

## サトウキビ栽培における肥料の低減

沖縄県農業研究センター 土壌環境班長 久場 峯子

### 1. はじめに

なぜ今、施肥量の削減なのか？ 全国的な減肥ブームの背景には肥料価格高騰があり<sup>1)</sup>、コスト削減が第一の目的であることは周知のとおりである。加えて、減肥を可能と判断するに足る圃場養分蓄積の実態が把握できたためである<sup>2)</sup>。特にリン酸とカリの蓄積量は著しく、取り分け減肥によるコスト削減に最も寄与できるリン酸施肥量を減らせることは、生産者にとって願ってもないことである。

では、サトウキビ作でどの程度施肥量を減らせるのか、沖縄県のサトウキビ施肥基準設定試験の歴史を紐解きながら述べていきたい。

沖縄県ではサトウキビの施肥基準量を以下の手法で設定した。①土壌が本来持っている性質を反映する施肥履歴の無い下層土（造成畑）を用いた施肥試験により、最大施肥量を押さえる。②人的活動を受けた作土における施肥試験により最小施肥量を得る。③最大施肥量と最小施肥量の範囲で、経年的な施肥反応・養分吸収量・土壌化学性の変化・肥効率等の考察を加え、適正施肥量を求める。

この手法を用いた5カ年の試験成果として、1986年に大幅な減肥を行った。その後、更なるリン酸・カリの減肥を反映した施肥基準2次改訂を1993年に行った。窒素に関しては増収を狙い施肥時期の改訂を加えたが、減肥は検討されていない。具体的な施肥量の推移を、表1にあげる。その後現在に至るまで、施肥基準の見直しはなされていない。これ以上の減肥は不可能と考えられるほど減肥したためである。なお対象品種は時の主流品種 NCo310である。

### 2. 沖縄県の土壌

多くの場合、肥料は土壌に施されるため、肥効はその施用される土壌によって異なるであろうことは、容易に予想し得る。そこで沖縄県に分布する代表的な3土壌の特徴について、概略を記す。それらは、国頭マーヅと呼ばれ中北部や久米島、石垣島の丘陵地に分布する風化の進んだ強酸性の赤黄色土（県土の約55%を占める）、石灰岩台地上に分布する中性の暗赤色の島尻マーヅ(30%)、中南部の小起伏丘陵地に広く分布する灰色でアルカリ性のジャーガル(10%)である<sup>3)</sup>。土壌化学性のみで肥沃度を語ることはできないが、一指

標として、表2に各土壌型の化学性を示す。一般的にジャーガルが最も高く、次いで島尻マーヅ、国頭マーヅは本県土壤中最も瘠薄な土壌と認識されているが、化学性からもその傾向は覗える。したがって、国頭マーヅの造成畑における施肥試験

表1 基準施肥量の変遷

土壌型	(年代)	単位 kg/10a									
		夏植え			春植え			株出し			
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
ジャーガル	旧基準(1963~1985)	25	15	14	17	11	10	20	12	11	
	1次改訂(1986~1992)	26	13	13	19	10	10	22	11	11	
	2次改訂(1993年)	熟畑	26	10	7	19	8	5	22	9	6
		造成畑*	30	15	8	23	15	6	15	15	7
島尻マーヅ	旧基準(1963~1985)	31	17	22	22	12	15	25	13	17	
	1次改訂(1986~1992)	24	12	14	18	9	11	20	10	12	
	2次改訂(1993年)	24	8	8	20	6	6	22	7	7	
	旧基準(1963~1985)	37	50	26	26	35	18	30	40	21	
国頭マーヅ	1次改訂(1986~1992)	熟畑	27	15	15	20	12	12	23	13	13
		造成畑* 1作	40	100	26	30	100	20	-	-	-
	2次改訂(1993年)	造成畑* 2作~	40	26	26	30	20	20	35	23	23
		熟畑	27	12	12	20	10	10	23	11	11
		造成畑* 1作	40	100	26	30	100	20	-	-	-
造成畑* 2作~	40	25	25	30	20	20	35	23	23		

