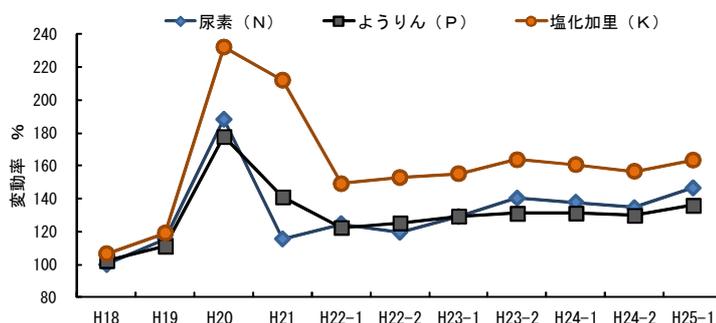


2 生産コスト低減（肥料費節減，省力）技術

(1) 現状

平成20年に化学肥料の原料であるリン鉱石，カリ鉱石や尿素の国際価格が高騰した結果，肥料原料の多くを輸入に依存している日本の化学肥料価格も上昇した。平成25肥料年度の化学肥料価格は平成17肥料年度に比べて，ようりんが約4割，塩化加里が6割も高く，現在も肥料価格は高止まりの状況にある。

このような状況下，露地野菜やサツマイモなどの大規模経営農家や施肥量の多い施設栽培農家などでは，収益性の維持，向上を図るために，肥料コストの低減がさらに重要な課題になる。



図Ⅱ-2-(1)-1 平成17肥料年度を100とした国内主要肥料価格の推移

- 注) 1. 資料：全国農業協同組合連合会の公表データ
2. 平成20肥料年度までは当年7月から翌年6月まで，22肥料年度から当年6月から翌年5月まで
3. 平成21年肥料年度は当年7月から5月まで
4. HOO-1は秋肥で，当年6月から10月まで，HOO-2は春肥で，当年11月から翌年5月まで

(2) 土壌診断結果に基づく施肥設計の必要性

1979年～2008年の土壌保全関連調査（土壌環境基礎調査，土壌機能モニタリング調査，1巡：5年間）から，本県農耕地土壌の化学性の実態は以下のように整理される。

30年間における地目毎の可給態リン酸含量の平均値は，水田，普通畑で横ばい，野菜畑，飼料畑，茶園，果樹園が2～3巡目以降基準値を超えて増加傾向で推移した（図Ⅱ-2-(2)-1）。6巡目における平均値は，野菜畑，茶園，果樹園，飼料畑で診断基準値を上回り，特に基準値の超過地点が多い茶園，果樹園でリン酸が大きく蓄積している傾向である（図Ⅱ-2-(2)-3）。

30年間における地目毎の各塩基飽和度の平均値は，カリ飽和度については，水田，普通畑，野菜畑で横ばい，その他は減少傾向で推移した（図Ⅱ-2-(2)-2）。石灰飽和度については，果樹園では下降傾向，茶園は基準値を下回って推移した。その他の地目では基準値下限付近の推移で，水田はわずかに下降傾向，野菜畑で下降から横ばい，普通畑，飼料畑で概ね横ばい傾向であった。また，苦土飽和度は概ね石灰飽和度と同様の推移である。6巡目における石灰飽和度の平均値は，全体的に基準値を下回り，不足割合は，特に野菜畑，茶園が多かった（図Ⅱ-2-(2)-3）。

上記のとおり，現在の本県畑土壌は，リン酸やカリが蓄積傾向にある。これは，リン酸固定力の強い黒ボク土畑が広く分布するため，ようりんなどの積極的な施用が行われたためと考えられる。また，施肥アンケート調査によると，家畜ふん堆肥など有機物の施用量が増加していないことから，養分蓄積の要因は養分濃度の高い堆肥の施用も考えられる。土壌のリン酸過剰は，アブラナ科野菜根こぶ病やレタス根腐病など土壌病害を助長すると報告されている。また，カリ過剰は，苦土欠乏や石灰欠乏などの栄養障害が発生しやすくなる。

