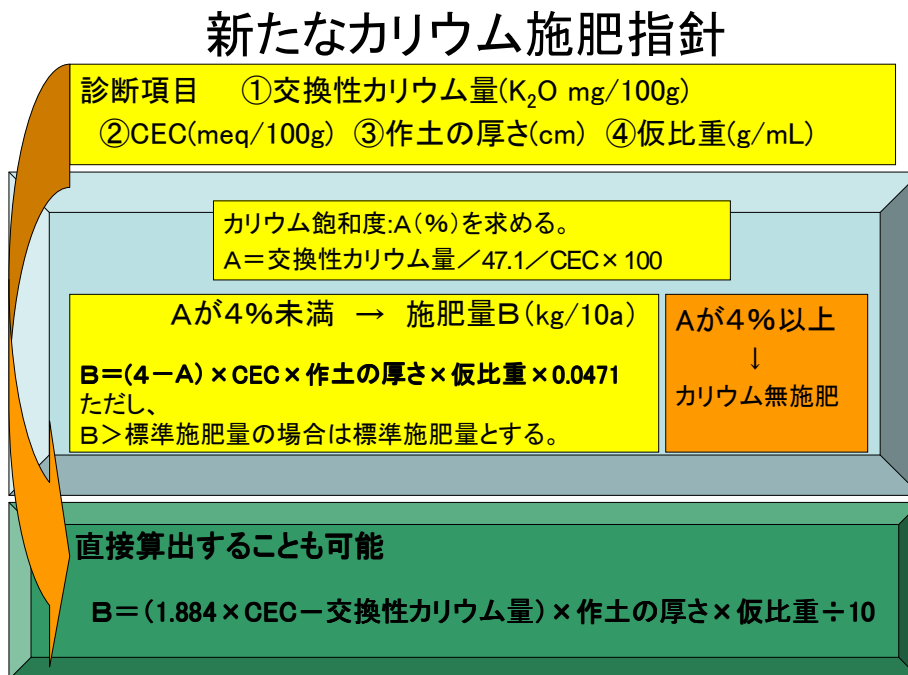


図9 新たなカリウム施肥指針

(ii) 岡山県南部水田地帯におけるカリウム施肥削減効果

岡山県南部の児島湾干拓地を中心とする水田地帯では、土壌調査の結果、カリウム飽和度が4%を上回る水田、すなわち、前述のカリウム施肥指針を適用すると、カリウム無施肥栽培が可能と判定される水田が約8割あることが明らかになりました(図10)。多くの水田で、カリウム施肥量をゼロにして、肥料費を約10%削減することが可能です。

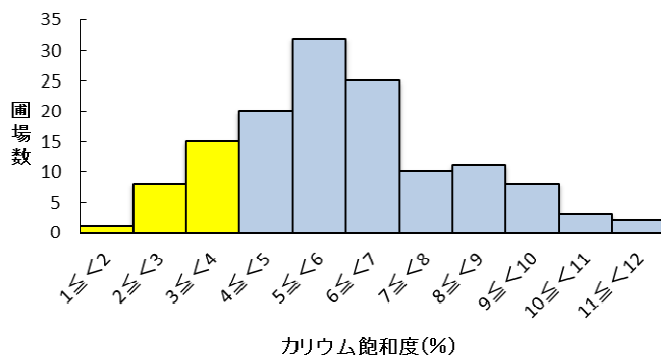


図10 岡山県南部水田のカリウム飽和度 (2006-2010年132筆の調査)

7) その他 (参考資料等)

1. 寒冷地低地土水田におけるリン酸50%低減栽培

http://www.s.affrc.go.jp/docs/project/genba/pdf/120102_21102.pdf

2. リン酸減肥栽培による水稻生育への影響

<http://www.ari.pref.niigata.jp/nourinsui/seikal2/katuyou/23/120223.html>

3. 水稻栽培におけるカリウム減肥基準の策定

http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/291700_1161395_misc.pdf

8) 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、東北農業研究センター、九州沖縄農業研究センター

新良力也・西田瑞彦・土屋一成・高橋智紀・吉田光二・原嘉隆

山形県農業総合研究センター

塩野宏之・熊谷勝巳・横山克至・布山美恵・水戸部昌樹・今野陽一・齋藤寛・
中川文彦

新潟県農業総合研究所作物研究センター

金井政人・南雲芳文・土田徹・東聡志

茨城県農業総合センター農業研究所

池羽正晴・宮本寛・橘恵子・佐藤潤次・桐原俊明・折本美緒・小山田一郎・
塚本心一郎・坪井真樹・田中研一

栃木県農業試験場

吉澤比英子・出口美里・鈴木未来・廣澤美幸・鈴木隆浩・宮崎成生

愛知県農業総合試験場

林元樹・福田充洋・船生岳人・井手康人・奥野綾子・坂紀邦・伴佳典・東野敦・
本庄弘樹・牧田尚之・久野智香子・遠藤征馬・谷俊男・田中雄一・武井真理・
吉川那々子・杉浦和彦

岡山県農林水産総合センター農業研究所

赤井直彦・石井恵・鷺尾建紀・山中基恵・芝宏子

宮崎県総合農業試験場

有簾隆男・上田重英・赤木康

鹿児島県農業開発総合センター

古江広治・長友誠・上菌一郎・白尾吏・三浦伸之・井上健一・餅田利之・有村恭平
・時村金愛

東北大学・大学院農学研究科

伊藤豊彰

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 029-838-8532

2. 畑土壤中リン酸の現場型評価法に基づく施設キュウリでのリン酸減肥

1) 背景

作物栽培に欠かせない主要養分のうち、リン酸に関しては、これまでの土づくりや施肥によって畑土壤中に蓄積してきており、施設栽培土壌の場合、有効態リン酸の全国平均値は、35年近く前の時点で既に150mg/100g弱であり、その後も上昇してきました(図1)。

かなり多くの作物について、リン酸を施肥しなくても収穫量に違いがみられない有効態リン酸の上限水準は100mg/100g程度と考えてよいことから、今後はこうした土壌蓄積リン酸を土壌診断によって評価し、リン酸減肥につなげていくべきといえましょう。

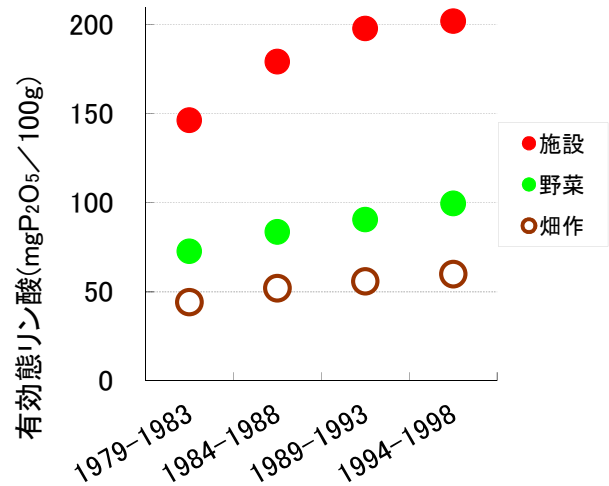


図1 土壌中有効態リン酸（全国平均値）の推移
(土壌保全調査事業成績書から作図)

2) 安全・簡便な畑土壤中リン酸の現場型評価法

土壌中有効態リン酸測定における従来法(トルオーグ法)は、まず強酸を含む抽出液及び振とう用の専用機械を用いて土壌からリン酸を抽出し、次に強酸や重金属を含む試薬を用いて化学反応を行ったのち機器分析を行うもので、現場で簡便に活用できるものではありません(図2左パネル)。一方、現場向きの簡便法もこれまでにいくつか実用化されてきましたが、結果を出すには精度はやや劣る色見本との比較によるか、少なくとも数万円の装置を用いて数値化する必要があります。



図2 現状の土壌診断法(リン酸)と
新たな現場型評価法の概要・特徴

こうしたことから、農業生産現場において誰でも安全に、簡単に、またコストのあまりかからないように、土壌蓄積リン酸をある程度の精度で把握できる方法を新たに開発し（図2右パネル）、リン酸施肥量が多い施設キュウリを対象にリン酸減肥の指標を示すこととしました。

土壌中リン酸の評価にあたり、まずは土壌からリン酸を抽出します。現場での活用を考えると、安全な抽出剤がのぞましく、また、振とう機といった実験機器の利用は避けたいところです。そこで、振とうを行わない水抽出法（不振とう水抽出法）を検討したところ、

☞ 広い容器を用いて、土壌が薄い層になるようにして抽出すれば、振とうしなくても連続的に振とうした場合と同様に水溶性リン酸が抽出される

☞ 抽出に用いる水の量を少なめにすれば、抽出時間や温度の影響を受けにくくなる

といった特徴が明らかとなり、現場で利用できる抽出条件を設定することができました。

抽出の次のステップは分析です。ここで問題なのが分析試薬です。不揮発性の硫酸を用いている点では抽出段階でのトルオーグ法も同様ですが、従来の分析法（モリブデン青法）ではこれよりもはるかに濃厚な硫酸やアンチモンを含有する混合薬品を用いており、劇物としての扱いが必要となります。そこで、市販の毒劇物フリーのリン酸簡易測定キット（以下、酵素法。）の利用を検討したところ、

☞ 不振とう水抽出リン酸は、酵素法でもモリブデン青法とほぼ同様に評価できる

☞ 反応時間の延長などにより、モリブデン青法よりも広範囲の測定ができる

☞ 市販の簡易吸光度計を用いて簡単に数値化できる

といった特徴が明らかとなり、現場で利用できる分析条件を設定することができました。

以上の操作のながれを図3に示します。この方法にかかるコストとしては、簡易吸光度計（ハナインスツルマンツ・ジャパン(株)の Checker HC シリーズ吸光度計/リン酸塩/HI 713 型（¥7,800、税別）に、はかりやストップウォッチといった汎用品を含めた合計でも初期投資で 18,000 円弱、ろ紙や試薬（(株)共立理化学研究所のパックテスト®/りん酸（低濃度）/WAK-P04(D)（¥4,000 / 40 検体分、税別））といった消耗品については1検体あたり 120 円程度と見込んでおり、比較的少額の負担で実施可能であり、現場で活用いただけるよう、別途、他の分析項目への応用も盛り込んだ分析法中心のマニュアルもインターネットで提供中です（→ 4）その他（参考資料等）を参照）。

<抽出から分析までの操作のながれ>

● 不振とう水抽出法

風乾細土:水=1:2.5(重量:容量)で水抽出¹⁾、ろ過。

1) 風乾細土4gを200mL容の
ビーカーなどへはかりこみ、
精製水10mLを添加・混合し、
6~18時間静置。



● 酵素法によるリン酸の現場型測定法

ろ液を精製水で20倍に希釈²⁾。

2) ろ液0.5mLをとり、
水を加えて10mLとして
20倍に希釈。



希釈したろ液1.5mLに試薬を加えて反応開始³⁾。

3) 希釈液1.5mLをとり、
リン酸簡易測定キットの試薬を
添加、混合。5分経過時に
リン酸イオン用の色見本と照合。



[1ppm以上であるようにみえる場合] 25分以上そのまま反応。

[1ppm未満にみえる場合]

希釈前のろ液0.5mLを追加、混合して25分以上反応。



● 簡易吸光度計を用いた数値把握法

精製水を追加して10mLとし、測定。計算⁴⁾。

4) 水溶性リン酸含量(mg P₂O₅/100g 風乾細土) =
[測定値] × 13.4(そのまま反応)、または
[測定値] × 1.74(希釈前のろ液を追加)

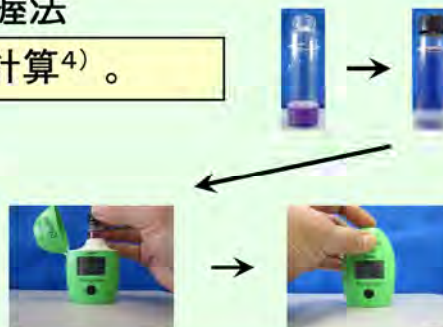


図3 新たな現場型評価法の実施手順

3) 施設キュウリにおけるリン酸減肥

新たな水抽出法によるリン酸減肥指標を設定するにあたり、数多ある作物の中から施設キュウリを対象としたのは、概してリン酸施肥量が多い施設栽培作物であり、かつ作付面積が大きく、リン酸消費量が大きい作物だからです。そして、様々な作物栽培圃場の土壌診断結果から、有効態リン酸の過剰蓄積例の多さではトップクラスの作物とみられるほか、共同研究を実施している群馬・神奈川・高知の各県による現地実態調査でも極度に蓄積した圃場が多数認められました（図4の左）。

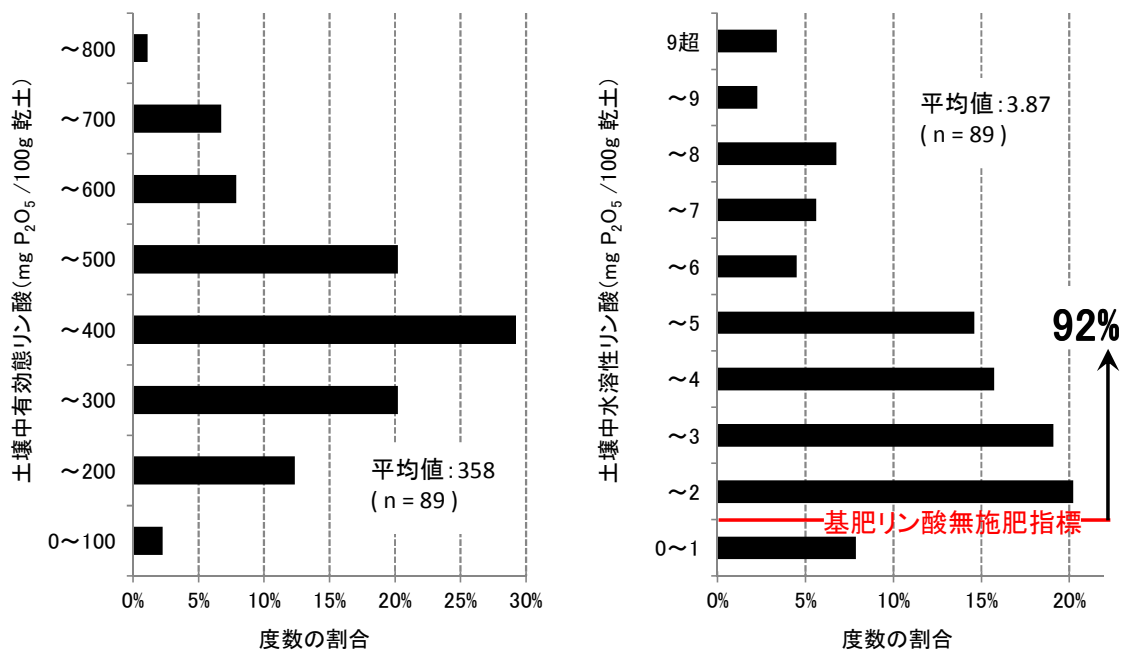


図4 3県の施設キュウリ現地圃場の土壌中有効態リン酸の度数割合の分布
(左) トルオーグ法、(右) 不振とう水抽出法

上記各県の農業研究センターでは、場内や現地圃場においてリン酸減肥を行った場合と行わなかった場合とで施設キュウリの収量などを比較してきました。施設キュウリはリン酸施肥量が多い一方、吸収量も極めて多い（図6）ため、減肥による減収の可能性も予見されましたが、標準施肥区の収量に対するリン酸減肥処理区の収量量の比（収量指数）は0.87~1.23とばらついたものの（図5左）、減肥による減収は明らかではありませんでした。しかし、これらの収量指数のデータを不振とう水抽出リン酸の水準によってグループ化すると、