\* 新開地扱いは6作程度を目安とする。

表2 主要土壌の化学性

土壌型	腐植 %	pH (H <sub>2</sub> O)	T-C %	T-N %	CEC me/100g	交換性塩基			me/100g Na	塩基飽 和度%	磷酸吸 収係数	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g
						Ca	Mg	K				
国頭マーヅ	作土	1.8	4.9	1.03	0.09	10.6	2.2	0.39	0.18	0.20	28	906
	下層土	0.5	4.8	0.30	0.06	8.8	1.6	0.37	0.07	0.31	26	1,190
鳥尻マーヅ	作土	2.3	7.1	1.30	0.14	18.4	22.7	1.48	0.38	0.41	136	817
	下層土	1.5	7.2	0.10	0.11	17.8	10.7	1.35	0.17	0.35	71	910
ジャーガル	作土	1.9	7.5	1.08	0.13	22.6	45.1	2.51	0.39	0.34	214	553
	下層土	1.0	7.9	0.50	0.08	21.1	49.1	2.88	0.21	0.37	249	578

で最大施肥量が、ジャーガルで最小施肥量が得られるであろうことは想像に難くない。

### 3. リン酸

#### 1) 造成畑

リン酸の施肥効果は、植物に利用されるリン酸(有効態リン酸)含量の指標として日本で広く利用されている Truog リン酸が殆ど無い国頭マーヅ造成畑と、鳥尻マーヅの下層土を用いたポット試験でのみ見られた。1970年代は国頭マーヅにおけるリン酸多投の必要性が指摘され、熟畑でも毎作50kg/10a もの施用が推奨されていた<sup>4)</sup>。風化の進んだ土壌である国頭マーヅは、アルミニウムや鉄の酸化物が多量に含まれ<sup>5)</sup>、それらにリン酸が固定され植物体が吸収できないため、このような多量施用が推奨されていたのである。確かに、造成後初作時は80~100kg/10a の多投が必要であった(図1)。過石として約500kg、25袋である。そうすることで Truog リン酸皆無の土壌が、10mg/100g まで引き上げられるのである。しかし、その後毎作80kg/10a も施用する必要はなく、残効が少なくとも3作はあった(図2)。別試験で初作時に80kg/10a 施用後、2作目から25kg/10a の施用を繰り返すことにより14mg/100g まで増加し、収量レベルは保たれることを確認している。この造成畑における結果から、熟畑におけるリン酸の施肥量は、25kg/10a を越える必要の無いことが推察される。鳥尻マーヅでは Truog リン酸 5 mg/100g の下層土で初作に15kg/10a の施用が必要であった(図3)。

鳥尻マーヅの結果は1/2000a ポットという根域制限条件で得られたため過小評価された可能性もあるが、この下層土の結果から、熟畑では15kg/10a 以上の施用は必要ないことが明らかである。ジャーガルではアルカリ性土壌における有

効態リン酸とみなされている Olsen リン酸含量が0.5 mg/100g と低いにもかかわらず、施肥効果は無かった(図4)。Olsen リン酸含量は50% 減肥12kg/10a の5作施用で1.3mg/100g