土壌中の養分含量は、栽培ほ場の地目、土壌や施肥管理法によって多種多様であることから、栽培ほ場毎に土壌診断の実施が重要である。まずは土壌診断を行い、診断結果に基づいてリン酸やカリの適正施肥を行う。基準値を超える場合は、これらの減肥、あるいは無施肥に取り組む必要がある。また、土づくりとして施用する家畜ふん堆肥などの養分含量を考慮することで、さらにリン酸やカリの肥料コスト低減が可能になる。

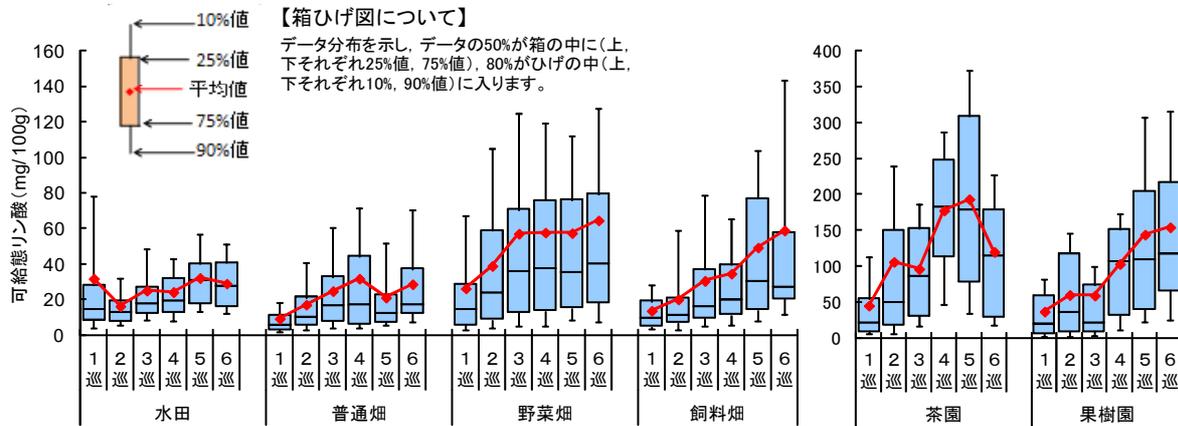


図 II-2-(2)-1 地目毎の可給態リン酸含量の推移

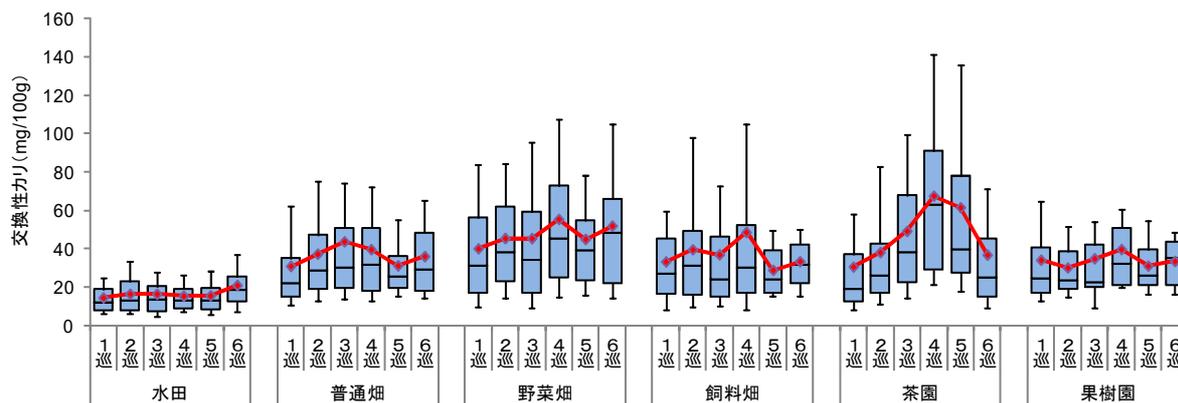


図 II-2-(2)-2 地目毎土壌の交換性カリ含量の推移

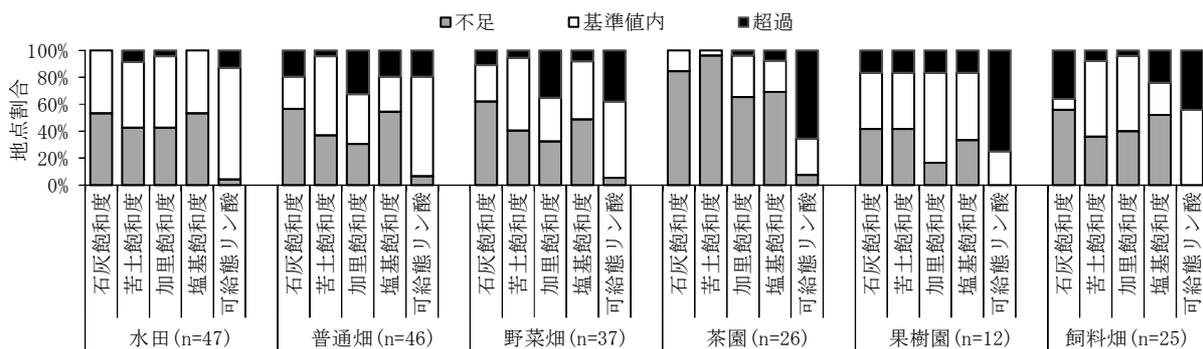


図 II-2-(2)-3 6巡目における各養分含量の土壌診断基準値に対する不足，超過割合

(3) 養分収支を考慮した施肥

一般的に、化学肥料中心の肥培管理を続けると、土壌の物理的や生物的性質を良好に維持することが難しく、持続的な農業生産のためには、堆肥等の有機物を併用すること

が不可欠である。しかしながら、ほとんどの場合、堆肥中の養分は考慮されないまま、養分が過剰施用されてきた。持続的農業生産を維持するためには、無駄のない施肥を心がけることが必要である。持続的な施肥を図るためには、基準量の堆肥を施用した上で、目標収量を確保する養分量を考慮し、不足養分量を肥料で補うことが、肥培管理の基本的考え方になる。施肥量は次の式のような考え方で算出される。