☞ 不振とう水抽出法で概ね 1.00mg P₂O₅ / 100g 風乾細土

を下回る場合、収量指数が1未満となる例がやや多い（図5右）ことから、これをリン酸減肥栽培の可否の判定指標としました。

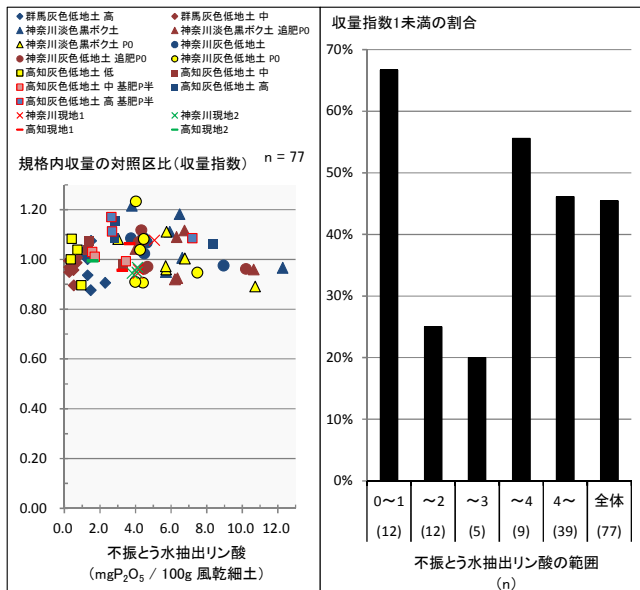


図5 施設キュウリのリン酸用量試験結果

(高P、中P、低P：土壤中可給態リン酸が各々高水準、中程度、低水準の試験区、追肥P0、P0、基肥P半：各々追肥リン酸無施肥、リン酸無施肥、基肥リン酸半量施肥。その他の場内用量試験では基肥リン酸無施肥、現地試験では基肥10~95%減肥。)

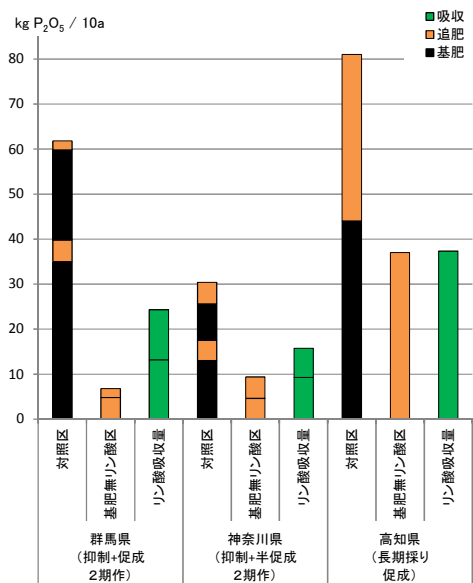
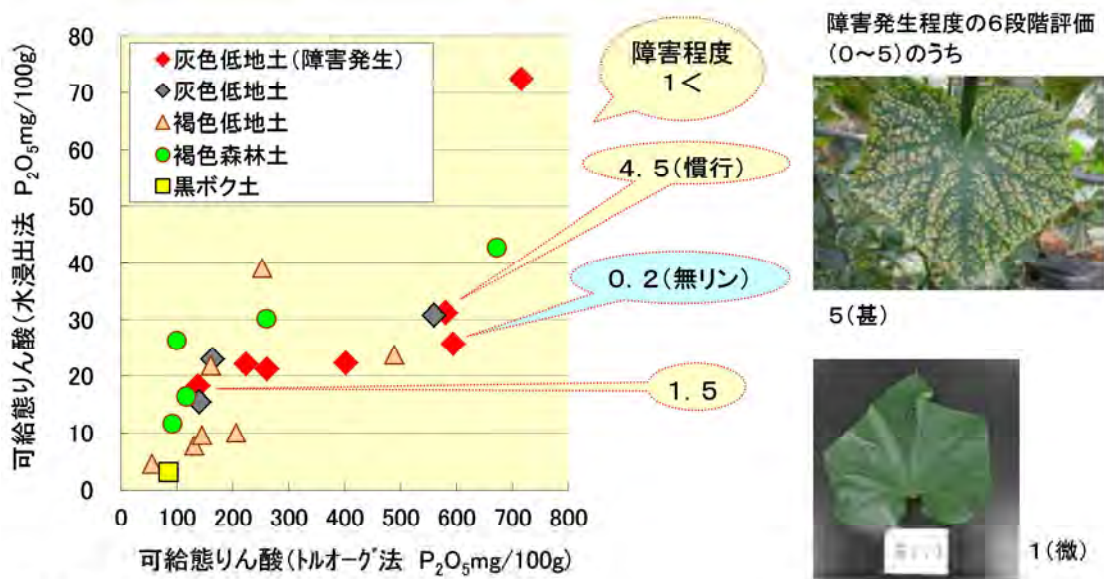


図6 施設キュウリのリン酸施肥量とキュウリによる吸収量の例

そこで、この新指標を超えるときは基肥を無リン酸栽培とした場合の効果をおおまかながら試算してみました。図4の右に示すように、不振とう水抽出リン酸が1.00 mg P₂O₅ / 100gを超える圃場は92%でした。冬春キュウリの作付面積3,040ha(H24年産)のうち92%が基肥無リン酸栽培可能ならば、該当するのは約2,800ha、冬春キュウリの施肥基準(全国平均値(平成25年12月調べ))34.7kg P₂O₅ / 10aのうち削減対象の基肥は31.1kgなので、総量では870トン程度の節減と見込まれます。重焼りんの価格を39万円/ P₂O₅トンとすれば、年約3億4千万円に相当し、また、面積あたりの施肥コストでは1.6万円程度(約3割) / 10aが節減可能と見積もられました。

土壌蓄積リン酸を活用するメリットは、肥料コスト低減の面のみではなく、土壌の健全性確保の面でも重要です。リン酸について、かつては過剰症が認められにくい養分でしたが、現在は作物によっては病害や生理障害の原因となることが明らかになりつつあり、過度のリン酸蓄積はリスクであることを認識する必要性が高くなっています。図4に示した3県の実態調査においてはリン酸過剰症が疑われる事例は認められていませんが、キュウリについても、リン酸過剰症(図7右)の存在は試験的に明らかにされていたほか、疑わしい例も散見されており、これまではつきり問題として認識されてこなかったものの、近年、リン酸過剰症が現地圃場で認められ(図7左)、リン酸減肥によって増収した例も知られています。(http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto22/10/22_10_02.html)



長野県 平成21年度 普及に移す農業技術(第2回)
 普及技術「りん酸蓄積ほ場でのきゅうりの土壌および葉柄搾汁液りん濃度測定に基づく
 りん酸施肥の要否判定技術」(長野県南信農業試験場)から作成

図7 露地キュウりのリン酸過剰症事例

肥料価格高騰を受け、施肥節減のための条件整備はかつてなく進捗し、低リン・低カリの肥料銘柄の供給のほか、広域土壌診断体制の整備など、組織的な土壌診断がより身近になってきています。一方で、意欲ある農業者の中には簡易ながらも自ら土壌肥沃度を評価し、活用する取り組みが従来も存在し、また、今後も新規の農業の担い手を中心に自ら実践できる土壌肥沃度評価のニーズが見込まれます。こうした実践者は測定結果を次の作付けの参考としているのみではなく、経年的な変化を観察・記録している場合があります。これには簡素でありつつもある程度の精度で数値化できる方法が望ましいでしょう。ここでご紹介した現場型評価法がその一助になることを期待しています。

4) その他(参考資料等)

(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 (2013年10月)

「簡易測定用試薬と簡易吸光度計を用いた畑土壌分析マニュアル(Ver.1.2)」

(http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/dojyoubunsekimanyuarul-2.pdf)

(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、群馬県農業技術センター、神奈川県農業技術センター、高知県農業技術センター (2014年1月)

「安全・簡便な畑土壌中りん酸の現場型評価法に基づく施設キュウリ栽培での

リン酸減肥マニュアル」

(http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/narc/049971.html)

5) 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

金澤健二、駒田充生、高橋茂、加藤直人

群馬県農業技術センター

小柴守、鶴生川雅己、高坂真一郎、川田宏史、染矢和子

神奈川県農業技術センター

上山紀代美、竹本稔、岡本保、小勝淑弘、曾我綾香、伊藤喜誠、重久綾子

高知県農業技術センター

速水悠、森永茂生、恒石義一、大崎佳徳、安岡由紀

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 029-838-8829

II 露地野菜のリン酸施肥量削減のための新しい施肥方法

1. セル内リン酸施肥によるキャベツのリン酸施肥量の削減

1) 背景

現在行われている肥料の施用方法は、畑全面に散布した後、耕うんによって土壤中に混合する全面全層施肥方法が一般的です。この方法は、畑全体に肥料を施用するため、作物へ確実に肥料を供給できるという利点があります。一方、畝間など作物が吸収しにくい部分にも肥料が施用されるため、作物に吸収されずに土壤中に残る肥料の割合が高く、無駄が多いという欠点があります。リン酸は肥料の3要素の一つで作物にとって重要な養分ですが、窒素やカリウムと比べて吸収効率が低く、施用した肥料の多くが作物に吸収されずに残ってしまいます。これは、リン酸が土壤中で作物に吸収されにくい形態になりやすいこと（不可給化）や、根の近くに存在しないと吸収されにくいからです。リン酸の吸収効率を高めることができれば、リン酸の施肥量を減らせるため、肥料コストの削減が期待できます。

ここでは、リン酸の吸収効率を向上させることができるセル内リン酸施肥という新しい施肥方法と、それを用いたキャベツ栽培方法について紹介します。

2) 技術の内容と特徴

(1) セル内施肥とは？

セル内施肥は、作物が必要とする肥料を全てセル育苗培土に施用する方法で、作物の根の近くに集中して肥料が施用されるため、肥料の利用効率がこれまでの施肥方法（全面全層施肥）よりも高くなります（図1）

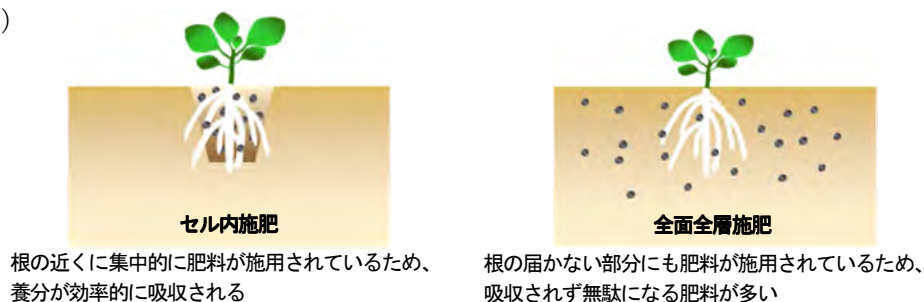


図1 セル内施肥方法と全面全層施肥方法の比較

(2) セル内リン酸施肥を用いたキャベツ施肥方法の概要

セル内リン酸施肥は、播種から収穫までにキャベツが必要とするリン酸をセル内施用する方法で、基本的に畑への施肥は窒素とカリウムのみを行い、リン酸は畑には施肥しません（図2）。セル内施肥により畑土壌との接触による不可給化が低減されると共に、作物の根の近くに集中してリン酸が施用されるため、リン酸が吸収されやすくなります。このため、リン酸肥料の利用効率が高くなり、施肥量の削減が可能となります。キャベツ栽培でセル内リン酸施肥を導入することにより、キャベツのリン酸利用率が向上し、収穫量は維持したままで、全面全層施肥と比べてリン酸施肥量を50%以上削減することが可能となり、肥料コストも3割以上削減できます。

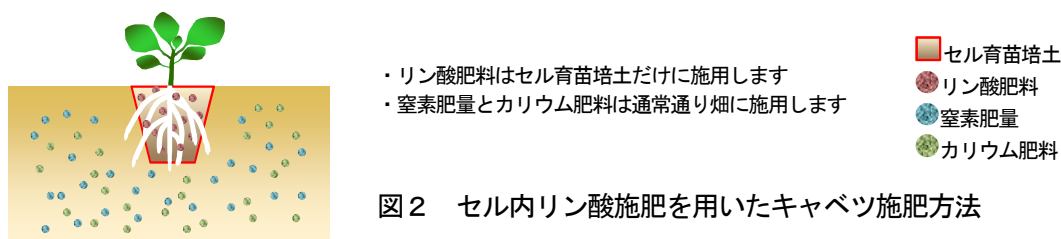


図2 セル内リン酸施肥を用いたキャベツ施肥方法

(3) リン酸セル内施肥に必要なもの

セルトレイ：128穴セルトレイを 사용합니다。

夏期に育苗する場合は白色のトレイが適しています。

育苗培土：キャベツ育苗に通常用いられる育苗専用培土（与作N8やナブラ養土等、ピートモスとバーミキュライトを主体とした育苗培土）を使用します。

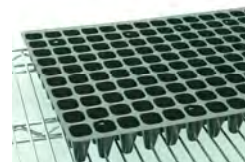
セルトレイ1枚当たり約2L、10a当たり約74L（栽植密度4761株/10aの場合）必要です。

リン酸肥料：砂状熔リン（く溶性リン酸20.0%）、重過リン酸石灰（可溶性リン酸34.0%）を 사용합니다。

育苗培土に均一に混合するため、砂状や粒径の小さいものを使用します。

肥料混合機：使用する育苗培土量に応じた容量のものを準備します。育苗数が少ない場合は、コンテナやブルーシート上での混合も可能です。

窒素・カリウム肥料：圃場への施肥用としてNK化成などリン酸を含まないものを使用します。尿素、塩化カリウム等単肥の組み合わせでも可能です。



128穴セルトレイ



育苗培土

(4) リン酸セル内施肥の手順

(i) 育苗培土と肥料を混合する

以下の割合で育苗培土にリン酸肥料を加え、肥料混合機等を用いて均一になるようによく混合します。



下記量は、8kg/10aのリン酸施用量となります（慣行施肥量の約50%）。

	春まき夏どり			夏まき年内どり		
	育苗培土	熔リン	重過石	育苗培土	熔リン	重過石
セルトレイ 1枚分	2L	851g	215g	2L	1094g	72g
10a分 (37枚分)	74L	31.5kg	8.0kg	74L	40.5kg	2.7kg

(ii) 肥料を混合した育苗培土をセルトレイに充填する

(i) で調製した育苗培土を128穴セルトレイに充填し、十分に灌水します。

(iii) キャベツ種子を播種する

キャベツ種子を1粒ずつ播種し、育苗培土もしくは覆土用培土で覆土します。

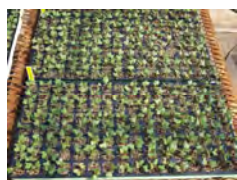
(iv) 育苗管理

通常の育苗管理方法で温度管理、灌水等を行い、定植に適した大きさになるまで育苗します。

夏まき栽培では、高温による発芽・生育障害が発生しやすいため、寒冷紗等によって遮光し、育苗ハ

ウス内の気温を下げます。また、白色トレイを用いることで地温の上昇を抑制します。

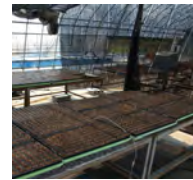
肥料が添加されている育苗培土を使用する場合は、セル内施肥では通常と比べて1セル当たりの育苗培土量が少なくなるため、育苗後半に窒素が肥切れすることがあります。窒素が不足した場合、液肥で窒素を追肥します。



キャベツ苗



左：通常のセル苗
右：セル内施肥したセル苗



夏期の育苗
(寒冷紗による遮光処理)

(v) 定植・栽培

施肥基準量の窒素とカリウムを施肥(茨城県基準:各25kg/10a)した圃場にキャベツ苗を定植します。圃場にはリン酸肥料の施用は行いません。

(5) リン酸セル内施肥の効果

(i) キャベツ結球重に対するセル内施肥の効果

春まき初夏どり、夏まき冬どりとともに、標準P圃場、低P圃場においてセル内リン酸施肥を行った場合、リン酸施肥量を慣行施肥量の50%に削減しても、慣行施肥と同等の結球重が得られます(図3)。