まで増加した(図5)。通常アルカリ性土壌では Ca とリン酸が結合し、植物が吸えないと言われていたが、サトウキビにとって Ca 型リン酸は充

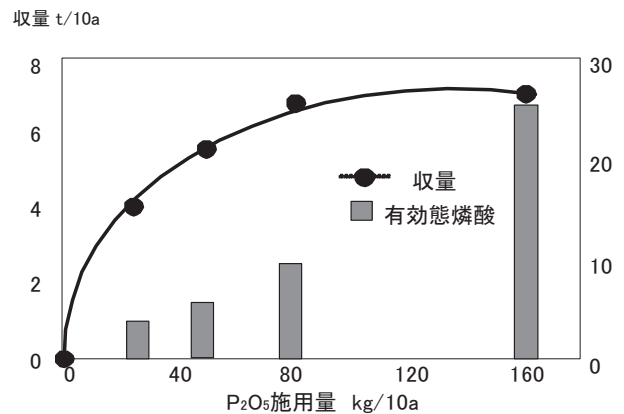


図1 国頭マーヅ造成畑におけるリン酸施肥反応と有効態リン酸

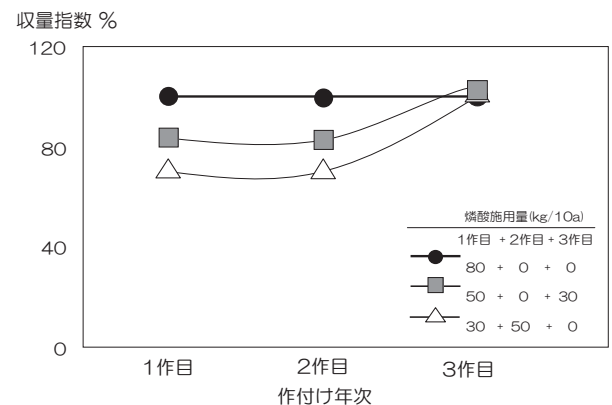


図2 国頭マーヅ造成畑における施肥リン酸の残効

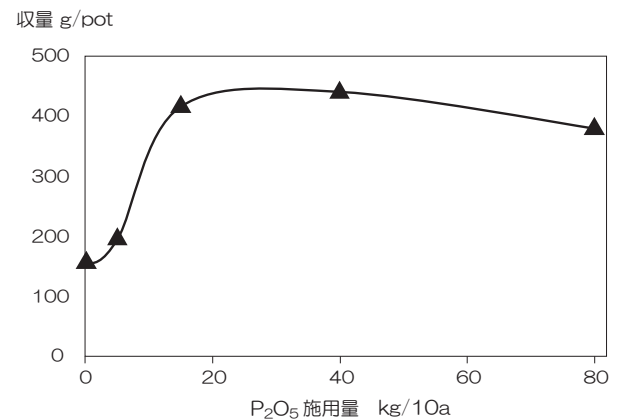


図3 鳥尻マーヅ下層土におけるリン酸施肥反応

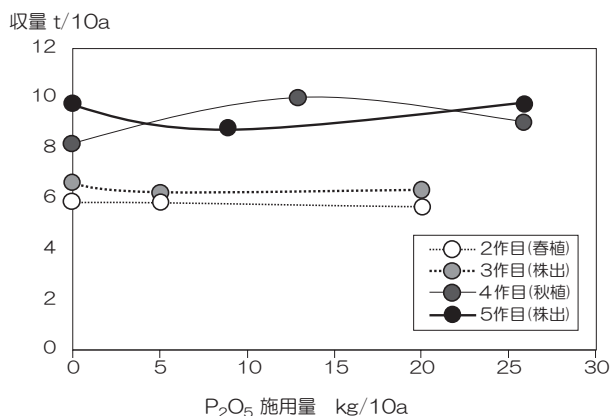


図4 ジャーガル造成畑における磷酸施肥反応

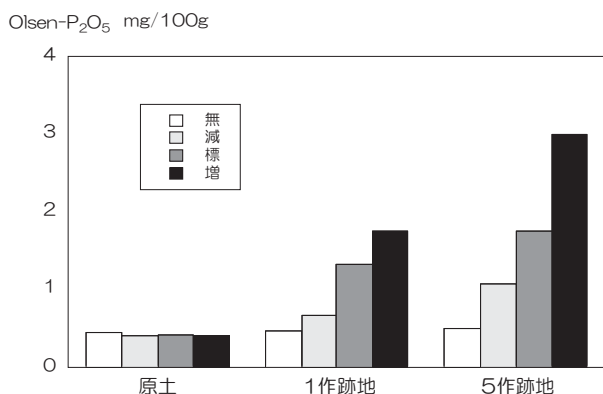


図5 ジャーガル造成畑における有効態磷酸の変化

分有効態と考えられる。よってジャーガル熟畑におけるリン酸施用適量は、自ずと12kg/10a以下になり得ることが予測できる。

## 2) 熟畑

熟畑におけるリン酸の効果は、3土壌型全てにおいて、試験実施期間中(5作)見ることはなかった。リン酸無施用を5作続けた圃場の有効態リン酸含量は、国頭マージで25.5mg/100gが23.5mg/100gへ微減、島尻マージでは11.5mg/100gと増減がなかった。サトウキビ地上部によるリン酸吸収量が、最も多く吸収された熟畑夏植えで約6~8 kg/10aであることを考慮すると、当時の施用量は全体的に多すぎると判断された。サトウキビが吸収する量を供給でき、かつ土壤にわずかに蓄積されると考えられる最低限の量とし、現行の基準量は8~12kg/10aとなっている。この量は試験開始当時の基準量18~81kg/10aの55~85%減に相当する。リン酸は一度リン酸吸収率が飽和されると、土壤粒子とともに流出しない限り、植物に持ち去られる量以上に施用されたリン酸は蓄積にまわると考えられており、現在あ