$$\text{施肥量} = \text{養分吸収量} + (\text{溶脱量} + \text{揮散量}) - (\text{堆肥中養分量} + \text{土壌蓄積養分量})$$

(A) (B) (C) (D) (E)

施用した肥料養分は土壌条件や気象条件の影響を受け溶脱や揮散がおこるため、作物にすべての養分が吸収されない。そのため、目標収量を得るための養分吸収量(B)に揮散や溶脱(C)の損失量を加え、堆肥に含まれる養分量(D)と土壌から発現する養分量(E)を差し引いた量が、施肥量(A)となる。

各作物は地域によって作型や作式が異なり収量レベルも異なる。土壌養分の過剰蓄積回避には、各生産地の収量レベルに応じた施肥基準の設定が重要である。収量と養分吸収量との間には相関関係があり、その関係から得られる養分必要量、堆肥からの養分投入および施肥量の関係から残存養分量が多くならないように施肥設計を組み立てなければならない。

一例として、表Ⅱ-2-(3)-1に秋まき作型のダイコン栽培における養分収支の試算を示す。収量8t/10aの場合、窒素15kg/10a(以下/10a略)、リン酸6kg、カリ36kgを吸収している。牛ふん堆肥1tと化学肥料からのリン酸施肥量は合計で37kgあるが、ダイコンのリン酸吸収量は6kgしかいないため、31kgのリン酸が土壌中に残存することになる。この試算は、牛ふん堆肥1tの時の養分収支であるが、堆肥施用量が多くなると養分残存量が多くなり、土壌への養分過剰集積の原因となる。地力を維持しながら栽培を行っていくためには、牛ふん堆肥等の施用は必ず必要であるが、作型や収量レベルに応じた養分吸収量を把握し、それぞれに合わせて堆肥施用量や施肥量を変えていく必要がある。

表Ⅱ-2-(3)-1 露地野菜(ダイコン)におけるみかけの養分収支(kg/10a)

