

# 夏まきキャベツ栽培における 土壌診断に基づいたリン酸肥料の削減

熊本県農業研究センター

富 永 純 司

## 1. はじめに

リンは植物の必須元素であるが、天然供給量が少ないため作物の生育阻害要因になりやすい。このためリン酸施肥は、作物の健全な生育や生産性の向上になくはならない基本技術と考えられている。

しかし、日本はリン酸質肥料の原料であるリン鉱石資源が乏しいため、その全てを海外からの輸入に頼っている。そのため、BRICsなどで肥料需要が高まった2008年には肥料の原料価格が高騰し、国内の農業経営は深刻な影響を受け、今後ともこの状況は続くと予想されている。

一方、リン酸の作物による利用率は、他の肥料成分に比べて低く、また過剰害も現れにくいことが知られている。このため、リン酸質肥料の施用量は、作物の吸収量よりも一般的に多い傾向にあ

る。さらに、土づくり資材として併用される家畜ふん堆肥中にも0.5～6.6%と比較的高濃度のリン酸が含まれている<sup>1)</sup>。そのため、リン酸質肥料や家畜ふん堆肥の施用により過剰なリン酸が土壌に供給されると、作物に利用されなかったリン酸は土壌中に徐々に蓄積することになる。そこで、土壌に蓄積したリン酸を利用した作物生産技術を開発し、その技術が普及すれば、肥料コスト低減に繋がることが期待される。

ここでは、熊本県におけるキャベツの主要作型である夏まき栽培を対象として、土壌診断による有効態リン酸レベルの評価に基づいたリン酸質肥料の削減法について検討した結果を紹介する。

## 2. 試験の方法

試験は、熊本県農業研究センター内の畑圃場で実施した。土壌の種類は厚層多腐植質黒ボク土、

## 本 号 の 内 容

§ 夏まきキャベツ栽培における 土壌診断に基づいたリン酸肥料の削減 .....	1
--	---

熊本県農業研究センター

富 永 純 司

〈産地レポート〉 和歌山県JA紀州 緩効性肥料「IB604」使用したブロッコリーのご紹介 .....	8
---	---

ジェイカムアグリ(株)「農業と科学」編集部

§ さとうきびの土壌診断に基づく適正施肥 .....	9
----------------------------	---

ジェイカムアグリ株式会社  
九州支店

技術顧問 郡 司 掛 則 昭

表 1. 試験区の構成

土壌のリン酸肥沃度	有効態リン酸 (mg/100g乾土)	施肥リン酸	施肥量 (kg/10a)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
低リン酸土壌区 (低P)	7.2~11.0	無施用 (無P区)	24	0	20
中リン酸土壌区 (中P)	11.9~17.7	半量施用 (1/2P区)	24	10	20
高リン酸土壌区 (高P)	23.2~45.6	標準施用 (標準区)	24	20	20

注) 有効態リン酸含量のばらつきは、試験区内におけるばらつきおよび年次変動による。

作土の土性は埴壤土 (CL) である。

試験区は土壌のリン酸肥沃度とリン酸施肥量を組み合わせて設定した (表1)。土壌のリン酸肥沃度は、栽培前の土壌中の有効態リン酸含量が7.2~11.0mg/100g乾土の低リン酸土壌区 (以下, 低P), 11.9~17.7mg/100g乾土の中リン酸土壌区 (以下, 中P), 23.2~45.6mg/100g乾土の高リン酸土壌区 (以下, 高P) の3水準とした。また、リン酸施肥量は、熊本県の夏まきキャベツ栽培の施肥基準量である20kg/10aを施用する標準区、その半量 (10kg/10a) を施用する半量減肥区 (以下, 1/2P区)、リン酸質肥料を施用しない無リン酸区 (以下, 無P区) の3水準とした。高Pと1/2P区の組み合わせは試験区数の制限のため設置できなかったため、リン酸肥沃度3水準とリン酸施肥量3水準を組み合わせた計8試験区を設定した。なお、窒素および加里の施肥量は、熊本県の施肥基準量である窒素24kg/10a、加里20kg/10aとした。試験区の反復は、標準区および1/2P区については反復なしであったが、無P区においては、低Pを2反復、中Pおよび高Pを3反復とした。