るリン酸蓄積は、3要素の中で最も高価なリン酸を備蓄してくれた先人の努力の賜物と考え、今後はそれらを活かした施肥を考える時代になるものとする。

以上リン酸肥効試験結果の概要を表3にまとめた。

## 4. カリ

初作におけるカリの施用効果は、島尻マージの下層土を除いて見られなかった(図6)。ジャーガルにいたっては施肥履歴のない造成畑でも、9作施用効果がなかった。その間カリ施用の有無に関わらず、植物が利用可能なカリの指標として用いられる交換性カリ含量は増加した。

興味深いのは、国頭マージのカリに対する反応である。作物が容易に吸収できる交換性カリを3mg/100gしか含まない土壤でも、4作まで無カリ栽培が可能という試験結果であった(図7)。カリ供給能指標としての交換性カリ含量の評価を巡っては諸説あるため、原土の非交換性カリ含量も測定した結果、17.6mg/100gであった。作土層を

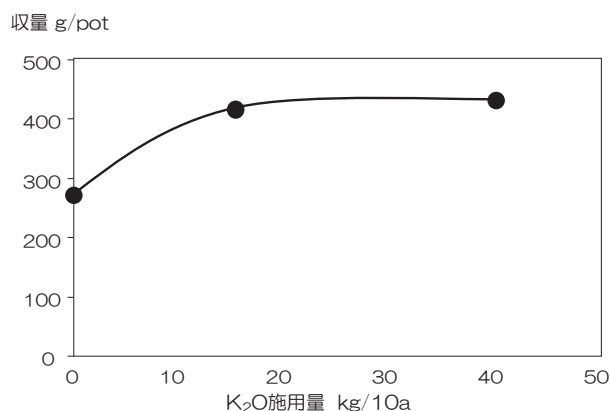


図6 島尻マージ下層土におけるカリ施肥反応

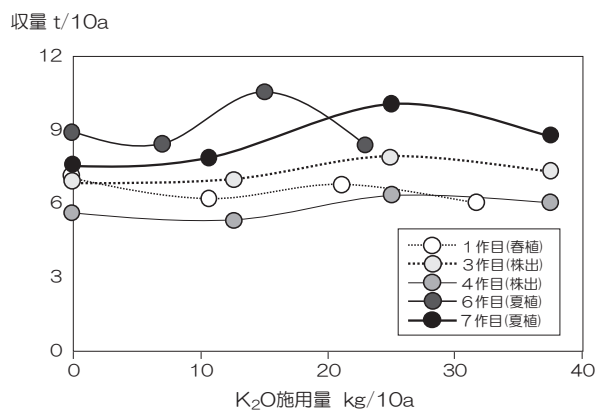


図7 国頭マージ造成畑におけるカリ施肥反応

30cmとして計算すると、10a 当たり67kgのカリを含んでいることになる。この値を無カリ栽培によるカリ吸収量15kg/10aで割り、国頭マージのカリ供給能を試算したところ、「約4.5作分」という結果を得た。このことは、4作の間施肥反応が見られず、5作目に若干の収量減を生じたことと符合する。よって可給態カリ評価に、濃硫酸抽出による非交換性カリの測定が有効と考える。ちなみにその土壌は3 t/10aの全K<sub>2</sub>Oを含んでいた。

ジャーガルでは5割減肥でも交換性カリ含量は増加しており、粘土粒子の珩素四面体層にNH<sub>4</sub>やH<sub>2</sub>Oと同様に多く存在するKが、徐々に溶出してくるものと考えられる。島尻マージの下層土を用いたポット試験結果では15kg/10aを必要としたが、リン酸と同様に過小評価の感を拭いきれない。

以上の結果を受け、カリもかなり減らせるものと考えた。では基準施肥量は？カリは贅沢吸収をするため、サトウキビが吸収する量から推測することは困難である。そこで、カリ標準量施用と無施用との間で交換性カリの変化量の大きかった島尻マージの結果から(図8)、無カリ栽培1作当りで消費される交換性カリ1.67mg/100gが標準量栽培1作当りで消費される量に占める割合を求め、約50%減の5~12kg/10aとした。以上カリ肥効試験結果の概要を表3にまとめた。