T-N			P ₂ O ₅			K ₂ O								
施用量	吸収量	収支	施用量	吸収量	収支	施用量	吸収量	収支						
(A)	(B)	(A-B)	(A)	(B)	(A-B)	(A)	(B)	(A-B)						
26	(14)	15	11	(-1)	37	(25)	6	31	(19)	42	(13)	36	6	(-23)

注1) みかけの養分収支=(堆肥と肥料からの養分量)-吸収量、()内は肥料のみの場合の施肥量と養分収支
牛ふん堆肥1t/10a施用の場合

(4) 土壌蓄積養分を考慮した施肥

化学肥料削減の取り組みの一つとして、土壌診断結果に基づく適正施肥を行い、過剰施肥を行わないことが重要である。ここでは、土壌の蓄積養分を有効利用し、施肥量を削減する方法を紹介する。

ア 窒素

窒素に関する土壌診断項目には、無機態窒素と可給態窒素がある。

(ア) 無機態窒素

無機態窒素（アンモニア態窒素、硝酸態窒素）は、基肥施用量から減ずることができる。例えば、硝酸態窒素量が5 mg/100gの場合、基肥施用量から5 kg/10aの窒素を削減することができる。主に施設畑が対象となるが、露地畑でも前作の残存窒素が見込まれるときは基肥施用前に測定することで活用できるが、硝酸態窒素は降雨等によって溶脱するため、土壌採取から時間が経過している場合は適用できない。土壌中硝酸態窒素濃度は、SPADやRQフレックスなどを用いて測定ができる。

(イ) 可給態窒素

a 可給態窒素とは

可給態窒素は地力窒素ともいい、畑の窒素肥沃度を表す重要な土壌診断項目のひとつであるが、測定が煩雑で時間がかかるため土壌分析にする頻度は少ない。

可給態窒素測定の公定法は30℃ 4週間培養法である。水田は湛水、畑作は湿潤で培養し、培養期間中に土壌微生物によって無機化された窒素量が可給態窒素 (mg/100g) である。

水田の土壌診断基準は8～15 (mg/100g)で、これを超えると水稻が倒伏する危険性が増し、玄米中粗タンパク質含量の高まりによる品質低下も懸念され、窒素減肥が必要となる。一方、畑の場合は土づくりの観点から、地力増進基本方針において5 mg/100g以上という目標値は設定されているが、作物ごとの土壌診断基準値はない。これは、畑作には多くの品目、作型等があるためである。

施肥基準は、目標収量を確保するのに必要な標準的な施肥量であり、中庸な窒素肥沃度を想定して作成されている。露地畑における可給態窒素の平均は3 mg/100 g程度である。

b 可給態窒素の簡易測定法

可給態窒素は30℃ 4週間培養法で測定されるが、これを迅速に測定する方法が提案されている。水田土壌は「絶乾土水振とう抽出法あるいは乾熱土水抽出法」畑土壌は「80℃16時間水抽出-COD測定法」で、農研機構からマニュアルが印刷されている。

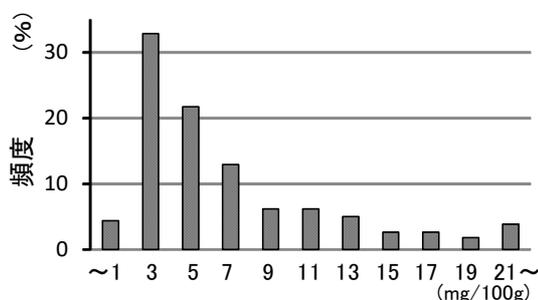


図 露地畑における可給態窒素のヒストグラム

注) 本県露地畑の可給態窒素の分布 (n=341)
上蘭・鹿児島農総セ研報 第13号

(水田) https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/narc_available_N_paddy_man.pdf