栽培試験は、同一圃場において2010~2011年の2年間で実施した。供試したキャベツ品種は「豊光」で、2010年は8月12日に播種し、9月1日に定植した。収穫は12月6日に行った。2011年は8月10日に播種し、9月2日に定植した。10月3日に追肥を行い、収穫は11月25日に行った。2ヶ年とも試験区は20.4m<sup>2</sup>/区とし、栽植密度は294株/a (60株/区) とした。

供試肥料は、2010年は、窒素成分として尿素とCDU窒素を1:1の割合で混合した配合肥料、

リン酸成分として重焼燐、加里成分として硫酸加里を用い、全量を基肥として施用した。2011年は分施肥系とし、硫安を窒素成分として12kg/10a、硫酸加里を加里成分として10kg/10a基肥施用した。また、NK化成2号と硫安を用いて窒素成分で12kg/10a、加里成分で10kg/10aを結球開始前に追肥した。リン酸は、過リン酸石灰を用い、全量を基肥施用した。

収穫物調査は、収穫適期に各区20株を採取し、全重および結球重を計測した。また、調査株のうち結球重が平均値に近い3株から試料を採取した。試料は通風乾燥した後、湿式分解し、バナドモリブデン酸比色法でリン酸含有率を測定、その結果を基に作物体のリン酸吸収量を算出した。土壌中の有効態リン酸含量は、栽培前後の作土を採取し、風乾、粉碎、篩別した後、トルオーグ法で

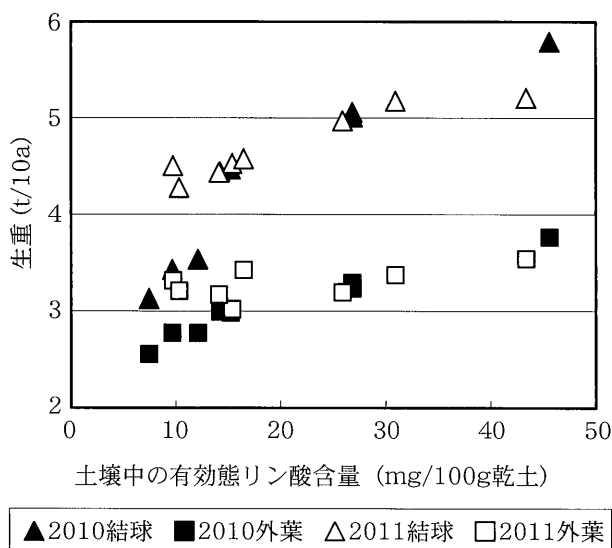


図 1. リン酸無施用でのキャベツ部位別生量

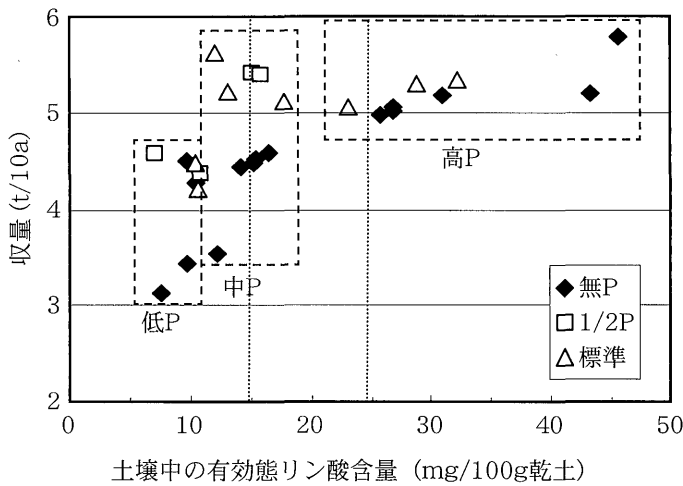


図2. 土壌中の有効態リン酸含量と収量の関係

測定した。

### 3. 試験結果

#### 1) リン酸肥沃度とキャベツ収量の関係

リン酸肥沃度が異なる土壌において、無P区におけるキャベツの結球部および外葉部の生重を図1に示した。結球重および外葉重は、土壌中の有効態リン酸含量が高くなるにつれて増加した。また両部位の重量とも、低Pの試験区にあたる有効態リン酸含量が10mg/100g乾土以下では、年次間変動が大きかったが、中Pにあたる15mg/100g乾土以上ではばらつきが小さくなった。さらに、高Pにあたる27mg/100g乾土以上では、熊本県におけるキャベツの目標収量である5トン/10a以上となった。この結果から、土壌の有効態リン酸含量が27mg/100g乾土以上であれば、リン酸肥料を施用しなくても目標収量を達成できることが示唆された。