### 5. 窒素

窒素の減肥は手ごわい。施肥量については試験開始1作目こそ島尻マージにおいて施用効果がなかったが、押しなべて当時の基準量程度が適量で、国頭マージの造成畑のみ増施が必要であった。

島尻マージ熟畑における施肥基準量は、NC0310を用いた5作の結果で、増施による肥効

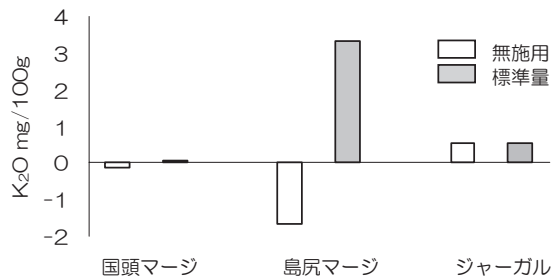


図8 1作で消費される交換性カリ量

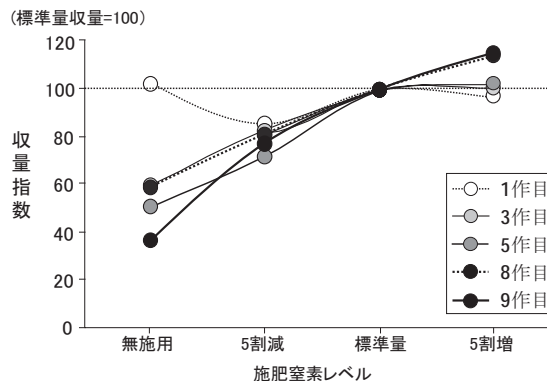


図9 島尻マージにおける窒素施用レベルを異にした長期作付けによる収量の変化

率の低さ、加えて島尻マージを主とする宮古島の地下水中硝酸性窒素濃度が、環境基準の10ppmを超えていたことから、第1次改訂時に2割程度減じた値、夏植え24kg/10a、春植え18kg/10a、株出し20kg/10aを基準施肥量とした。しかしその後品種をF172に変えた春植えと株出しの試験結果をもとに、それぞれ20kg/10a、22kg/10aへと基準量を増やした。各施用レベルの長期施用で収量がどう変化するか、改訂前後を含めて図9に示した。窒素成分の溶脱が3土壌型中最も激しいと考えられる島尻マージでは、作が進むにつれて各レベル間の収量差が広がり、5割増区で有意に増収することが明らかになった。このことは、現行の施肥配分であれば、窒素減肥どころか増肥が必要になることを示唆するものである。

ジャーガルでは無窒素区と5割減区は島尻マージと同様な傾向にあったが、標準量と5割増の差は試験を継続した8作まで見られなかった

表3 リン酸およびカリの施肥反応

肥料成分	国頭マージ		島尻マージ		ジャーガル	
	造成畑	熟畑	造成畑	熟畑	造成畑	熟畑
リン酸	無施用で減収し始める作	1作目	>4作目	1作目	>5作目	>5作目
	植物体地上部による吸収量	<7kg/10a		<6kg/10a		<8kg/10a
	土壌養分の変化	無施用の場合	-3mg/4作	±0	-0.5mg/5作	
	標準量の場合	+3mg/4作	+5mg/5作	+1.3mg/5作		
カリ	無施用で減収し始める作	>5作目	>4作目	1作目	>5作目	>9作目
	植物体地上部による吸収量	20kg/10a	50kg/10a	25kg/10a		70kg/10a
	土壌養分の変化	無施用の場合	-0.6mg/4作	-5mg/3作	+5mg/9作	
	標準量の場合	+0.2mg/4作	-2mg/4作	+10mg/3作	+5mg/9作	