(畑) http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/carc/result_digest/files/snmanu.pdf

c 野菜畑における可給態窒素レベルに応じた窒素施肥の考え方

可給態窒素は30℃ 4週間の培養期間に無機化する窒素量であり、硝酸態窒素のように1 mg/100 g ≒ 1 kg/10 a と換算することができない。窒素の無機化は土壤微生物の働きによるため、土壤の種類や温度や水分など環境条件で異なるが、このうち特に影響が大きい地温を考慮することで、窒素無機化量が概算できる。例えば、下図は青果用キャベツの3作型において旬ごとの窒素無機化量（可給態窒素1 mg/100gが施肥窒素でどのくらい(kg/10a)に相当するかを試算）を表したものである。地温が高い時期は窒素無機化量が多く、地温の低い時期は少なくなる。

キャベツの作型別に旬毎の施肥窒素換算量を積算すると、晩夏まきで2.1kg/10 a，初秋まきで0.8kg/10 a，晩秋まきで1.4kg/10 a になる。

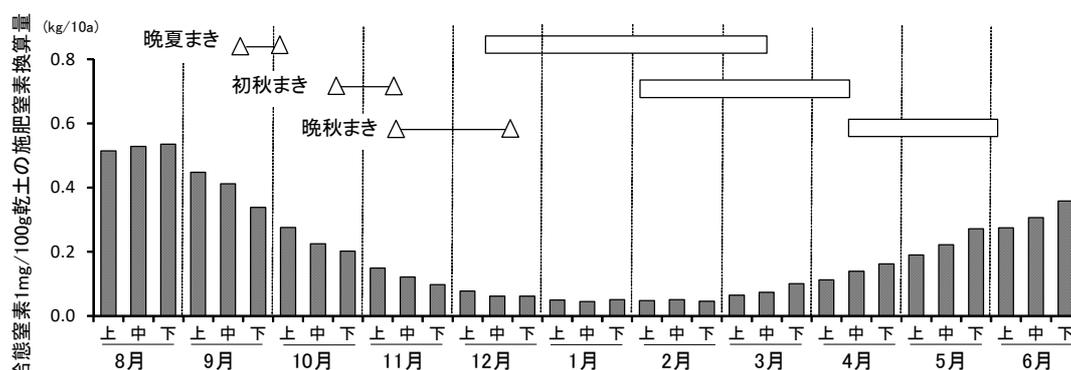


図 青果用キャベツの作型と土壤の可給態窒素1mg/100gに対する旬ごとの施肥窒素換算量

- 注1) △:定植期 □:収穫期間 算出に用いた平均地温データは鹿児島市、キャベツの作型は鹿児島県のものである
 2) 旬毎の施肥窒素換算量は、可給態窒素1mg/100g乾土の施肥窒素としての換算量(kg/10a)である。
 算出条件は、土壤が黒ボク土、窒素利用率は窒素質肥料、可給態窒素ともに50%とし、土壤の深さは30cmで算出した。
 3) 平成30年度普及情報

したがって、キャベツ栽培予定圃場の可給態窒素を測定し、可給態窒素の平均値である3 mg/100 gを基準として、作型毎の可給態窒素換算量を乗じた窒素量を施肥基準量から増減することで、下表のような可給態窒素診断結果に基づく施肥窒素量を求めることができる。

表 青果用キャベツ作型別に算出した可給態窒素の施肥窒素換算量と施肥窒素の増減量

作 型	施肥窒素換算期間	注1) 可給態窒素1mg/100g 乾土の施肥窒素への換算量(kg/10a)	可給態窒素(mg/100g乾土)と施肥窒素増減量(kg/10a)				
			1	2	3(標準)	4	5
晩夏まき	9月下旬～2月上旬	2.1	+4.2	+2.1	±0	-2.1	-4.2
初秋まき	11月上旬～3月上旬	0.8	+1.6	+0.8	±0	-0.8	-1.6
晩秋まき	12月上旬～5月上旬	1.4	+2.8	+1.4	±0	-1.4	-2.8