(ii) 施肥リン酸利用率に対するセル内施肥の効果

リン酸肥料をセル内施肥することにより、肥料からのリン酸吸収効率が上がるため、施肥リン酸利用率が慣行の施肥方法と比べて向上します(図3)。

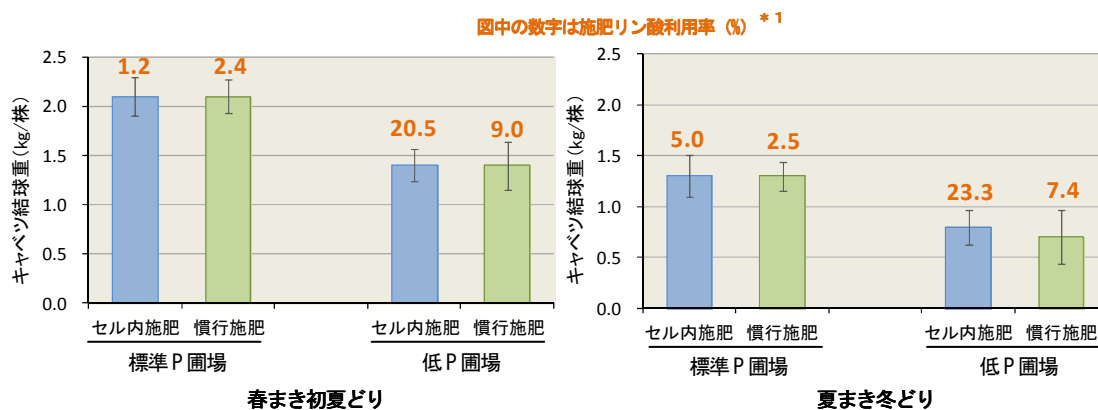


図3 キャベツ結球重と施肥リン酸利用率におけるセル内施肥方法と全面全量施肥方法の比較

*1 施肥リン酸利用率 (%) = (リン酸吸収量 - リン酸無施用区リン酸吸収量) ÷ リン酸施肥量 × 100

*2 有効態(トルオーグ)リン酸含量 (mg P₂O₅/100g 乾土)

春まき: 標準P圃場: 20 低P圃場: 2 夏まき: 標準P圃場: 10 低P圃場: 5

(iii) キャベツ苗に対するセル内施肥の影響

リン酸肥料をセル内施肥すると、慣行の方法と比べてキャベツ苗の生育は低下する傾向がありますが(図4)、定植後の生育には影響しません。

夏まき冬どり作では、高温対策が必要です。

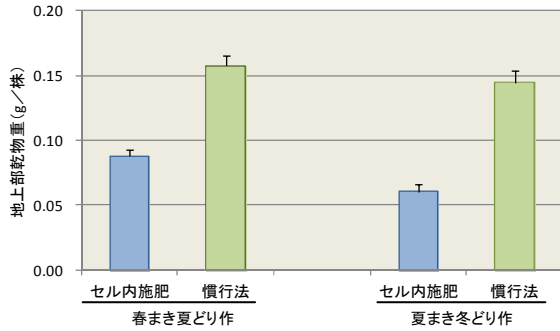


図4 キャベツ苗に対するセル内施肥の影響

(6) リン酸セル内施肥における注意点

- ・春まき初夏どり作では、慣行栽培法と比べて収穫までの栽培期間が長くなる場合があります。
- ・有効態リン酸含量が低い（トルオーグリン酸 5mg/100g 以下）圃場の場合、夏まき冬どり作では十分な収量が確保できない可能性があります。その場合は、9kg/10a 程度圃場へリン酸肥料を施用するか、堆肥施用等により土壌のリン酸肥沃度の改善が必要です。

3) 技術導入にあたってのコスト評価

(円/10a)

セル内施肥		38,372			
内訳					
		熔リン	重過リン酸石灰	NK化成(16-0-16)	
春まき		2,533 (32)	1,000 (8)	15,625 (156)	
夏まき		3,257 (41)	333 (3)	15,625 (156)	
慣行施肥		59,375			
内訳					
		化成(8-8-8)			
春まき		29,688 (313)			
夏まき		29,688 (313)			
差額	21,003	-35.4%			

注1 栽植密度4761株/10a

注2 ()内は施用量(kg/10a)

セル内施肥は、窒素とカリウムは慣行施肥と同様、1作当たり各 25kg/10a 施用しています。また、リン酸は熔リンと重過リン酸石灰の比率を春作 7:3、秋作 9:1 とし、50%減肥（対慣行施肥比）しています。この場合、セル内施肥により 10a 当たり約 21,000 円の肥料代（慣行施肥の肥料代の約 35%）を削減できます。上記に加え、肥料混合機を新規購入する場合：40,000～90,000 円、新たにセル育苗を行う場合：7,400 円（/10a）が初期投資として必要となります。

4) その他（参考資料等）

- ・菊地直、加藤直人、高橋茂、町田剛史（2013）：キャベツ栽培におけるセル内施肥によるリン酸減肥 第2報、日本土壌肥料学会講演要旨集、59、139
- ・小塚玲子、町田剛史、岩佐博邦、菊地直（2013）：セル内施用によるキャベツのリン酸減肥栽培技術 第3報 2年連用による影響、園芸学研究、12（別2）、168
- ・セル内リン酸施肥によるキャベツの減肥栽培技術：明日の農業のための技術シーズ集 2013 年、

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/project/genba/pdf/130115.pdf>

5) 担当者・問い合わせ先

研究担当者

(独) 農研機構 野菜茶業研究所
菊地直

(独) 農研機構 中央農業総合研究センター
加藤直人

千葉県農林総合研究センター

町田剛史、岩佐博邦、小塚玲子、永沢朋子、草川知行、吉田俊郎

問い合わせ先

(独) 農研機構 野菜茶業研究所 野菜生産技術研究領域
〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1 電話 029-838-8528

千葉県農林総合研究センター 東総野菜研究室

〒289-2714 千葉県旭市三川14886 電話 0479-57-4150

2. 定植前リン酸苗施用による野菜のリン酸施用量の削減

1) 背景

露地野菜栽培に対応した具体的なリン酸施肥低減技術の1つとして、定植前リン酸苗施用が挙げられます。渡邊ら（1997）によってキャベツのポット苗を対象に開発され、キャベツとスイートコーンのセル成型苗にも適用できることが示されました。さらに、水稻でも初期生育を促進することが認められましたが、その他の作目への適応性は検討されていません。また、限定された土壌条件における圃場試験のみの結果で、技術の効率化と適用条件の検討による実用化が求められています。

2) 技術の内容と特徴

(1) 定植前リン酸苗施用とは？

定植前にリン酸が不可給化されにくい培養土に、高濃度のリン酸カリ溶液を施用する方法です。それによって、作物によるリン酸の吸収を促進して初期生育を促進し、圃場へのリン酸施用量を削減できます（図1）。

(2) 定植前リン酸苗施用を用いた減肥方法の概要

リン酸は畑に直接施用すると土壌に吸着されて、植物に吸われにくくなってしまいます。育苗用土ではリン酸は不可給化されにくいので、定植前に高濃度のリン酸を施用すると植物に吸収されて体内のリン濃度が高まります。植物の生育にとって初期にリンが必要であることが知られており、これによって初期生育が顕著に促進されます。畑に施用するリン酸量を減らしても生育が促進されるので、収量を低下させることなく、減肥栽培が可能になります。

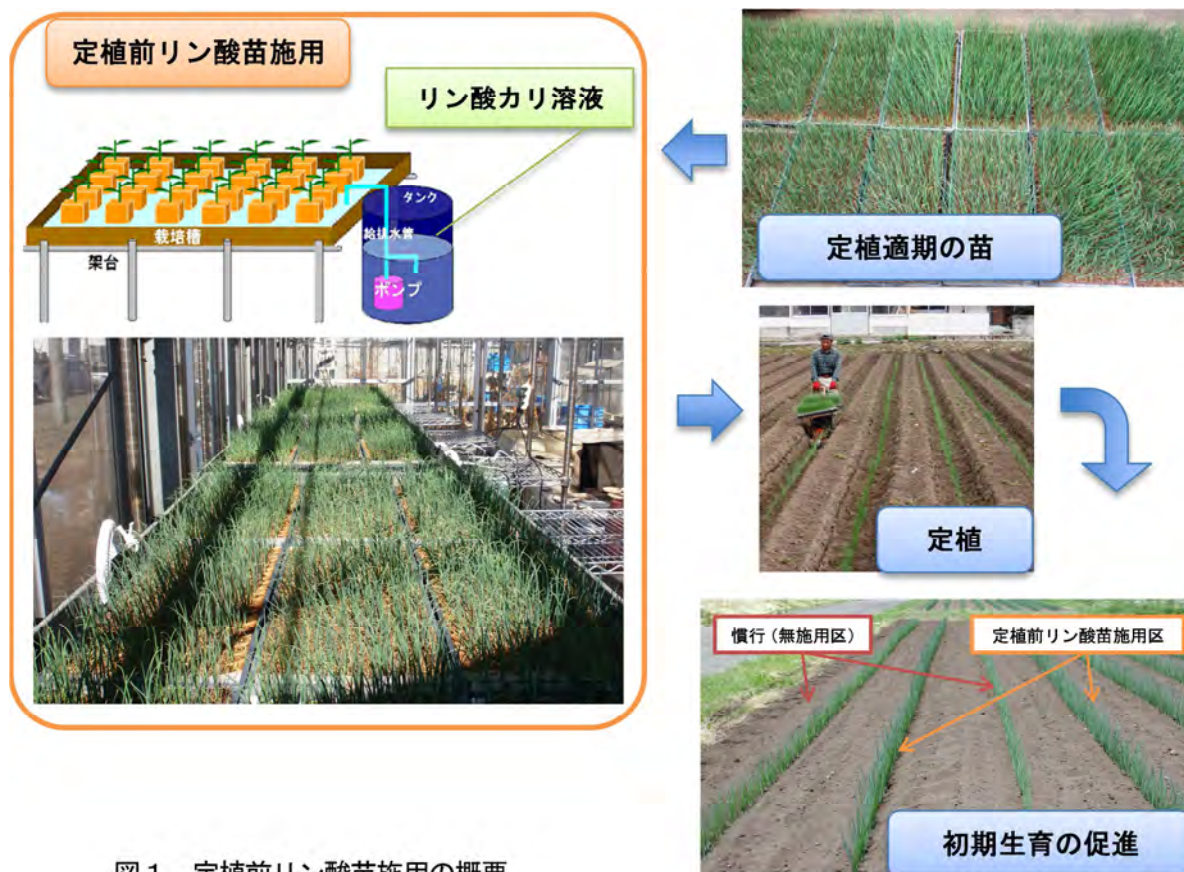


図1 定植前リン酸苗施用の概要

(3) 定植前リン酸苗施用に必要なもの

定植前リン酸苗施用用リン酸肥料：サンピプラス（大塚アグリテクノ、0-46-30-Mg0 1） 7kg/10a
大塚ハウス9号（大塚アグリテクノ、0-51-33） 6kg/10a

効果を確認した銘柄は、上記2種です。これら以外の銘柄も試してみましたが、中には効果のないもの、生育が阻害されてしまうものもありましたので、注意が必要です。

定植前リン酸苗施用の浸漬用資材：プラスチックトレイ（サンコーばんじゅう など）

底面給水装置（カネコ HIGH & LOW PONIC トレイなど）

プラスチックトレイは小規模の場合で、1トレイずつ浸漬します。底面給水装置は規模の大きい場合に適していて、自作も可能です。規模やマンパワーに応じて選択します。現地では、後述する方法でも行われています。

育苗資材：128穴セルトレイ（キャベツなど、夏は白、それ以外は黒） 50トレイ/10a

200穴セルトレイ（キャベツ、レタスなど、〃） 30トレイ/10a

ペーパーポットNo.11（キャベツなど、水稻育苗箱が必要） 50冊/10a

チェーンポットCP303（ネギ、〃） 80冊/10a

チェーンポットCP303-10（タマネギ、〃） 140冊/10a

などを、品目や定植方法に応じて選択します。

育苗用土：タキイたねまき培土（キャベツなど、50L） 2袋/10a（128穴セルトレイの場合）

ニッテンネギ培土（30L） 16袋/10a（チェーンポットの場合）

げんきくんセル100（キャベツなど、26L） 3袋/10a（128穴セルトレイの場合）

上記の用土では、定植前リン酸苗施用の効果は確認済みです。現時点で、問題のある市販の用土は見つかっていません。

圃場施用肥料：NKエコロング203（ジェイカムアグリ、20-0-13）

エコロング250（ジェイカムアグリ、20-5-10）

などや、単肥を組み合わせて、各地域の品目ごとの施肥基準に基づいて準備します。

(4) 定植前リン酸苗施用の手順

(i) 通常の管理で育苗し、定植間近になったら灌水を控えます。

育苗用土が乾いていた方が定植前リン酸苗施用によるリン酸の移行量が多く、苗のリン酸濃度が高まります。

(ii) P 0.5%にリン酸肥料を調製します。具体的な調製量は、以下の通りです。

サンピプラス 25g/L

大塚ハウス9号 22.5g/L

(iii) リン酸溶液にセルトレイや育苗箱ごと浸漬して、底面吸収させます。

以前はプラスチックトレイを使って1時間浸漬していましたが、大量に処理する場合には底面給水で短時間行っても効果は変わりません。また、現地では、軽トラックの荷台で処理している例もあります（図2）。この場合も、用土がリン酸溶液で湿ったことを確認できる程度に浸漬すれば、



図2 現地での軽トラック利用

十分です。1トレイ当たり必要な液肥の量は、トレイの種類や用土の乾燥具合にもよりますが、2～3L程度です。

(iv) 通常通りに定植します。高温期には、十分に灌水します。

(5) 定植前リン酸苗施用による効果がみられる品目

定植前リン酸苗施用の効果が確認されていた品目は、スイートコーンとキャベツでしたが、新たにネギ、タマネギ、レタスでも有効であることを確認しました。特に、ネギでは、高い増収効果があります。

秋どりブロッコリーでは効果がなく、収量は低下しました(図3)。定植前リン酸苗施用によって浸透圧ストレスがかかりますので、品目によっては初期生育が阻害される可能性があります。

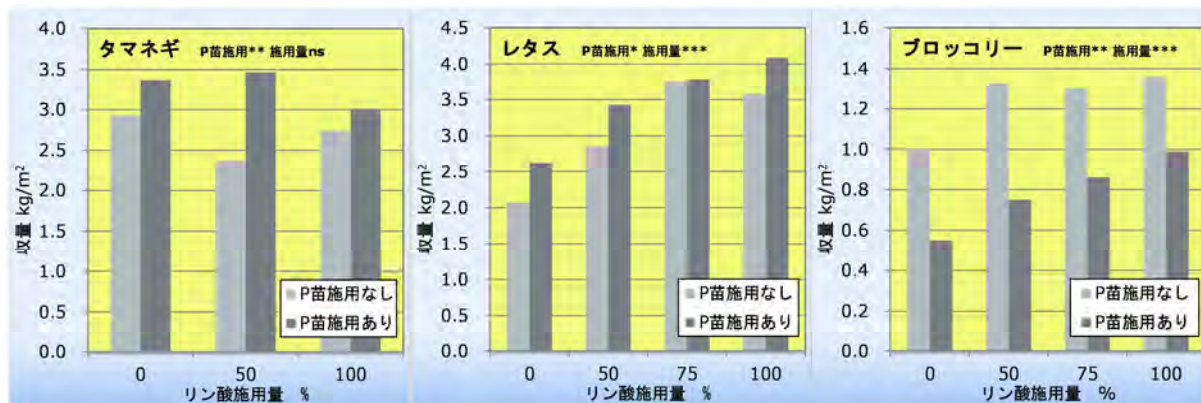


図3 タマネギ、レタス、ブロッコリーにおける定植前リン酸苗施用の影響
(慣行：P苗施用なし・リン酸施用量100%)