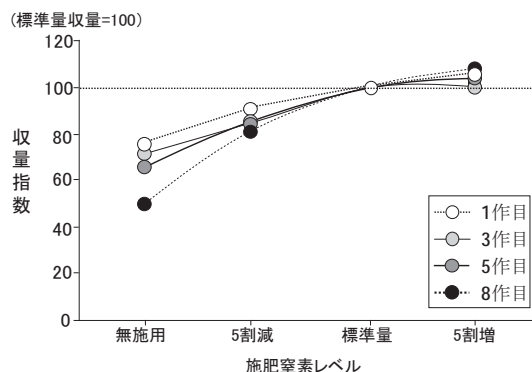


図10 ジャーガルにおける窒素施用レベルを異にした長期作付けによる収量の変化

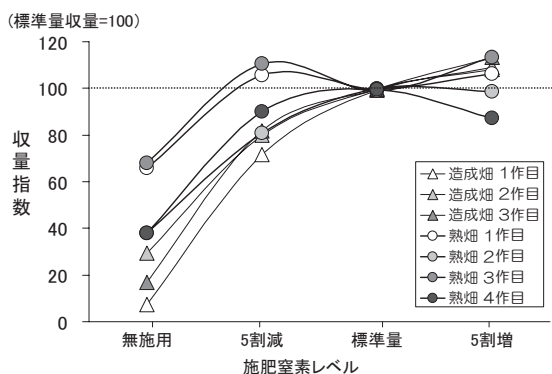


図11 国頭マージにおける窒素施用レベルを異にした長期作付けによる収量の変化

(図10)。この違いは、鳥尻マージの保水性の弱さに起因する硝酸の易溶脱性と、ジャーガル特有の粘土鉱物組成（アンモニア吸着）によるものと推察される。

国頭マージにおける窒素無施用は造成畑、熟畑を問わず初作から減収を招き、その程度は造成畑で大きい(図11)。熟畑では2～3作は5割減じても標準量並みの収量を得ることが可能であったが、4作目では約20%の減収になった。

以上のように窒素の減肥は難しいことが示唆され、続く施肥配分の試験結果から基肥減肥の可能性が示されたのを最後に、一連の施肥基準設定試験は終了した。

## 6. 減肥技術としての未利用資源の有効活用

サトウキビ産業の経済波及効果の高さは周知のとおりであるが、サトウキビの波及効果は”経済”だけに止まらない。環境保全効果を内含するのである。すなわち、サトウキビは大量に発生する畜産廃棄物や食品加工残さなどの有機性廃棄物を肥料分として再利用し易い作物であり、かつ栽培面

積も広く、環境浄化作物として機能する。最終生産物が砂糖という純粋な結晶質であるため、食の安全も満たされる。環境問題がそれほど問われなかった一昔前には、「廃棄物処理場」とするのかと怒る先輩方もおられた。しかし現在では未利用資源の有効活用という観点から、畑地還元の動きが活発になっている。

未利用資源の利用には、泡盛蒸留粕<sup>6)</sup>、豚ふん尿スラリー<sup>7)</sup>、豚舎污水から回収されるリン酸結晶(MAP)<sup>8)</sup>などの施用技術が確立されている。これらの利用により化学肥料の100%代替も可能である。さらに最近、地球温暖化対策としてカーボンニュートラルの立場からバイオ燃料の研究が加速している。沖縄県内市町村ではバイオマスタウン構想に基づき、サトウキビ糖蜜あるいは蔗汁からバイオエタノールを製造し、E3やE10ガソリン代替を目指す試みがなされている。しかし、製造されるエタノール量の30倍も排出される蒸留残渣液の処理が問題となり、サトウキビ畑への還元技術が開発されつつあるが、廃糖蜜を原料とするエタノール蒸留残渣液はカリウム含量が非常に高く、カリを基準にすると還元できる量(処理量)が僅かとなる。久場ら<sup>9)</sup>は、鳥尻マージ下層土における5 t/10a 施用はサトウキビの原料茎数増加による産糖量増加をみたが、同時にカリ蓄積を加速したと報告している。そのため、カリ蓄積圃場では品質低下の一因になることが懸念され、還元可能な畑地は限定されてしまう。新たな対処が必要になるであろう。

現在のサトウキビ農家手取り額では、できるだけ肥料コストを下げる努力をする必要があり、安全性が確認できれば(特殊肥料の届出がされた資材について)積極的に利用したいものである。しかし、未利用資源の養分含有率は往々にして低く、多量の資材施用を必要とする場合が多い。普及技術として定着するためには、施用機械の開発が不可欠である。

## 7. 更なる減肥の可能性

施肥基準第2次改訂後、1996年から1998年にかけて大田ら<sup>10)</sup>は沖縄県各地域それぞれ約100地点のサトウキビについて栄養診断と土壌診断を実施した結果、ほとんどの圃場でリン酸およびカリの