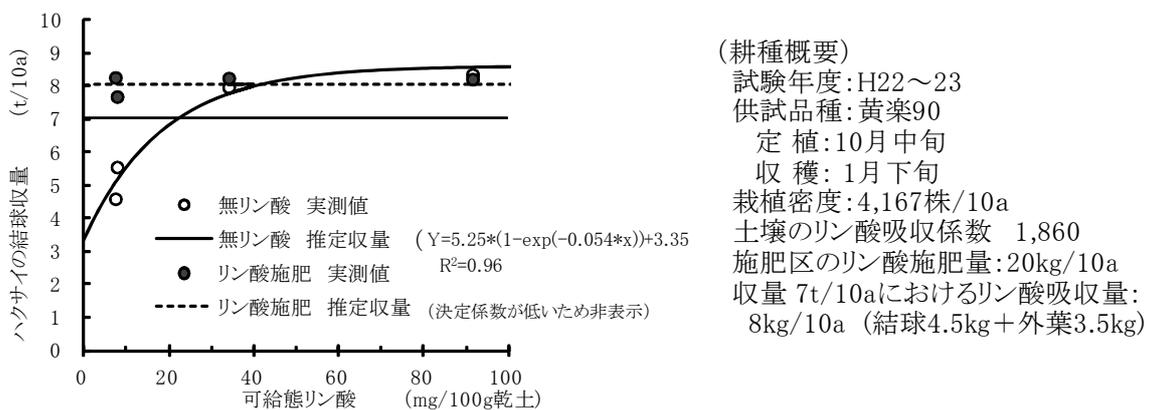
d 今後の取り組み

令和元年度末に、「野菜作における可給態窒素レベルに応じた窒素施肥指針作成の手引き」が公表される予定であり、他の品目への適用拡大を予定している。

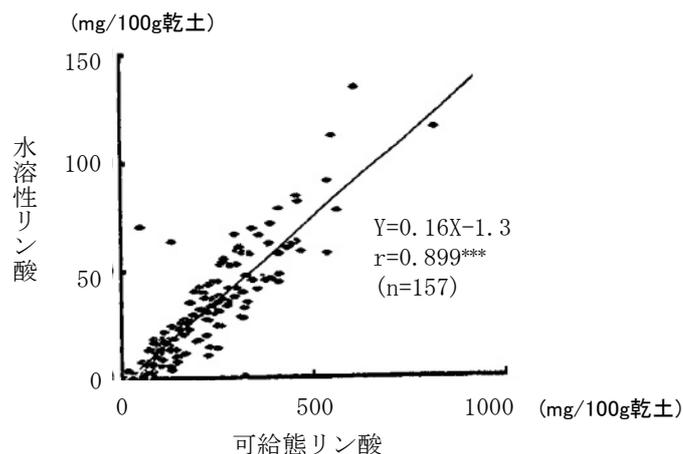
イ リン酸

土壌蓄積養分を有効利用する肥料コスト低減の手段として、可給態リン酸含量に対応した施肥量削減方法を紹介する。可給態リン酸とは土壌中に含まれるリン酸のうち作物が吸収利用可能なリン酸であり、水溶性リン酸は、作物が直接吸収するリン酸であると考えられる。可給態リン酸含量と水溶性リン酸含量との関係をみると正の相関があり、可給態リン酸の中に10～20%の水溶性リン酸が含まれ、その含量から施肥量を推定できる（図Ⅱ-2-(4)-2）。可給態リン酸含量に応じた施肥は、可給態リン酸含量毎に求めた水溶性リン酸相当量を目標収量を得るリン酸吸収量から差し引き、残りのリン酸吸収量を補給量とする方法である。