リン酸肥沃度が異なる土壌に対してリン酸肥料を施肥した場合のキャベツ収量の変化を図2に示した。リン酸肥料を標準量施用した場合、低Pにあたる有効態リン酸含量が11mg/100g乾土以下の土壌では、キャベツ収量が4.2トン/10aと、目標収量に達しなかった。一方、有効態リン酸含量が11mg/100g乾土以上では増収し、5.1~5.6トン/10aと目標収量を上回った。また、1/2P区の場合も、土壌の有効態リン酸含量が11mg/100g乾土以下では4.3~4.6トン/10aと低い収量であっ

たが、中Pにあたる15mg/100g乾土以上では5.4トン/10aと目標以上の収量となった。

#### 2) リン酸吸収量とキャベツの収量および土壌中の有効態リン酸含量との関係

図3に示すように、キャベツの収量はリン酸吸収量とともに増加する傾向（正の相関）が認められた。ただし、試験区ごとにリン酸吸収量とキャベツの収量の相関をみると、標準区では正の相関が見られるものの低い相関関係であった。また、1/2P区では、明らかな相関関係が見られなかった。一方、無P区では、キャベツの収量とリン酸吸収量との間に、明らかに高い相関関係が確認された。このことから、無P区におけるリン酸吸収量、すなわち、土壌からキャベツに供給されるリン酸量は、キャベツの収量に大きく関係していると考えられた。さらに、無P区における収量とリン酸吸収量の関係式から、キャベツの目標収量5トン/10aを得るために必要なリン酸吸収量は5kg/10aと推定された。

土壌の有効態リン酸含量とキャベツのリン酸吸収量との関係においても、リン酸吸収量は土壌中

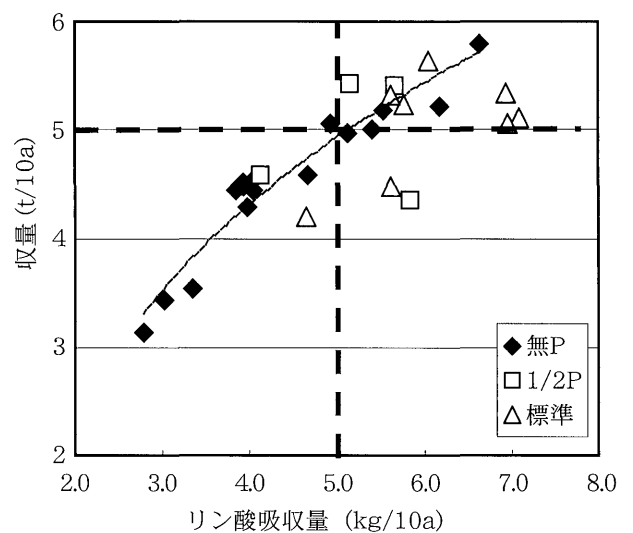


図3. キャベツのリン酸吸収量と収量の関係

注) 図中の曲線は無P区におけるリン酸吸収量と収量の相関曲線 ( $y=2.75\ln(x)+0.50$ ,  $R^2=0.93$ )

の有効態リン酸含量が増加するとともに増加する傾向が見られた(図4)。また、1/2P区および標準区のリン酸吸収量は、同程度の有効態リン酸含量であっても、無P区と比較して多くなる傾向が見られた。これは、キャベツが施肥したリン酸を吸収したことによるものと考えられた。一方で、無P区では、土壌中の有効態リン酸含量とキャベツのリン酸吸収量の相関決定係数が0.92と高く、両者に密接な関係が認められ、このグラフに対する回帰式から、土壌中の有効態リン酸含量が25mg/100g乾土以上であれば、リン酸質肥料を施用しない場合であっても、5kg/10a以上のリン酸がキャベツに吸収され、目標収量である5トン/10aが達成できると考えられた。

### 3) 栽培期間中の有効態リン酸の推移

土壌中の有効態リン酸含量は、栽培開始前の2010年には、低Pでは7.2~10.6mg、中Pでは12.5~15.2mg、高Pでは28.9~33.1mg/100g乾土であり、いずれも黒ボク土畑における露地野菜の土壌診断基準値5~50mg/100g乾土の範囲内であった(表2)。