(6) ネギ栽培における定植前リン酸苗施用の利用

3月中旬播種、5月中旬定植、9～10月収穫の作型で、緩効性肥料を全量基肥で条施用した場合(試験を実施した福島県における施肥基準は、N 22.4g/m²、P₂O₅ 16.8g/m²、K₂O 22.4g/m²)、定植前リン酸苗施用によって、初期生育が顕著に促進されます。

収穫時までその効果が持続しており、収量が増加します。リン酸無施用でも、定植前リン酸苗施用を行うことによって、慣行並みの収量が得られます(図4)。3年間、同様の結果が得られており、50%以上のリン酸減肥が可能で

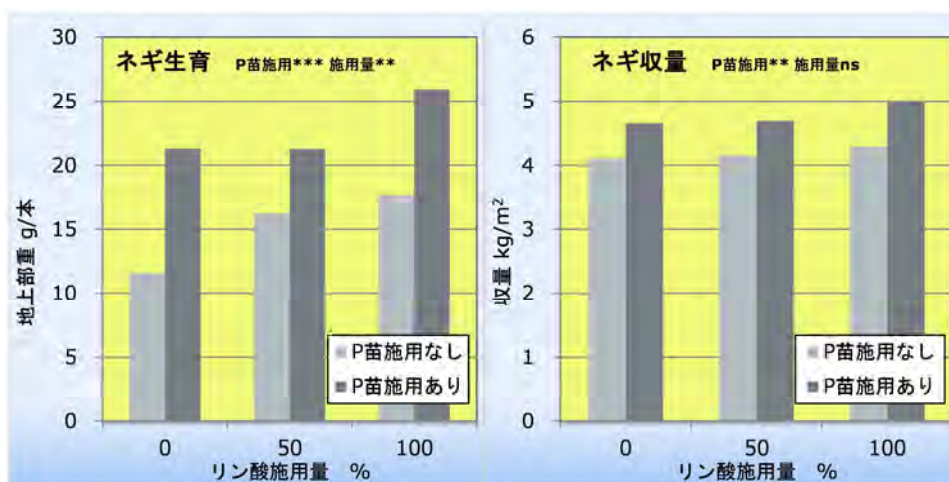


図4 定植前リン酸苗施用がネギの初期生育と収量に及ぼす影響
(慣行：P苗施用なし・リン酸施用量100%)

(7) ネギの作型とカリ減肥の影響

定植前リン酸苗施用の利用は、定植期が低温になる夏どりの作型でより効果的です。3～5月定植、7～9月どりの作型では、定植前リン酸苗施用によって有意に収量が増加しますが、6月定植、11月どりの作型では、やや効果が劣ります。

定植前リン酸苗施用を行うことによって、リン酸と同時にカリも50%程度削減しても、慣行に比べて収量が減少することはない、減肥可能です(図5)。

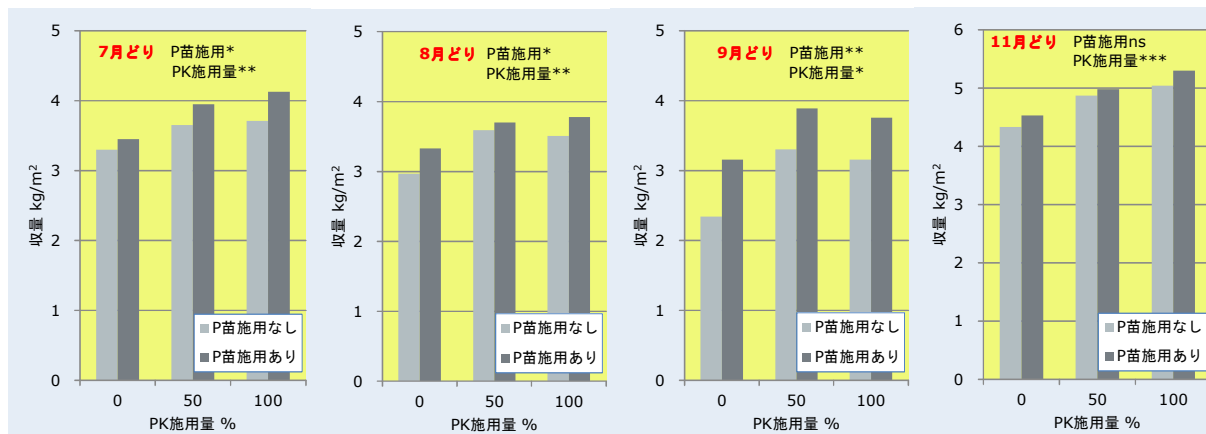


図5 ネギ栽培における定植前リン酸苗施用の効果に及ぼす作型とPK施用量の影響
(慣行：P苗施用なし・リン酸施用量100%)

(8) キャベツ栽培における定植前リン酸苗施用とうね内部分施用の併用

8月定植、11月収穫の作型で、うね内部分施用と定植前リン酸苗施用を組み合わせることによって、収量を落とすことなく、圃場へのリン酸施用量を1/3程度に削減することが可能です(図6)。

うね内部分施用には、エコうねまぜ君(井関USB21)を用いました。

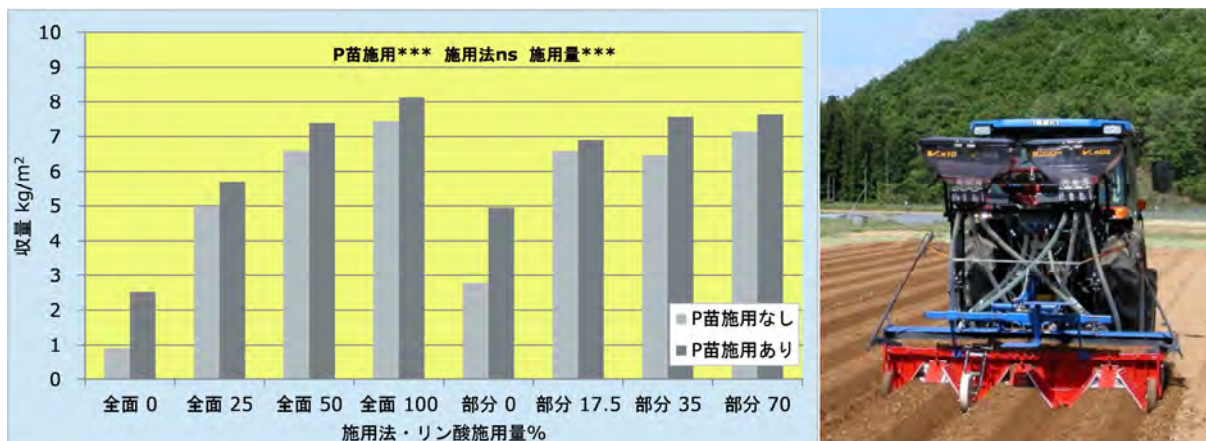


図6 キャベツの収量に及ぼすうね内部分施用と定植前リン酸苗施用の影響
(慣行：P苗施用なし・リン酸施用量全面100%)

(9) 圃場の土壌タイプと有効態リン酸濃度の影響

キャベツの定植前リン酸苗施用による増収効果は、圃場の有効態(トルオーグ)リン酸濃度10mg/100g以上ではほぼみられません。有効態リン酸濃度の適正範囲が20～50mg/100g程度とされていますから、かなり限定された低リン酸圃場にしか適用できないこととなります。

ネギでは、有効態リン酸濃度が高い(110mg/100g)圃場でも増収効果がみられ、広い範囲に適用可能です(表1)。

表1 定植前リン酸苗施用のネギとキャベツへの適用性の違い

品目	作型	土壌タイプ	有効態リン酸 mg/100g	定植前リン酸苗施用による増収効果
	夏	腐植質黒ボク土	19	▲ 有意に増収
	秋	腐植質黒ボク土	27	▲ 増収傾向
	秋	淡色黒ボク土	8	▲ 有意に増収
	夏	淡色黒ボク土	16	▲ 有意に増収
	秋	淡色黒ボク土	16	▶ 施用なしと同等
	秋	灰色低地土	18	▲ 有意に増収
	夏	灰色低地土	30	▲ 有意に増収
	夏	灰色低地土	30	▲ 有意に増収
	夏	褐色低地土	110	▲ 有意に増収
	秋	灰色低地土	16	▲ 増収傾向
	秋	灰色低地土	15	▶ 施用なしと同等
	秋	灰色低地土	42	▶ 施用なしと同等
	秋	褐色低地土	9	▶ 施用なしと同等
	秋	褐色森林土	3	▲ 有意に増収
	秋	褐色森林土	48	▶ 施用なしと同等
	秋	黒ボク土	8	▲ 有意に増収
	春	黒ボク土	98	▶ 施用なしと同等
	秋	黒ボク土	98	▶ 施用なしと同等
	春	淡色黒ボク土	8	▶ 施用なしと同等
	秋	淡色黒ボク土	8	▲ 有意に増収
	秋	淡色黒ボク土	8	▲ 有意に増収

太字は現地試験

3) 技術導入にあたってのコスト評価

底面給水装置などを導入すれば別ですが、定植前リン酸苗施用を行うために別途必要になるのは、定植前リン酸苗施用のための肥料だけです。「サンピプラス」であれば、7kg/10a 必要になります。

苗施用の溶液を調製して、苗を浸漬する労力が余分にかかります。10a 当たり 1.5～3 時間ほど労働時間が増加します。

収量が増加するため収入が増加し、圃場へのリン酸肥料を削減すれば、肥料費が節減されます。

表2に、2カ所の現地実証試験の試算例を示しました。いずれも増収効果が大きく、量だけでなく、L規格の割合が増加するという質的なメリットもありました。10a 当たり約 12～17 万円の所得増となっており、底面給水装置などの付帯施設を整備しても、その分を十分補填できます。

表2 定植前リン酸苗施用導入効果の試算例

	山形県河北町	福島県いわき市	備考
	9月どり	8月どり	
収入	182,000 ↑	125,000 ↑	平年のネギ卸売価格×増収分
人件費	6,000 ↑	3,000 ↑	時間単価 @2,000×労働時間増
支出			
定植前施用肥料	8,400 ↑	8,400 ↑	サンピプラス @1,200×7kg
圃場施用肥料	→	6,000 ↓	過リン酸石灰 @1,500×4袋
差し引き	167,600 ↑	119,600 ↑	

4) その他（参考資料等）

- ・渡邊和洋・森谷茂・渡邊好昭・藤井國博. 1997. 定植前重点施用によるリン酸施肥量の削減. 土肥誌. 68:622-628.
- ・定植前リン酸苗施用による野菜のリン酸減肥栽培
http://www.s.affrc.go.jp/docs/project/genba/pdf/120111_22201.pdf
- ・村山徹・宮沢佳恵、2013. 定植前リン酸苗施用によるネギの生育促進. 土肥誌、84:455-461.

5) 担当者・問い合わせ先

研究担当者

(独) 農研機構 東北農業研究センター
 村山 徹・宮沢佳恵

福島県農業総合センター

根本知明・佐藤睦人・小野勇治・武田容枝・三浦吉則

問い合わせ先

(独) 農研機構 東北農業研究センター 業務第1科
 〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平4 電話 019-643-3433 (代表)

福島県農業総合センター 生産環境部 環境・作物栄養科

〒963-0531 福島県郡山市日和田町高倉字下中道116 電話 024-958-1700 (代表)

3. うね内複合施肥によるキャベツの施肥量の削減

1) 背景

キャベツ・ハクサイなど土地利用型の大規模露地野菜生産においては、移植前に肥料を圃場全面に散布し、土壌と攪拌・混和する「全面全層施用法」で施用されています。しかし、地上部の広がり大きい露地野菜では、土地全体を使って面的に栽培している一般畑作物と異なり、点的に栽培していると考えられ、このため、面的に施用された肥料をすべて利用しているのではなく、うね間等利用しにくい部分に施用された肥料は圃場内に蓄積したり、降雨などにより圃場外に流出したりして、近隣水域環境等周囲環境に影響を与える危険性があります。また、最近の高肥料価格により生産コストが増加し、露地野菜生産者の経営を圧迫しており、生産量と品質を確保しつつ無駄に施用されている肥料を大幅に減らす効率的施用技術の開発が求められています。

そこで、露地野菜作において肥料の効率的施用技術として線状に施用する「うね内部分施用法」と、さらに点状に施用範囲を限定して施用する「スポット施用法」を開発するとともに、これらの施用法を組み合わせた複合的施用技術による肥料施肥量削減技術を開発しました。

2) 技術の内容と特徴

(1) 効率的施用法の開発

(i) うね内部分施用法

「うね内部分施用法」は、現在、一般的に露地野菜作で行われている「全面全層施用法」（図1左参照）と異なり、うね中央部分の苗を定植する部分にのみ線状に土壌と混和させて施用する方法です（図1右参照）。

「うね内部分施用機」というトラクタ装着型の専用作業機で行います。この機械のロータリー軸には、一つのうねあたり2枚のディスクがうねの中心を境に同距離になるように取り付けられているのが特徴です（図2）。

ホoppaから繰り出された肥料は、2枚のディスク間の前方に散布され、2枚のディスクとその間の耕うん爪により横方向に逃げることなく土壌と攪拌・混和され、その後成形板でうね立て成形されます。これによって、施用する資材はうねの中央部の設定範囲内に帯状に土壌と混合して施用されます（図3）。この方法では、移植苗の根の周辺に肥料が存在するため、定植直後の根はすぐにその肥料を吸収することができ、初期生育が良好であるとともに、施肥量を削減しても慣行施用法と同等以上の収穫量が得られることが明らかになっています。

なお、「うね内部分施用機」は、経営規模や栽培作物、うね形状に応じて、4条用、3条用、2条用、平うね用の4種類の機械が市販されています（図4）。

「うね内部分施用技術」については、北海道から沖縄まで全国21道県で、キャベツ、ハクサイ、レタス、ブロッコリー、カリフラワー、ダイコン、ニンジン、ヤマトイモ、加工トマト、ナス、エダマメ等

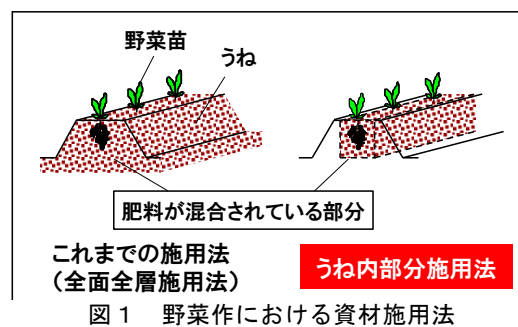


図2 うね内部分施用機の部分施用部

多くの種類の露地野菜で現地生産者、道県やJ Aの普及関係者の協力を得て技術展示や施肥量削減実証試験を実施し、窒素、リン酸、カリの施肥量を30~50%削減しても慣行施用法と同等以上の収穫量が得られることが明らかになりました。