ハクサイの事例でみると、可給態リン酸含量毎のリン酸施肥量は、50mg以上では水溶性リン酸が6 mg/100g（以下/100gを省略）程度含まれており、目標収量の際のリン酸吸収量に近い量が水溶性リン酸で確保できる。また、50mg以下でもその含量に対応した施肥量になるため減肥が可能となる。なお、従来は、可給態リン酸含量に応じて、不足、適、過剰と評価していたが、この方式では、リン酸施肥量を可給態リン酸含量レベルに応じて具体的に求めることができる。ここでは、ハクサイの試験事例をもとに説明したが、ニンジンやサツマイモ等でも同様な試験結果が得られており、他の作物にも適用が可能と考えられる。そこで、可給態リン酸を測定しリン酸肥料の節減を行う場合は、産地の施肥基準量からの減肥を基本とし、可給態リン酸が25mg以下では施肥基準量、分析値が25～50mgの範囲であった場合は施肥基準量の半量施用する。基準値上限（50mg）を超えた土壌では施用しない（表Ⅱ-2-(4)-1）。また、減肥を行う場合は、必ず牛ふん堆肥を2 t/10a以上施用する。可給態リン酸含量が土壌診断基準値以下の場合は、リン酸質肥料等を施用して、可給態リン酸含量を10mg/100gまで改良したうえで施肥する（VI-6-(2) 土壌改良の項を参照）。



図Ⅱ-2-(4)-1 ハクサイにおける可給態リン酸と収量の関係
 注) 鹿児島県農業開発総合センター指導参考情報，2013



図Ⅱ-2-(4)-2 可給態リン酸と水溶性リン酸の関係

注) 山下ら, 鹿児島県農試研究報告, 1992

表Ⅱ-2-(4)-1 畑地における土壌の可給態リン酸含量に応じたリン酸施肥基準
(鹿児島県農業開発総合センター指導参考情報, 2013)

可給態リン酸含量 (mg/100g乾土)	～10	10～30	30～50	50～
リン酸施肥基準量 注1, 2)	100% 注3)	100%	50% 注2,4)	無リン酸
水溶性リン酸推定量 (kg/10a) 注4)	～2	2～5	5～8	8～

注) 1 牛ふん堆肥施用を前提とした基準である

2 地域のリン酸施肥基準量に対する比率とする

3 リン酸質資材等を施用して, 可給態リン酸含量を10mg/100g乾土まで改良したうえで施肥する

4 水溶性リン酸がトルオーグリン酸の16%程度であることを考慮して設定した

ウ カリ

カリについては, 土壌中の交換性カリ含量に応じて施用量を加減する。その際, 石灰・苦土とのバランスを考慮することも重要である。ここでは, 交換性カリ含量に対応した施肥量節減の方法を提案する。

交換性カリ含量が23mg/100g以下では施肥基準量を施用する。交換性カリ含量が23～47mg/100gの場合では施肥基準量の半量施用する。基準値上限(47mg/100g)を超えた土壌では施用しない。減肥を行う場合は, 必ず牛ふん堆肥を2t/10a以上施用する。また, 土壌診断基準値以下の場合は, 土壌改良として不足量を施用する(VI-6-(3) 土壌改良の項を参照)。

表Ⅱ-2-(4)-2 畑地における土壌の交換性カリ含量に応じたカリの施肥

交換性カリ含量 (mg/100g乾土)	23以下	23～47	47以上
カリ施肥量	100%	50%	0%

注) 1. カリ施肥量は, 地域のカリ施肥基準量に対する比率

2. 減肥を行う場合は, 必ず牛ふん堆肥を2t/10a以上施用する

3. 陽イオン交換容量(CEC)が15～35meq/100g乾土の黒ボク土壌を想定した施肥

(5) 家畜ふん堆肥中養分を考慮した施肥

本県の農業産出額は全国第4位（平成22年，4,011億円）で，その半分以上が畜産部門による。畜産が盛んなため，家畜排せつ物の量も多く，その適正処理と有効活用が重要な課題となっている。最近では，肥料価格が高騰していることやバイオマスへの関心の高まりなどから，堆肥を活用した施肥技術が注目されている。そのような中，今回改めて平成7年から県農業試験場が取り組んだ家畜ふん堆肥の肥料としての利用技術を検証し，堆肥と化学肥料を組み合わせた施肥設計の考え方をとりまとめた。

これまで，堆肥は，主に土づくり目的で使われてきたが，肥料成分も多く含まれている。また，飼料の質が変化したこと，混合副資材が減少したこと，雨ざらし堆肥が流通できなくなったことなどの理由から，近年家畜ふん堆肥中の肥料成分含量は増加傾向にある（図IV-3-(7)-1参照）。環境負荷軽減・土壌養分の適正管理を行うために肥料成分をふまえた施肥を行うことが重要である。