栽培前後における土壌中の有効態リン酸含量の差は、リン酸質肥料を2年間全く施用しなかった無P区においては、-0.4~2.5mg/100g乾土でほとんど変化せず、2年間の栽培期間では土壌のリン酸肥沃度はほとんど低下しないと考えられた。またリン酸質肥料を施用した1/2P区では0.1~

4.0mg/100g乾土、標準区では1.4~5.7mg/100g乾土で、リン酸質肥料を施用することによりわずかながら有効態リン酸含量が増加する傾向が見られた。

## 4. 考察

### 1) トルオーグ法によるリン酸減肥量推定の妥当性

本報告の目的は、黒ボク土畑における夏まきキャベツ栽培において、土壌のリン酸肥沃度に応じたリン酸肥料の適正施肥量(減肥量)を求めることであり、このためには土壌中の有効態リン酸含量を把握する必要がある。有効態リン酸評価方法としては、ここで用いたトルオーグ法に加えて、ブレイNo.2法やオルセン法など様々な方法が提案されている。これらの方法のうち、どの方法が作物によって実際吸収されるリン酸量を測定できるのかについては、現在議論されているところであるが、本試験においては無P区における土壌中の有効態リン酸含量とリン酸吸収量には高い相関が認められる(図4)。このことから、黒ボク土壌における夏まきキャベツ栽培において、トルオーグ法で求める有効態リン酸含量は、適正施肥量を求める尺度として有効であると考えられる。また、トルオーグ法は、①測定が容易である、②測定に際して高額な機器を必要としない、③危険な廃液等が出ないなどの利点があることから、水田、畑など地目を問わず多くの土壌について適

用されており、データベースが豊富である。そこで、本報告では、有効態リン酸含量の測定において一般的に用いられているトルオーグ法による有効態リン酸含量に基づいてリン酸質肥料の減肥量を求めた。

表2. 有効態リン酸含量の推移

試験区	(mg/100g乾土)						
	1年目		2年目		1年目	2年目	
	栽培前 (A)	栽培後 (B)	栽培前 (C)	栽培後 (D)	増減 (B)-(A)	増減 (D)-(C)	
低P	無P	8.6	10.8	10.0	9.6	2.2	-0.4
	1/2P	7.2	11.2	11.0	11.1	4.0	0.1
	標準	10.6	12.0	10.4	12.9	1.4	2.6
中P	無P	13.9	16.4	15.4	15.7	2.5	0.4
	1/2P	15.2	16.4	15.9	18.2	1.3	2.3
	標準	12.5	18.2	17.7	21.4	5.7	3.7
高P	無P	33.1	35.2	33.4	34.6	2.1	1.2
	標準	28.9	32.9	27.7	29.8	4.0	2.1

## 2) 施肥リン酸の見かけの利用率

リン酸質肥料の適正な減肥量を求めるには、土壌からのリン酸供給量に加えて、施肥したリン酸がどの程度作物に利用されるかを示す利用率を求める必要がある。ただし真の利用率を求めることは困難であるため、本報告では施肥した場合の作物によるリン酸吸収量から施肥しない場合のリン酸吸収量を差し引き、リン酸施肥量で除して求める施肥リン酸の「見かけの利用率」を求めることとした。

リン酸肥沃度およびリン酸施肥量の違いによる施肥リン酸の見かけの利用率を表3にまとめた。まず、低Pの1/2P区では、リン酸吸収量が5.0kg/10aであるので、無P区のリン酸吸収量である3.4kg/10aを差し引いた1.6kg/10aがリン酸施肥によって増加する分と推定される。同様にして、標準区では1.7kg/10aがリン酸施肥によって増加すると推定される。また、中Pにおいては、施肥によって増加するリン酸吸収量は、1/2P区で1.4kg/10a、標準区で2.4kg/10aと推定される。これに対して、高Pでは無P区のリン酸吸収量が5.6kg/10aで、目標収量の5トン/10aが達成できるリン酸吸収量5kg/10aを越えているため、リン酸質肥料を施肥する必要はないと考え

表3. キャベツにおける施肥したリン酸の見かけの利用率

試験区	施肥リン酸量 kg/10a	リン酸吸収量 kg/10a	施肥による リン酸吸収 量の増加 kg/10a	施肥リン酸 見かけの 利用率 %
低P	無P	0	3.4	-
	1/2P	10	5.0	1.6
	標準	20	5.1	1.7
中P	無P	0	4.0	-
	1/2P	10	5.4	1.4
	標準	20	6.4	2.4
高P	無P	0	5.6	-
	標準	20	6.4	0.8