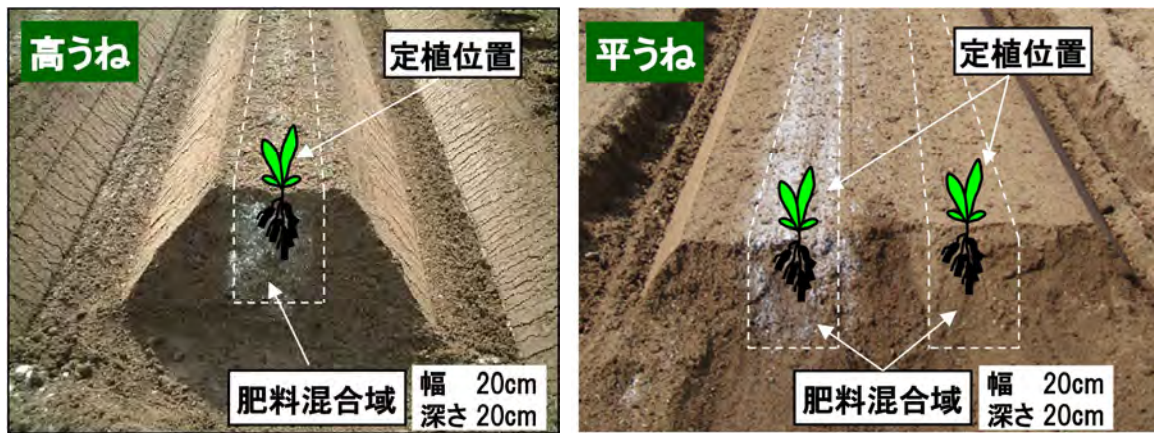


図3 うね内部分施用法による資材混合状況と施用範囲



図4 「うね内部分施用法」を実現する「うね内部分施用機」(市販機)

(ii) スポット施用法

「スポット施用法」は、肥料を移植する野菜苗の根の近傍にのみ点的に施用する方法です。

この方法は移植苗の根の位置との位置関係が重要であることから、移植と同時に液肥をスポット的に施用する「スポット施用同時移植機」(開発機)という専用の作業機で行います。キャベツ等露地野菜を移植する際に、移植するセル苗の下0~10cm、側方0~10cm、前後0~5cmの位置に液体肥料を60mlまでスポット的に施用できます(図5)。

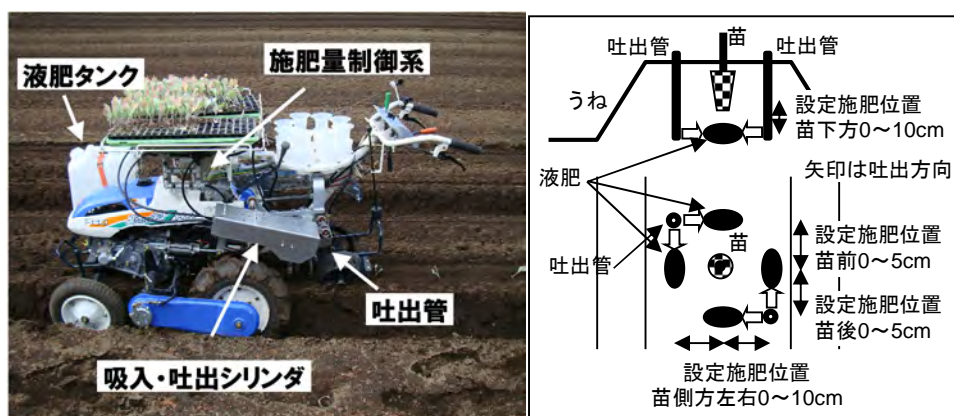


図5 「スポット施用同時移植機」と施肥位置

本方法では肥料を点的に施用できるため施肥施用量を大幅に削減できることが可能となる特徴があります。しかし、根の近傍に直接施肥するので、肥料による接触障害を防ぐために根から一定の距離において施肥する必要があります、そのため、地力の低い土壌では初期生育の遅れや生育ムラを生じやすい欠点があります。

そこで、その影響が少なくなると想定できるマルチを敷設した平うねにスポット施用同時移植機でキャベツおよびレタスを移植しながら有機液状肥料（12-5-5）を苗の下方に施肥した場合、施用量を30および50%削減しても慣行と同等の生育・収量が得られ、マルチ作であればスポット施用により肥料施用量を50%程度まで削減が可能であることが明らかになりました（図6）。

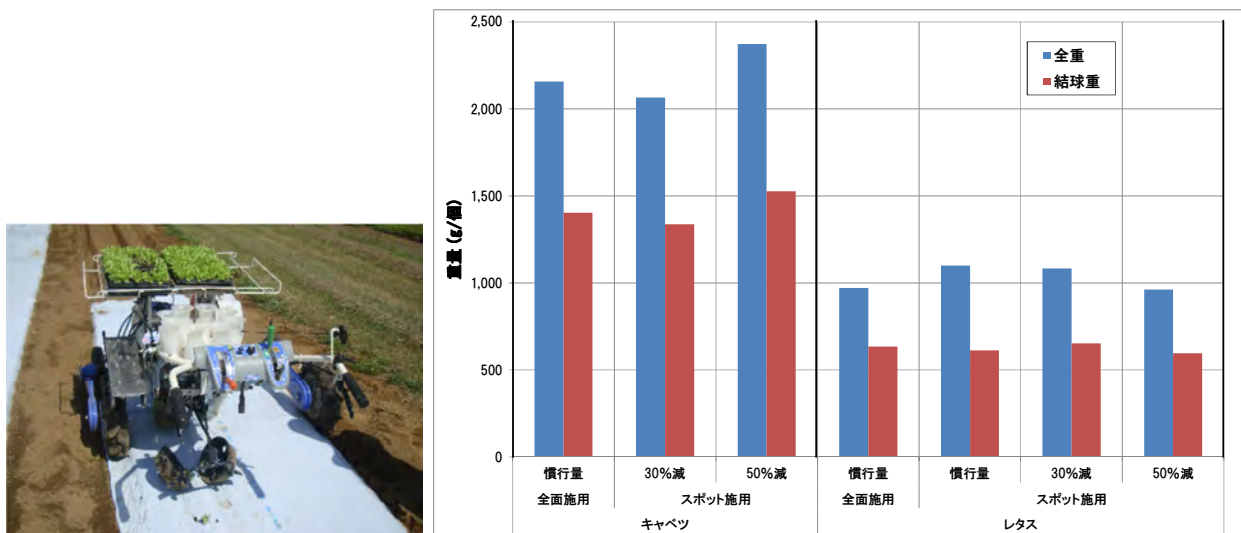


図6 スポット施用による肥料施用量が秋冬キャベツ・レタスの収量に及ぼす影響（茨城農総七園研圃場）

耕種概要：

- ①キャベツ：品種「初恋」は種 8/9、基肥 9/5、定植 9/13、収穫 11/19 栽植密度：うね間 60cm × 株間 39cm 慣行施肥量 (kg/10a) : N-P₂O₅-K₂O=25-10-10
- ②レタス：品種「パドヴァット」は種 8/17、基肥 9/5、定植 9/13、収穫 11/2 栽植密度：うね間 30cm × 株間 31cm 慣行施肥量 (kg/10a) : N-P₂O₅-K₂O=10-4-4

(2) スポット施用法によるリン酸施用量削減効果

リン酸肥沃度の異なる土壌での秋冬キャベツ作において、全面全層及びスポットにリン酸（全面全層区：0-35-0、スポット区：0-10-5）を施用し、圃場のリン酸含量及びスポット施用によるリン酸施用量削減効果を調査した結果、低リン酸土壌（有効態リン酸：5mg/100g）においては、リン酸を全面全層に施用する場合、施用量の低下に伴い結球重も低下しましたが、スポット施用ではリン酸を30～50%削減しても慣行と同等の結球重が得られ、スポット施用によりリン酸施用量を50%程度まで削減が可能であることが明らかになりました。一方、中（有効態リン酸：47mg/100g）・高リン酸土壌（有効態リン酸：117mg/100g）では施用法にかかわらずリン酸を減肥しても収量に及ぼす影響はなく、リン酸の減肥は可能であることが明らかになりました（図7）。

本プロジェクト期間中3年間のデータをまとめると、有効態リン酸が10mg/100g以下ではスポット施用でリン酸を30～50%削減しても慣行とほぼ同等の結球重が得られ、スポット施用によりリン酸施用量を50%程度まで削減が可能であるが、有効態リン酸が10mg/100g以上では施用法にかかわらずリン酸を減肥しても収量に及ぼす影響はなく、リン酸の減肥は可能であることが明らかになりました。

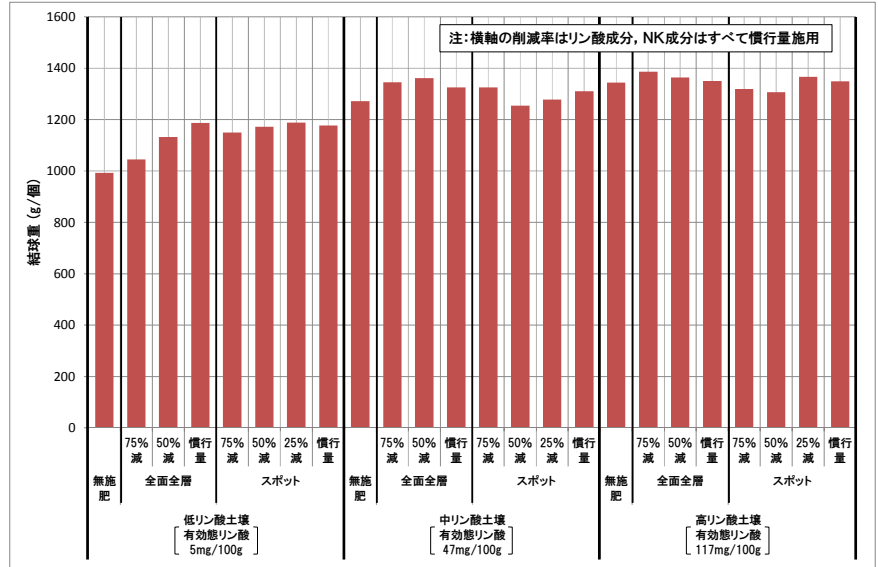


図7 スポット施用によるリン酸施肥量が秋冬キャベツの収量に及ぼす影響 (茨城農総セ園研圃場)

耕種概要:

品種「初恋」は種8/9、基肥9/2、定植9/6、追肥10/15、収穫11/11-12 栽植密度:条間60cm×株間39cm 慣行施肥量(kg/10a):N-P₂O₅-K₂O=25-25-25

(3) 「うね内部分施用法」と「スポット施用法」を組み合わせた複合施用による施肥量削減効果

「スポット施用法」によりリン酸施肥量を50%程度まで削減が可能であることが明らかになりましたが、窒素とカリを全面全層に施用しては全体として施肥量を削減できません。そこで、茨城農総セ園研圃場および農家圃場において、窒素とカリを「うね内部分施用法」により部分的に施用し、リン酸をスポットに施用する複合施用により、窒素、カリの基肥量を50%、リン酸の総施肥量を30~50%減肥することが可能であることが確認できました(図8)。

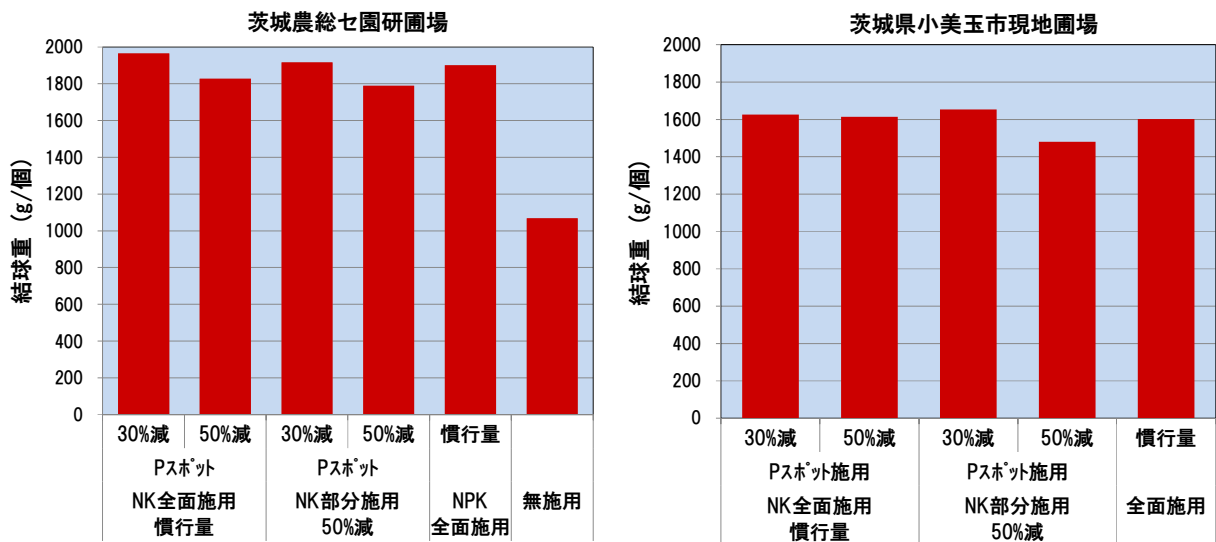


図8 秋冬キャベツ栽培においてNPK複合施用が結球重に及ぼす影響

耕種概要:

品種「あさしお」基肥・定植8/26、追肥9/30、収穫11/30 うね間60cm×株間45cm 栽植密度:うね間60cm×株間39cm 慣行施肥量(kg/10a):N-P₂O₅-K₂O=25-25-25 有効態リン酸:茨城農総セ園場 2.6mg/100g、現地圃場 13.6mg/100g

3) 技術導入にあたってのコスト評価

(1) 「うね内部分施用法」による施肥量削減時のコスト評価

高度化成肥料（15-15-15）を用いて、「うね内部分施用法」で肥料施用量を削減した場合（図9）、30%削減の場合には約7,500円/10a、50%削減の場合には約12,500円/10aの肥料コストを削減できます。技術導入費として、約100万円の「うね内部分施用機」を購入し、5年間で購入費を償却すると仮定した場合、30%削減の場合、2.7ha、50%削減の場合、1.6ha以上の栽培面積があればプラスになると判断できます。

(2) 「スポット施用法」による施肥量削減時のコスト評価

有機液肥（12-5-5）を用いて、「スポット施肥法」で液肥施用量を削減した場合（図9）、30%削減の場合には約9,300円/10a、50%削減の場合には約15,500円/10aの肥料コストを削減できます。技術導入費として、約50万円の「スポット施肥同時移植機」を購入し、5年間で購入費を償却すると仮定した場合、30%削減の場合、1.1ha、50%削減の場合、60a以上の栽培面積があればプラスになると判断できます。

化成肥料を全面に施用した場合、化成肥料を「うね内部分施用機」で30%削減してうね内部分施用した場合、液肥を「スポット施肥同時移植機」で50%削減してスポット施用した場合で10a当たりの肥料代を比較すると、それぞれ24,950円、17,465円、15,521円となり、「スポット施用法」で施用量を50%削減できれば肥料コストを一番削減できることが明らかとなりました。

(3) 「うね内部分施用法」と「スポット施用法」の複合施用による施肥量削減時のコスト評価

「うね内部分施用法」により、窒素（硫安）、カリ（硫酸カリ）を50%、「スポット施肥法」でリン酸（リン酸液肥）を30%削減した場合、窒素分約3,400円/10a、カリ分約1,860円、リン酸分約10,900円/10a、合計約16,150円/10aの肥料コストを削減できます。技術導入費として、約100万円の「うね内部分施用機」と約50万円の「スポット施肥同時移植機」を購入し、5年間で購入費を償却すると仮定した場合、1.8ha以上の栽培面積があればプラスになると判断できます。しかし、現在リン酸液肥の価格が高価であるために、10a当たりの肥料代は高額となり、今後、「うね内複合施用技術」が普及するためにはリン酸液肥が低価格になることが必要であると考えられます。

	高度化成肥料 (15-15-15)	液体有機肥料 (12-5-5)	硫安 (21-0-0)	硫酸カリ (0-0-50)	リン酸液肥 (0-10-5)
肥料価格 (円/20kg)	2,988円	2,980円	1,147円	2,980円	2,900円
慣行施用量 (kg/10a)	167kg/10a	208kg/10a	119kg/10a	25kg/10a	250kg/10a
慣行量施用時 肥料代 (円/10a)	24,950円	31,042円	6,827円	3,725円	36,250円
削減量想定時 肥料代 (円/10a) (内は削減価格)	うね内部分施肥 で30%削減時 17,465円 (△7,485円)	スポット施肥で 30%削減時 21,730円 (△9,312円)	うね内部分施肥で50%削減時		スポット施肥で 30%削減時
			3,414円 (△3,414円)	1,862円 (△1,862円)	25,375円 (△10,875円)
	30,651円(△16,151円)				
	うね内部分施肥 で50%削減時 12,475円 (△12,475円)	スポット施肥で 50%削減時 15,521円 (△15,521円)	うね内部分施肥で50%削減時		スポット施肥で 50%削減時
3,414円 (△3,414円)			1,862円 (△1,862円)	18,125円 (△18,125円)	
23,401円(△23,401円)					