表4 農家圃場におけるリン酸およびカリの栄養・土壌診断結果概要

肥料成分		国頭マーヅ 熟畑	島尻マーヅ 熟畑	
リン酸	栄養診断	多～過剰	多	
	土壌診断	Truog	80%	
		Bray#1	50%	
		Nelson	95%	
	甘しゅ糖度と葉身中P濃度との相関	やや負	やや負	
カリ	栄養診断	多	多	
	土壌診断	過剰	多	
		甘しゅ糖度と葉身中K濃度との相関	負	負

蓄積が進み、かつサトウキビの栄養診断も窒素を除き診断値を充たしていた。それまで過剰害が報告されていないリン酸とカリであったが、土壌養分と葉身中濃度の間に正の相関、葉身中濃度と甘しゅ糖度との間に負の相関関係があり、両成分の施用量はまだ減らせるという結果を得ている（表4）。

またその後の単年度の試験で比嘉ら<sup>11)</sup>は、国頭マーヅ造成畑における植え溝施用でリン酸30%減肥が、ジャーガル造成畑では硫酸のみの追肥（リン酸およびカリ肥料の施用無し）が、さらに島尻マーヅ造成畑におけるNi15の春植えの基肥50%減が可能であるという結果を得ている。中西<sup>12)</sup>はマメ科緑肥で基肥30%を代替できると報告しているが、代替なしの50%減肥も可能という比嘉らの結果は、サトウキビの吸肥根が発生するまで施肥を行わない宮古島の慣行栽培の妥当性を、ある意味裏付けるものと言えよう。加治ら<sup>13)</sup>は、鹿児島県の島尻マーヅ様土壌における重窒素を用いた基肥と追肥の利用率試験で、基肥窒素の利用率は春植えで低く、追肥窒素は株出しで低いと結論している。

そろそろ、これらの成果を反映したサトウ施肥基準第3次改定を行う時期に来ているものと考える。

おわりに

更なる減肥のアプローチとして、リン酸やカリのように十分土壌に蓄積している養分については、複数作に一度の施肥を検討する価値が十分にあるものと思われる。窒素の減肥はなかなか難しいであろう。軽作業化が進み、追肥回数の減少と

それにとまなう培土の省略など、窒素施用効果が出にくい施肥体系になりつつある中での減肥は、減収を招く恐れがあるからである。加えて、現行施肥基準はNCo310を対象品種としており、昨今の早期高糖品種への検証はなされておらず、減肥ではなく増肥の可能性も充分あり得る。このように窒素の減肥技術の確立には、施肥時期・施肥配分・肥料形態等の更なる検討が必要であろう。

なお本稿は、砂糖類情報、No. 157、2009に掲載された「沖縄県の土壌とさとうきびの施肥」に加筆し、再編したものである。

参考文献

1. 農林水産省生産局：「肥料価格の現状等について」平成20年
2. 小原洋：「定点調査データの概要と農耕地土壌の全国的な傾向」ペドロジスト44(2), 2000
3. 久場峯子：「沖縄の農地の実態と土壌管理」ペドロジスト, 第37巻, 第2号, 1993
4. 甘しゅ耕種概観, 1963
5. 松阪泰明・音羽道三・山田祐・浜崎忠雄：「沖縄本島・久米島の土壌の分類について」農業技術研究所報告B, 第22号, 1971
6. 久場峯子他：「泡盛蒸留粕のさとうきび畑への還元」沖縄県泡盛産業技術開発研究会, 1999
7. 比屋根真一他：「サトウキビ畑における環境に配慮した豚ふん尿曝気処理水の散布」平成20年度普及に移す技術の概要, 2009
8. 眞境名元次・比嘉明美・鈴木一好：「土壌の違いが豚舎汚水から回収されたリン酸結晶(MAP)の肥効に及ぼす影響」平成21年度九州沖縄農業研究センター成果情報, 2009
9. 久場峯子他：「サトウキビ栽培におけるエタノール蒸留残渣液の利用」南西諸島におけるバイオマス利用研究成果発表会要旨, 2011
10. 大田守也・久場峯子：「沖縄県におけるさとうきびの栄養診断と土壌診断」日本作物学会九州支部会報, 第66号, 2000
11. 比嘉明美他：平成21年度試験成績概要書沖縄県農業研究センター土壌環境班, 2010
12. 中西康博：「サンゴの島々の窒素循環」砂糖類情報, No.159, 2009
13. 加治俊幸・長友誠:鹿児島農総セ研報(耕種)第2号, 2008