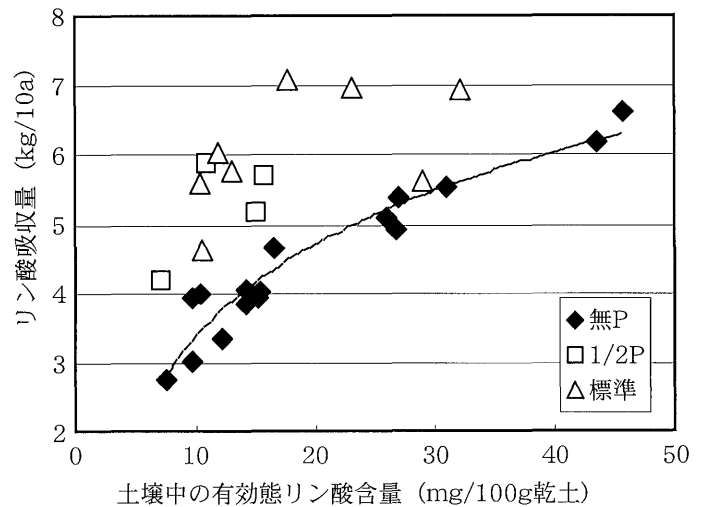


図4. 土壌中の有効態リン酸含量とキャベツのリン酸吸収量の関係

注) 図中の曲線は無P区における土壌中の有効態リン酸含量とリン酸吸収量の相関曲線 ( $y=1.92\text{Ln}(x)+1.03$ ,  $R^2=0.92$ )

られる。

これらの結果から、リン酸肥料の肥効が認められる低P～中Pにおける施肥リン酸の見かけの利用率を計算すると、1/2P区ではリン酸施肥量10kg/10aに対して吸収量は1.4～1.6kg/10a増加するので、施肥リン酸の利用率は14～16%、標準区では8.5～12%と推定される(表3)。これは、野菜栽培における施肥リン酸の利用率が10%程度であるという既往の結果<sup>2)</sup>とよく一致している。

本報告では、リン酸減肥量を求めるにあたって、施肥リン酸の利用率を過大評価することによって減肥可能量以上の減肥量が算出されることを防ぐため、最小値以下である8%をリン酸肥料の見かけの利用率とし、以下の推定に用いている。

## 3) リン酸減肥量の推定

これまでの結果及び考察を基に、夏まきキャベツ栽培におけるリン酸肥料の減肥量について推定する。まず、土壌からの供給量は、肥料を施用

しない無P区での有効態リン酸含量とリン酸吸収量の関係式（図4の◆のグラフで示す相関曲線）におけるリン酸吸収量（A）から求めることができる。次いで、このA値とキャベツの目標収量5トン/10aを得ることができるリン酸吸収量5kg/10aとの差を計算する。もし（5-A）が負の値であれば、リン酸肥料の施肥は必要ないと判断される。一方、（5-A）が正の値であれば土壌からのリン酸供給だけでは目標収量が得られないと判断されるので、その際はリン酸の不足量（5-A）を先に求めた肥料リン酸の見かけの利用率で除して必要量を求めることになる。このようにして求めた有効態リン酸含量レベルに応じた施肥リン酸の削減可能量を表4にまとめた。

この表において、有効態リン酸含量が黒ボク土における土壌診断基準値である5mg/100g乾土の場合、目標収量5トン/10aを達成するために必要とされるリン酸吸収量5kg/10aのうち、土壌からは2.1kgのリン酸しか供給されない。このため、5kgから2.1kgを差し引いた2.9kgを、リン酸肥料で補う必要がある。このとき、先に求めたリン酸肥料の見かけの利用率8%を用いると、必要なリン酸施肥量は $2.9 \div 0.08$ で、36.3kg/10aと計算される。同様にして、土壌の有効態リン酸含量が10mg/100g乾土では20.2kg/10a、15mg/100g乾土では10.5kg/10a、20mg/100g乾土では3.6kg/10aと有効態リン酸含量の増加に伴い、リン酸の施肥量は少なくなる。標準の施肥リン酸量は20kg/10aであるので、それぞれ-1.0%、47.5%、82.0%のリン酸減肥が可能と推察される。さらに、有効態リン酸含量が25mg/100g乾