図9 開発技術による施肥量削減時のコスト評価

注1：肥料価格は2013年4月全国平均価格（農林水産省農村物価統計調査より）

注2：肥料施用量は25kgN/10aとして計算

4) その他 (参考資料等)

- ・うね内部分施用技術マニュアル (中央農研)

5) 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
屋代幹雄

茨城県農業総合センター
飯村 強・小田部 裕

問い合わせ先

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

茨城県農業総合センター 園芸研究所 土壌肥料研究室
〒319-0292 茨城県笠間市安居3165-1 電話 0299-45-8340 (代表)

4. まとめ

本プロジェクトで開発した3つの施肥技術はいずれも、作物の収量を減らすことなく、リン酸施肥量を慣行施肥量の50%にまで減らすことが可能でした。しかし、国内には多くの野菜産地があり、それぞれ、栽培している野菜の種類や作型、土壌の性質、肥培管理の方法などが異なると考えられ、リン酸施肥量を削減するための方法も同一とは限りません。

下の表は、3つの施肥方法の開発にあたって実施された圃場での栽培試験の、各種条件と結果をまとめたものです。栽培試験を実施した時の、作物の種類と作型、土壌の種類と有効態リン酸含量、慣行施肥量に対する減肥率と、収量を慣行施肥と比較した時の結果を示しています。それぞれの施肥法が、どのような栽培条件でリン酸施肥量を削減することができたかが、わかっていただけだと思います。

この表に示した適用条件は、あくまでも技術開発にあたって検討された条件です。いくつかの条件が合致していれば、リン酸施肥量を必ず削減できるというわけではありません。また逆に、いくつかの条件が違うからといって、その技術を導入してもリン酸施肥量を減らすことができないというわけでもありません。それぞれの施肥技術の適用条件を十分理解し、それぞれの野菜産地に適した技術を導入することが大切です。

表1 開発したリン酸施肥量削減技術の適用条件一覧

施肥技術	地域	作目	作型	土壌の性質		減肥率 (%) *1	慣行施肥との収量の比較*2
				種類	有効態リン酸 (mgP ₂ O ₅ /100g)		
セル内施肥	茨城	キャベツ	夏どり	黒ボク土	>10	50(25)	○
	千葉	キャベツ	夏どり	黒ボク土	20	64(25)	○
			秋どり	黒ボク土	20	64(25)	○
定植前施用	福島	キャベツ	秋どり	黒ボク土	6	84(19)	○
			夏どり	黒ボク土	6	84(19)	○
		キャベツ スイート コーン	輪作	黒ボク土	8		○
	福島	ネギ	夏	淡色 黒ボク土	8	50(17)	◎
			秋	淡色 黒ボク土	3	50(17)	○
スポット施肥	茨城	キャベツ	秋どり	黒ボク土	5	50(25)	○
		レタス	冬	黒ボク土	80	50(10)	○
複合施肥*3	茨城	キャベツ	秋どり	黒ボク土	14	NK:50 P:33	○

*1 括弧内は、比較対象とした慣行施肥でのリン酸施肥量 (kgP₂O₅/10a) を示す

*2 ◎は慣行に比べて収量増加あるいは生育促進、○は慣行施肥と同等の収量であったことを示す

*3 慣行施肥はN-P₂O₅-K₂O=14-15-12、複合施肥はN-P₂O₅-K₂O=7-10-6 (いずれも kg/10a)

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

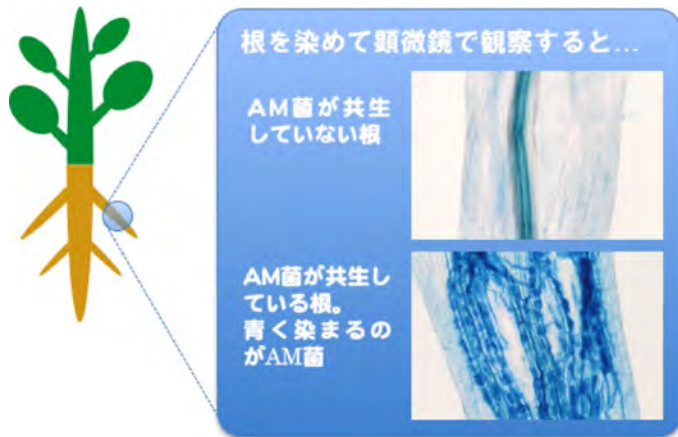


図1 植物の根に共生するアーバスキュラー菌根菌（きんこんきん、AM菌）

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。

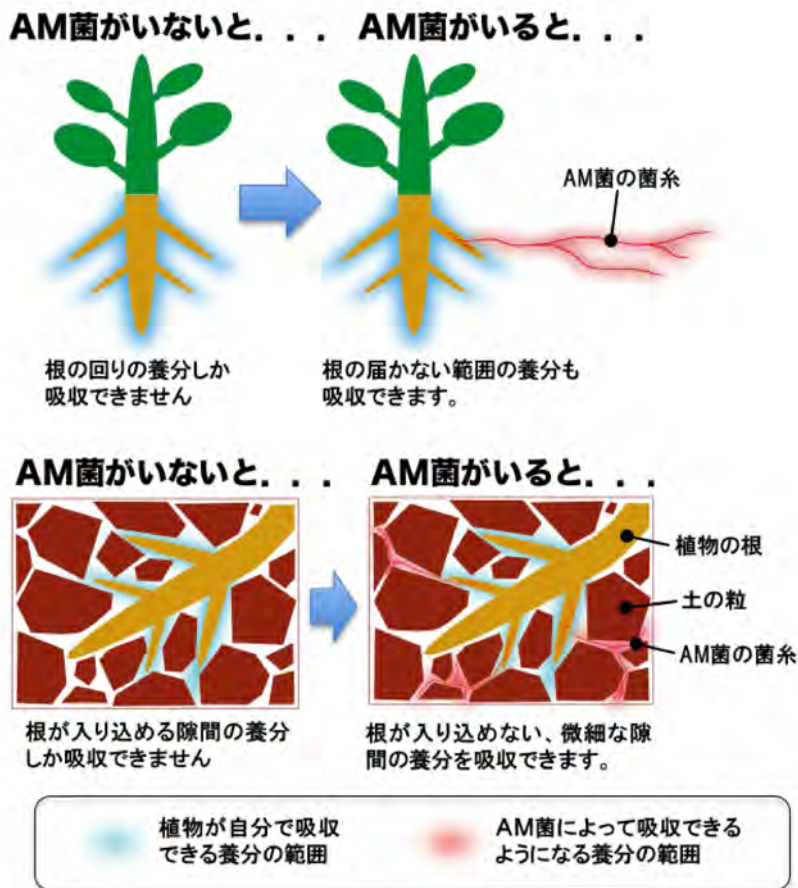


図2 AM菌のはたらき

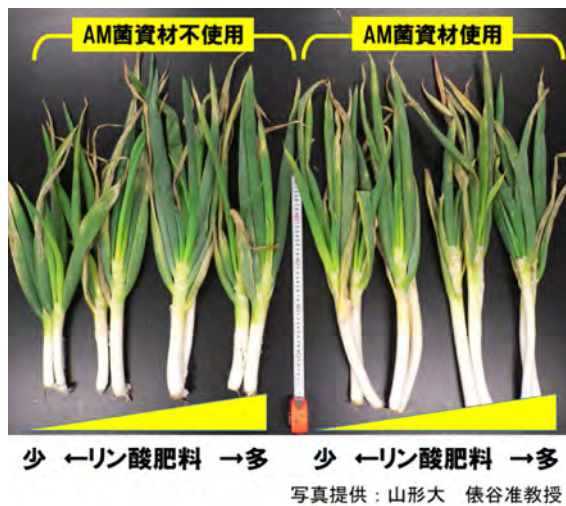


図3 AM菌資材を使用（右）または未使用（左）で栽培したネギ

(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。

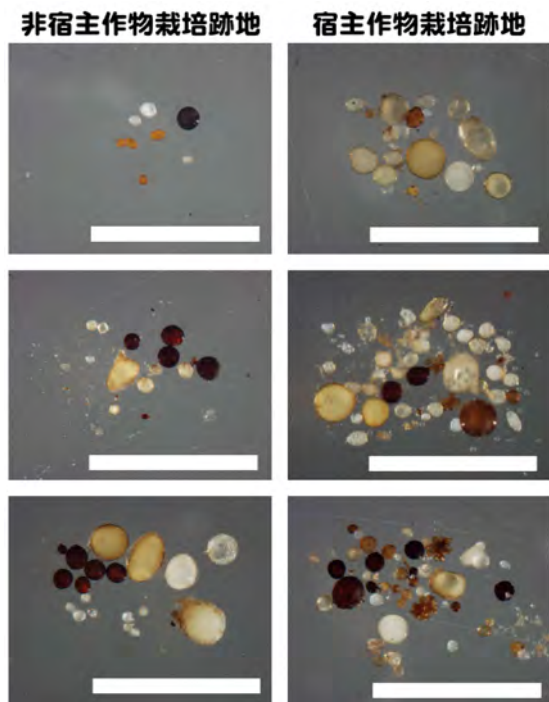


図4 土壌 10g から分離した AM 菌胞子
同一圃場の3組のプロットから AM 菌胞子を回収した。左右に並んだ写真は対応するプロットの非宿主跡（左）および宿主跡（右）から回収した胞子。写真の右下の白い線は 1 mm の長さを示す。
写真提供：畜産草地研究所 小島主任研究員

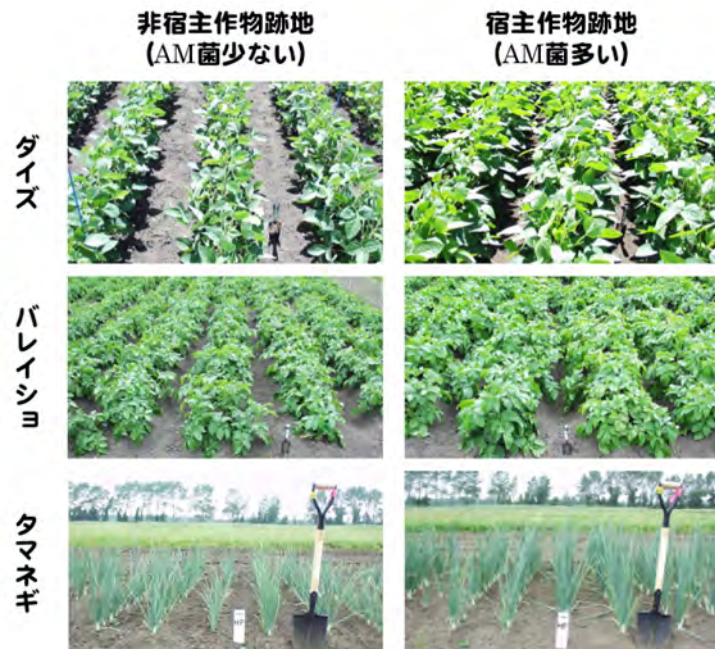


図5 様々な作物にあらわれる前作効果

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。

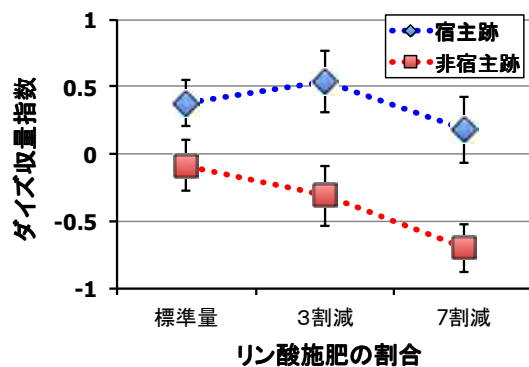


図6 ダイズ栽培におけるリン酸減肥と収量変化

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。

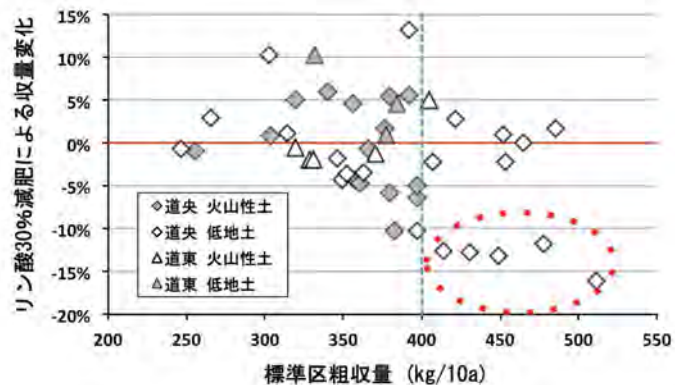


図7 収量水準と3割リン酸減肥による収量変化

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。

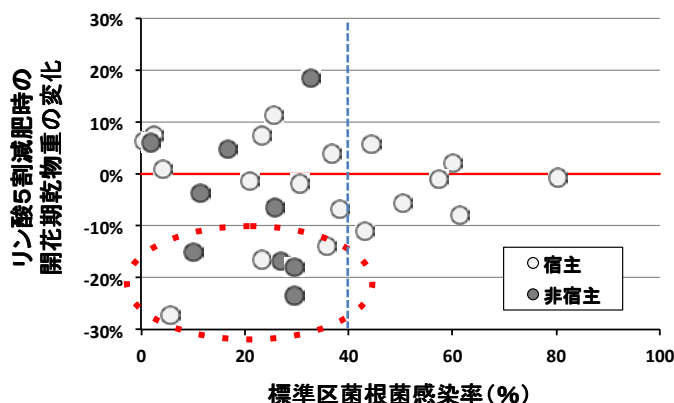


図8 5割リン酸減肥による開花期生育量の変化
赤の直線より下に離れるほど生育低下が大きい事を示します。感染率が低い場合（青の点線より左）では初期生育が著しく低下する例（赤の点線で丸囲み）が増加しました。

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。

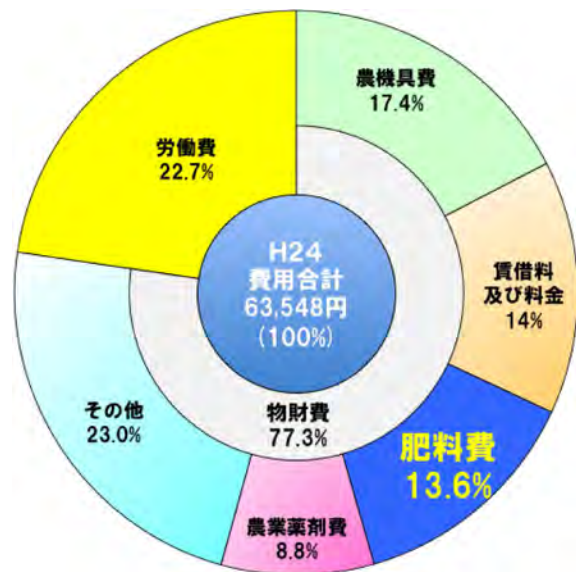


図9 大豆生産費の内訳(平成24年度)

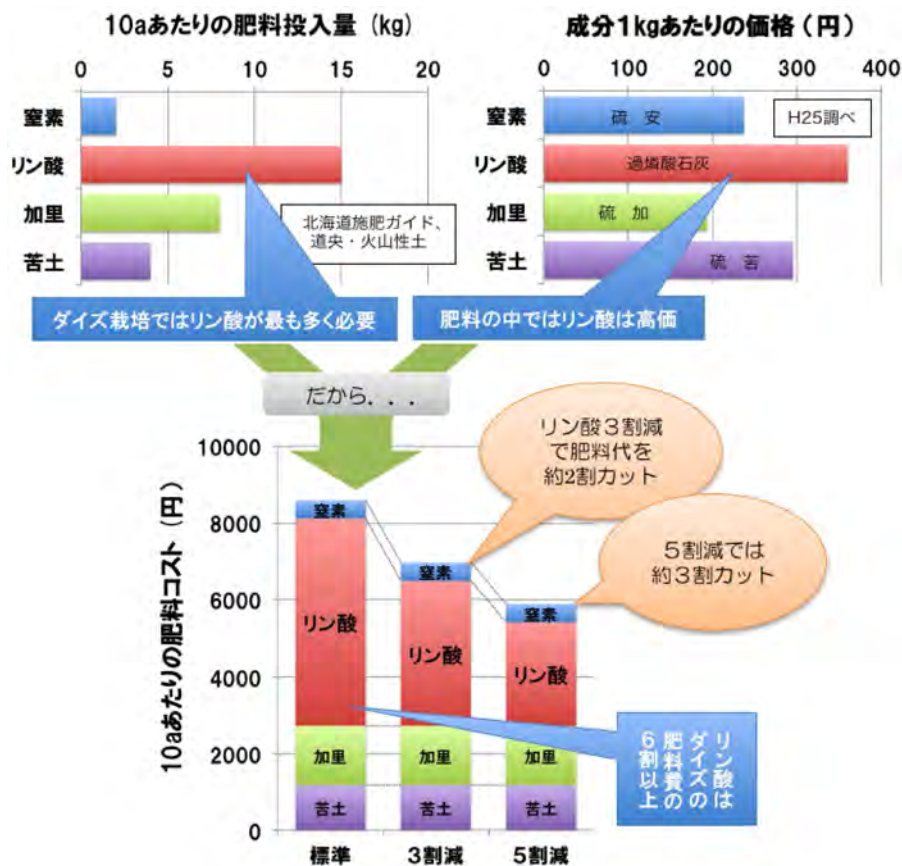


図10 リン酸減肥の生産コスト低減効果

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、土壌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 ₂ O ₅ /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 ₂ O ₅ /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）

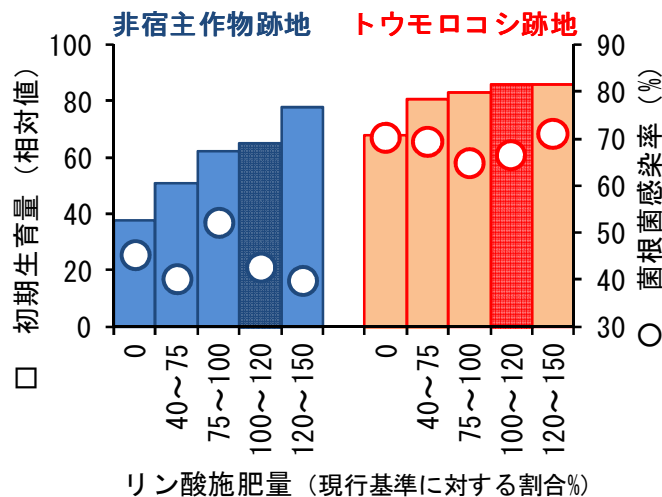


図12 前作物の異なるトウモロコシ畑におけるリン酸施肥量と初期生育量および菌根菌感染率の関係（初期生育量は圃場の最大値を100とした相対値）

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）。

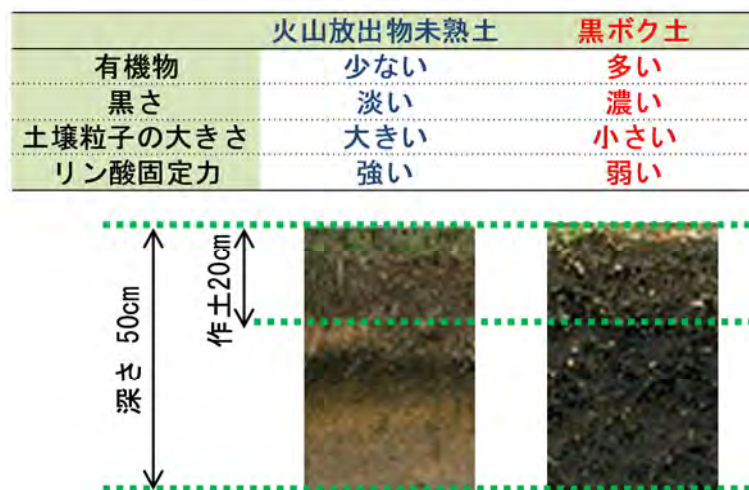


図13 各土壌型の断面と作土（20cm）の特徴

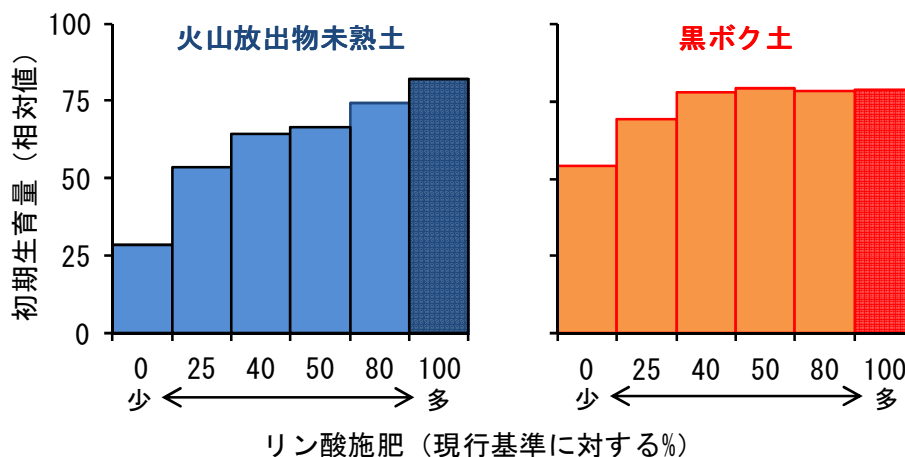


図14 土壌型別にみたリン酸施肥と初期生育量の関係
（初期生育量は、圃場の最大値を100とした相対値）

(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)。

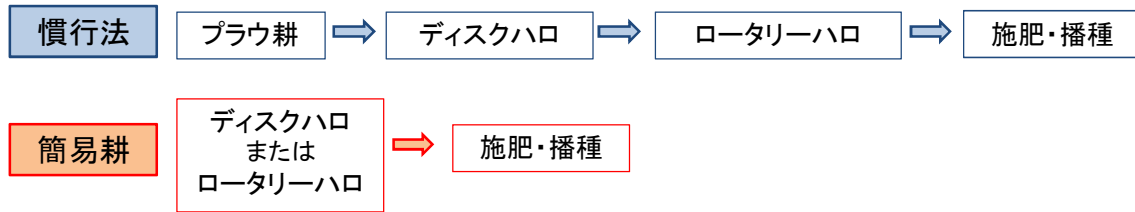


図 15 播種床造成の流れ



図 16 播種床造成の様子

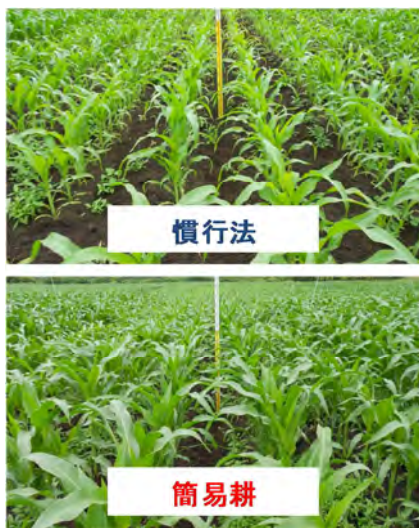


図 17 耕起法試験における初期生育 (いずれもリン酸施肥は無し)

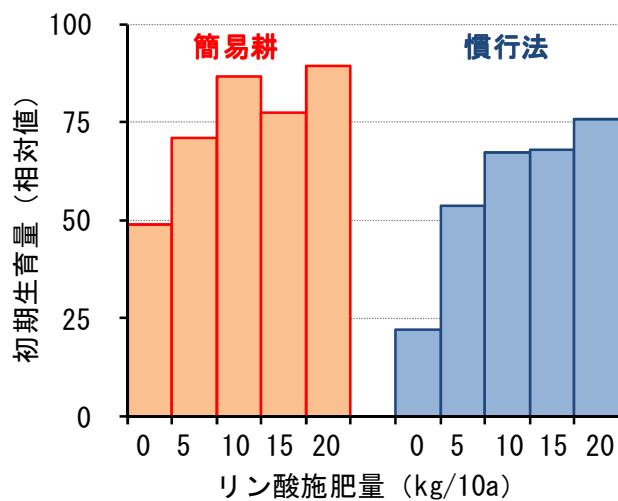


図 18 耕起法の異なるトウモロコシ畑におけるリン酸施肥と初期生育の関係 (初期生育量は圃場の最大値を 100 とした相対値)

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 ₂ O ₅ /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 ₂ O ₅ /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に施用する方法の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 ₂ O ₅	K ₂ 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 ₂ O ₅
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はなく、土壌の保護・改善効果、雑草制御、病害虫・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4~6kg/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)。



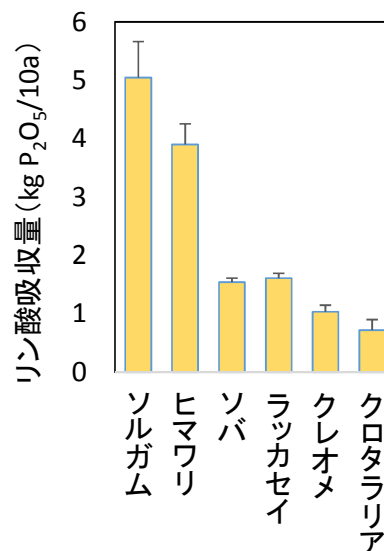
図1 冬作物のリン酸減肥を目的とした夏作緑肥の栽培方法
(試験では、緑肥は6月播種、9月すき込み)

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
	セスバニア	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 P₂O₅/10a 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。

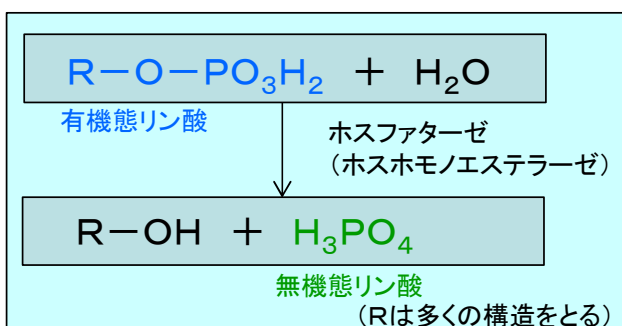


図3 ホスファターゼが触媒する反応

(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、土壌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。

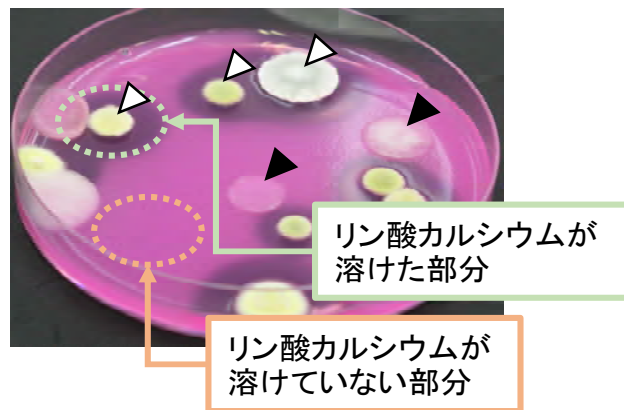


写真 1 リン溶解系状菌

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、土壌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）、リン溶解系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。

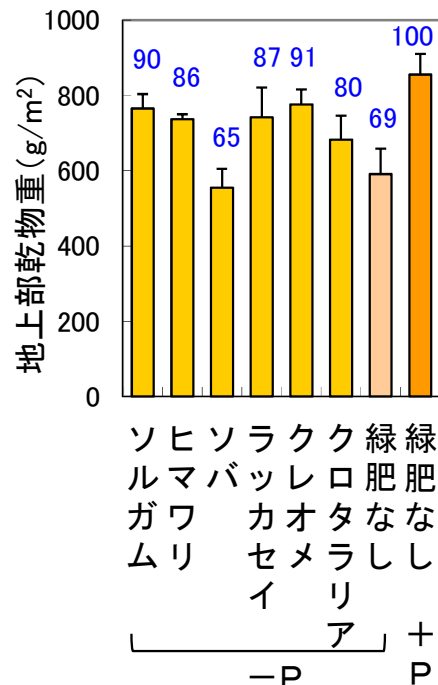


図 4 緑肥のすき込みやリン酸施肥量がコムギの生育に及ぼす影響（出穂期）

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 P₂O₅/10a 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 P₂O₅/10a 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)

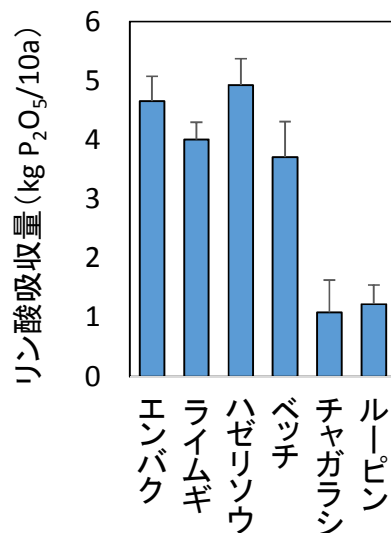


図6 冬作緑肥のリン酸すき込み量

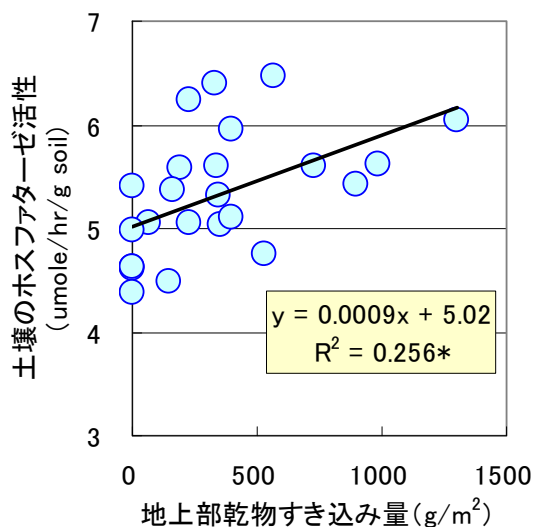
(3) 有用微生物の活性化に適した冬作緑肥

(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。



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 kg/10a	すき込成分量 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	品種	移植期	収穫期
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・暖地由来のものがいますので、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)