土かあるいはそれ以上である高リン酸土壌では、リン酸肥料を施用しなくても目標収量は十分達成できると考えられる。

## 5. まとめ

施肥されたリン酸は作物による吸収利用効率が低く、多量に施用しても生育障害が出にくいいため、「足りないよりは多めに入れた方が安心」といった生産性重視の考えから、しばしばリン酸の過剰施用が行われてきている。しかし、内外におけるリン鉱石等資源の需要および供給の量的バランスは、ここ最近変動が激しく、肥料価格を押し上げる要因ともなっている。一方で、地力保全基本調査や土壌環境基礎調査等から農耕地土壌におけるリン酸の集積実態が明らかにされている。このように、肥料価格の高騰やリン酸集積の現状を踏まえると、有効態リン酸を土壌診断によって評価し、リン酸の施肥量を削減する方法は肥料コスト低減技術として非常に有効であると思われる。

ここでは、リン酸固定力が大きい黒ボク土を対象に、夏まきキャベツ栽培における土壌の有効態リン酸含量の評価に基づくリン酸の施肥量削減について言及した。その結果、土壌のリン酸肥沃度に応じて施肥リン酸の削減が可能であることが明らかになった。現在、キャベツ以外の作物についてもリン酸肥沃度との関連で施肥試験が行われており、今後多くの作物について有効なリン酸減肥技術が開発されることを期待したい。

## 6. 参考文献

- 1) 中山統雄, 原野幸子, 坂本夏美, 中村寿男, 鶴田克之 (2014): 県内の家畜排泄物由来堆肥および液状きゅう肥の含有肥料成分特性, 熊本

表4. 目標収量を達成できる有効態リン酸含量に応じたリン酸減肥量

土壌中の有効態リン酸含量 (mg/100g 乾土)		5	10	15	20	25	30
土壌に由来するリン酸吸収量 (kg/10a)		2.1	3.4	4.2	4.7	5.1	5.5
目標収量5トンに必要なリン酸施肥量 (kg/10a)		36.3	20.2	10.5	3.6	-1.7	-6.1
リン酸減肥量 (リン酸減肥率) (kg/10a) (%)		-16.3 (-81.5)	-0.2 (-1.0)	9.5 (47.5)	16.4 (82.0)	21.7 (100)	26.1 (100)

県農業研究センター研究報告第21, 37-41

- 2) Mishima S. Itahashi S. Kimura R. Inoue T.  
(2003): Trends of Phosphate Fertilizer  
Demand and Phosphate Balance in Farmland  
Soils in Japan, Soil Sci. Plant Nutr., 49 (1)  
39-45

### お詫びと訂正

2016年7月号掲載の京都府農林水産技術センター農林センター 河瀬弘一氏著「低PK一発肥料による水稲栽培への影響」の表記に誤りがありましたので、お詫びして訂正致します。

p.(6) 右段8行目

【誤】～の土壤化学性は表2の通りであった(表1)。

→【正】～の土壤化学性は表1の通りであった。

# ジェイカムアグリの肥料で豊かな実り。

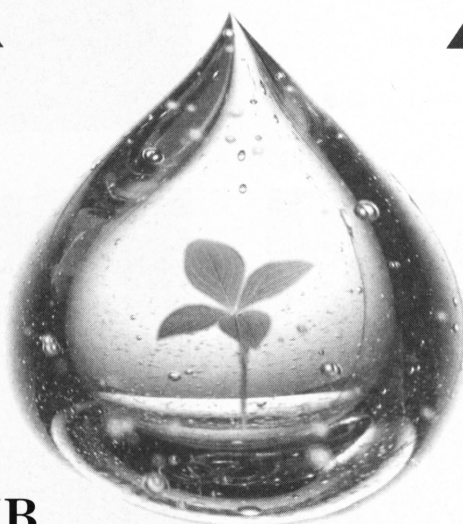
## 地球にやさしく、作物にちから強く。

### コーティング肥料

**LPコート® エムコート®**  
**エコロング®**  
**苗箱まかせ®**

### 緩効性肥料

**CDU®**  
**ハイパーCDU®**  
**IB® (アイビー®)**  
**スーパーIB® グッドIB**



### 化成肥料

**燐硝安加里® 硝燐加安**  
**硫加燐安 燐加安**

### 培土

園芸用育苗培土  
**与作®**  
苗箱りん田®  
水稲用育苗培土