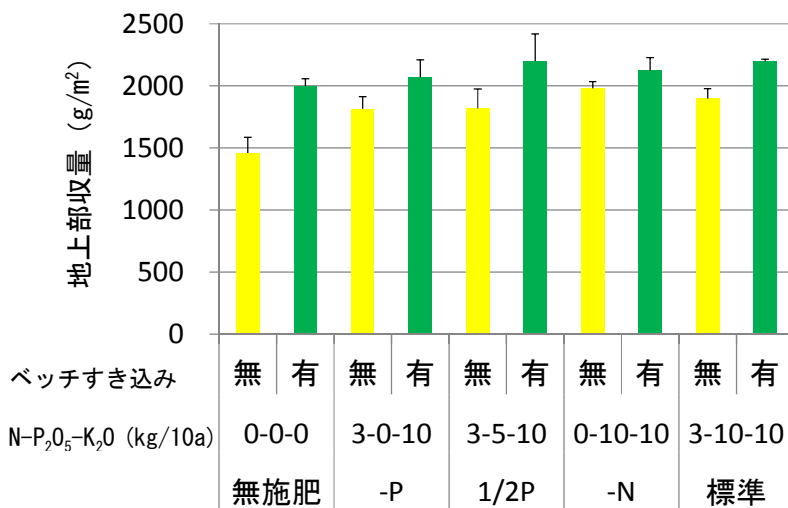


図9 ベッチすき込みと施肥がエダマメの地上部収量に及ぼす効果

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。

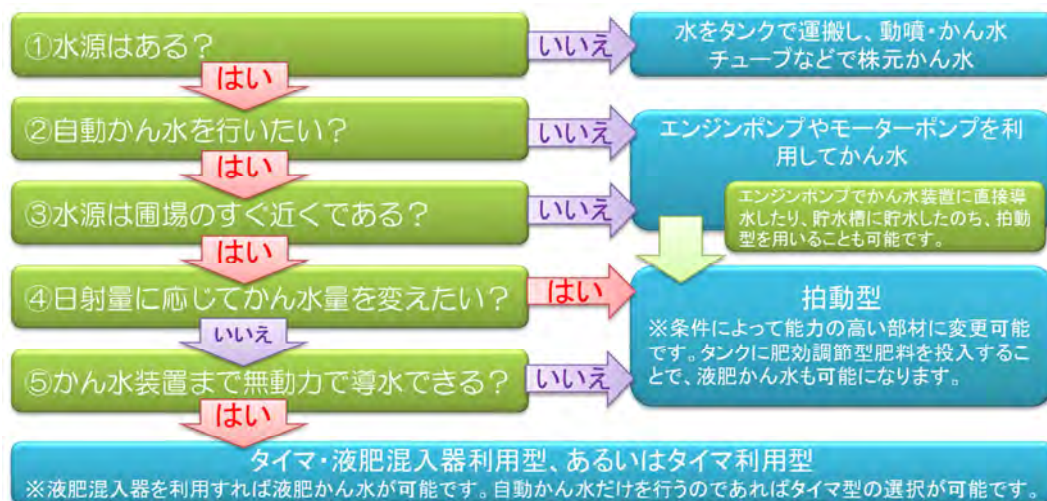


図2 低コスト養液土耕装置選択フローチャート

(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。

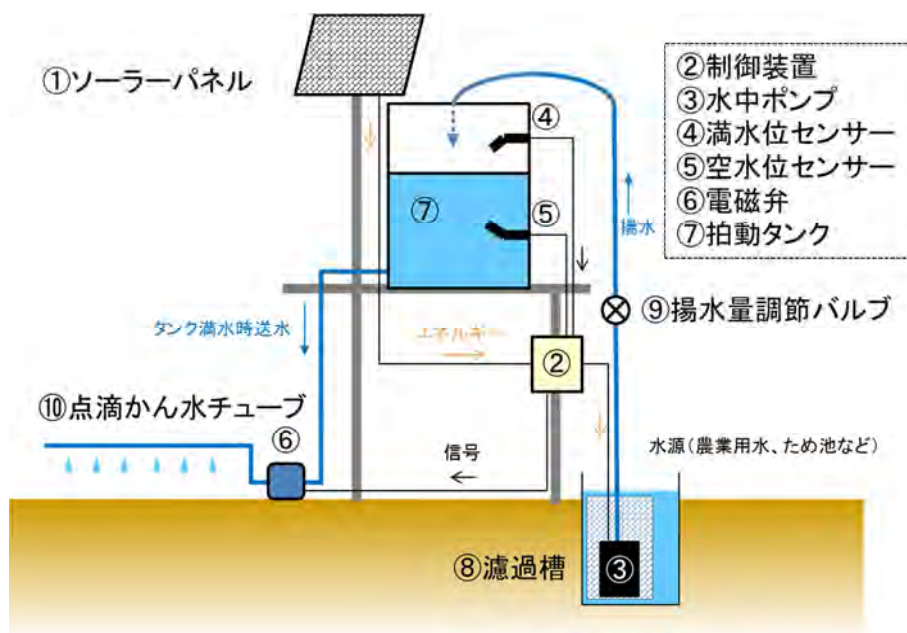


図3 低コスト養液土耕装置（拍動型）の構成例



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、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。

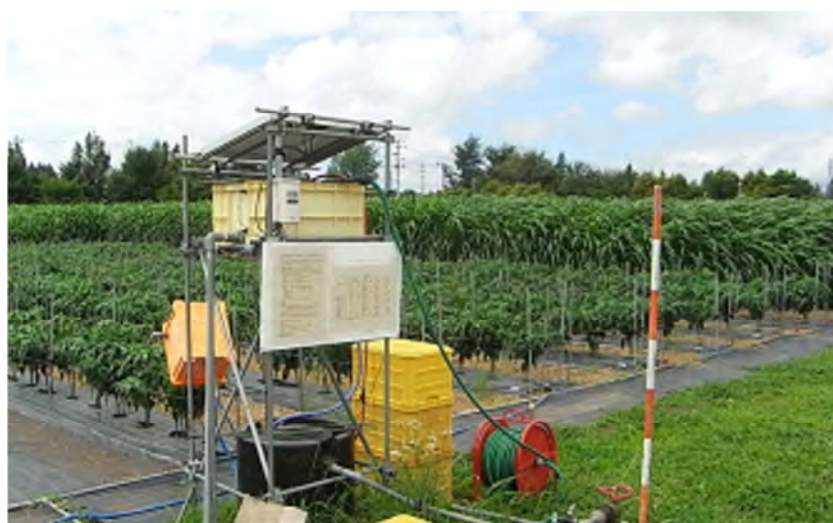


図6 露地ピーマン圃場に設置した装置の様子

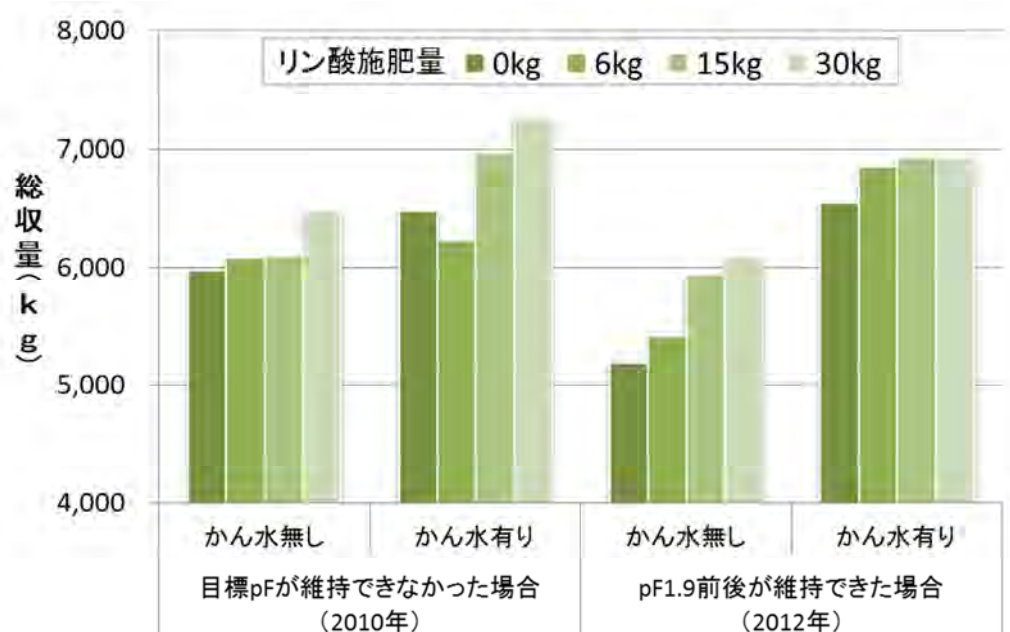


図7 かん水を行っても目標pF値を維持できなかった(pF2.1以上が2週間以上継続)場合と土壌水分を目標のpF1.9前後で維持できた場合のリン酸施肥量が収量に及ぼす影響

(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-P₂O₅-K₂O, 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

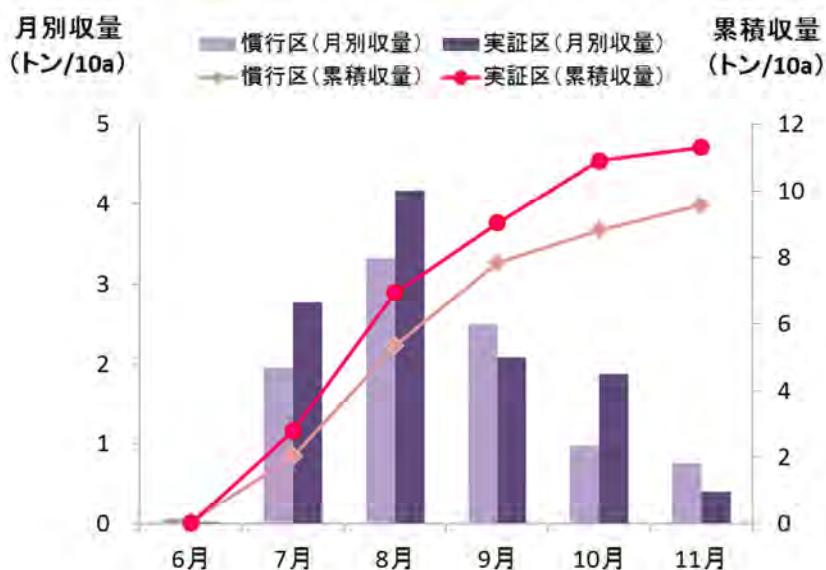


図9 実証試験でのナス果実収量 (10aあたり)

(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と比べ、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180³m³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20³m³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 m³/10a 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 ³ /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、湛水处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%	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。

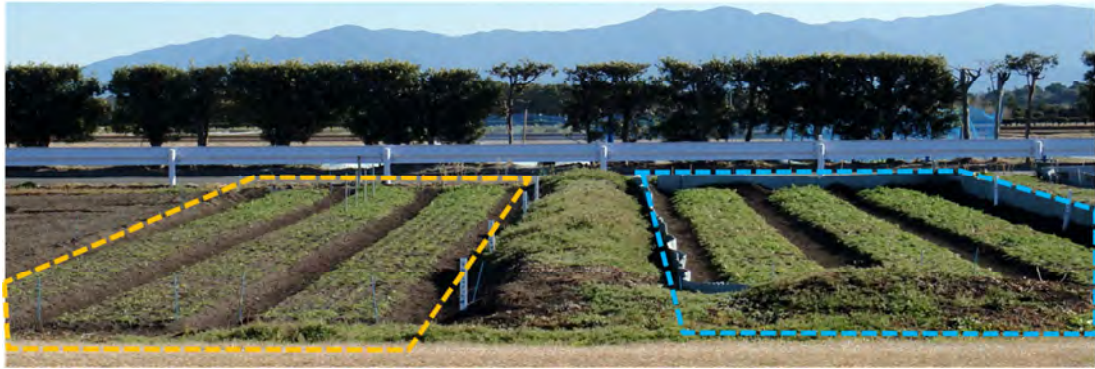


写真 7 ニンジンの初期生育

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。

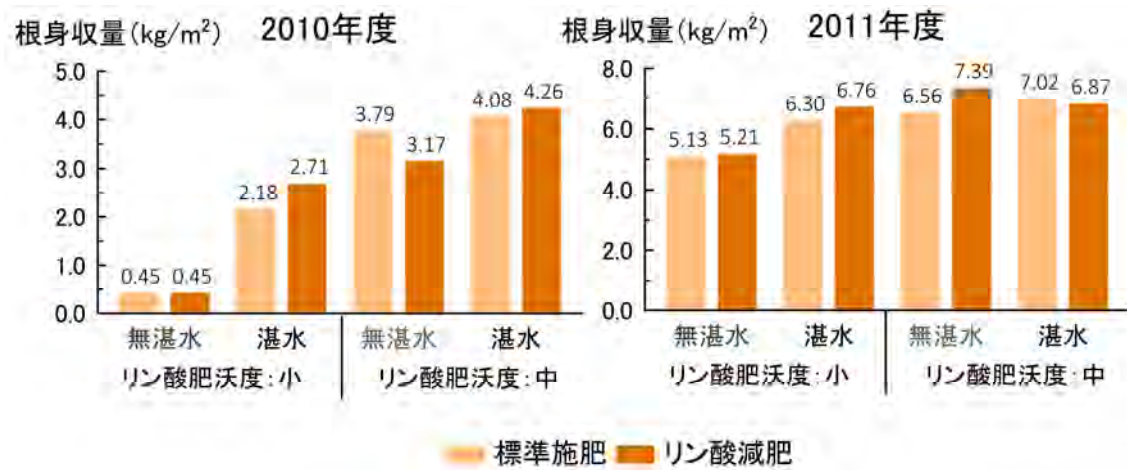


図 1 ニンジンの収量

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。

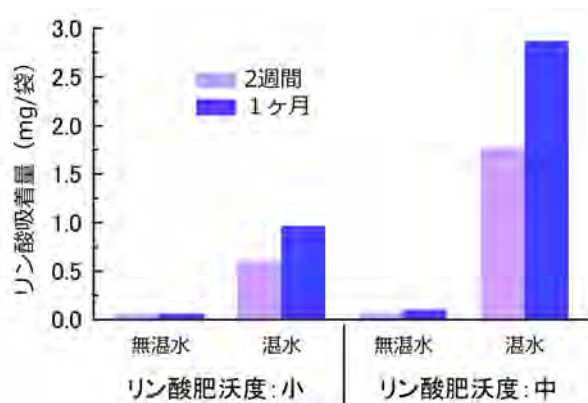


図 2 湛水処理に伴う土壌蓄積リン酸の可溶化

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

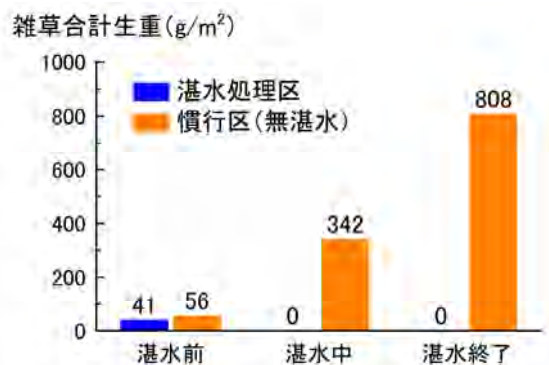


写真9 湛水処理区の状態



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。



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）。

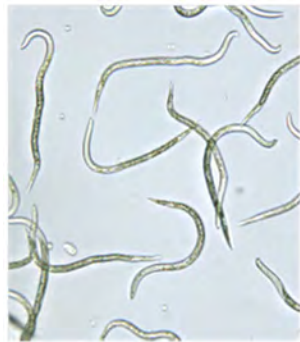


写真 11 ネコブセンチュウ



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。

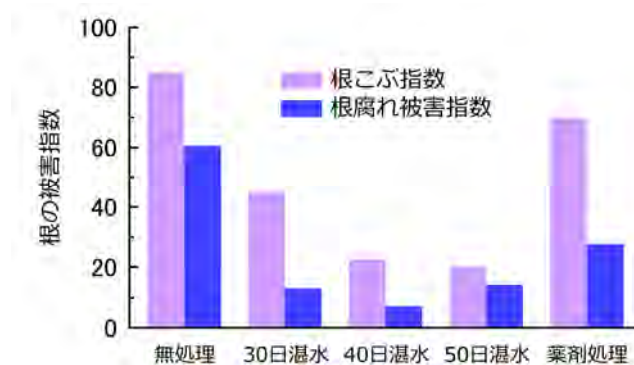


図 4 葉タバコ根のネコブセンチュウ被害（左）およびカンショ根のネグサレセンチュウ被害（右）に対する湛水防除効果（鹿児島県鹿屋市）

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）