その肥料成分には，堆肥を施用した栽培期間中に作物が利用できる部分（≒化学肥料に相当）とその期間には利用できずに土壌に蓄積される肥料部分がある（例図参照）。堆肥を肥料として活用する場合，以下の評価方法により化学肥料に相当する量を求める。

ア 評価方法

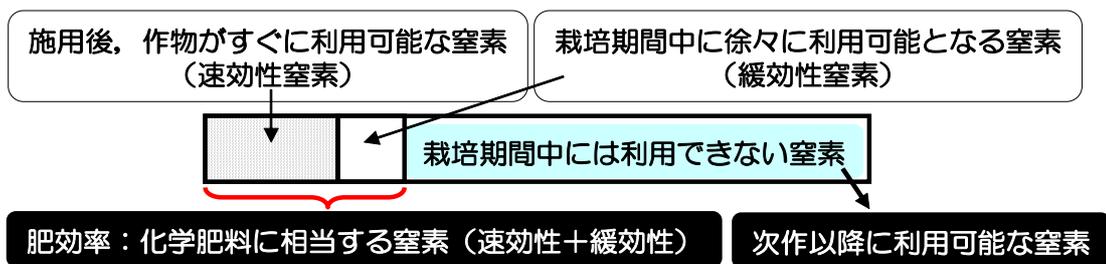
(ア) 堆肥中の窒素，リン酸，カリの成分量を調べる。

→使用する堆肥に記載されている各成分の含有率を確認する。

(イ) 各成分の化学肥料に相当する量を求める。

→下図のような考えをもとに，設定されている各成分の肥効率（化学肥料に相当する割合）を利用する（表II-2-(5)-1）。

（例）堆肥中の窒素成分の模式図



次に，求めた化学肥料に相当する量と施肥基準量から施用する堆肥の量を求める。

ただし，注意点として窒素施肥基準量の全てを堆肥で代替すると，土壌中に肥料成分が過剰となり，作物生産に悪影響を及ぼすほか，環境負荷にもつながる。

特に窒素は，炭素率や地温（微生物の活動に影響する）等の影響を受けやすいことから，「窒素施肥量（施肥基準）の4割以内を堆肥で，残りの6割以上を化学肥料で施肥する（右図）」ことに留意する。なお，実際には土壌診断を行い，窒素，リン酸，カリが過剰に施肥されないよう施肥設計を作る必要がある。



例) ある牛ふん堆肥を用いた場合の施肥量の計算

1 トン当たり窒素：4.2kg，リン酸：16.2kg，カリ：23.4kgが化学肥料に相当する養分が含まれる堆肥を用いた施肥設計例を示す。

表Ⅱ-2-(5)-1 家畜ふん堆肥の肥効率 (想定値)

項目 畜種	肥効率(%)			肥料成分 (現物当たり%)		
	窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
牛ふん堆肥	30~40	60~70	90	1.4	2.7	2.6
豚ふん堆肥	50~60	60~70	90	2.3	5.2	2.7
鶏ふん堆肥	60~70	60~70	90	2.4	4.7	3.4

$$\text{家畜ふん堆肥 (kg/a)} = \frac{\text{化学肥料成分施用量 (kg/a)}}{\text{肥効率 (\%)} \times 0.01} \times \frac{1}{\text{堆肥の肥料成分 (\%)} \times 0.01}$$

表Ⅱ-2-(5)-2 堆肥の肥料的利用時の計算事例-1

ある牛ふん堆肥について評価すると、

	窒素	リン酸	カリ
①堆肥の成分含有率	1.4%	2.7%	2.6%
②堆肥 1 トン当たりの成分量 (式：1,000kg×①)	14kg	27kg	26kg
③化学肥料に相当する割合 (肥効率)	30%	60%	90%
④堆肥 1 トン当たりの化学肥料に 相当する量 (式：②×③)	4.2kg	16.2kg	23.4kg

表Ⅱ-2-(5)-3 堆肥の肥料的利用時の計算事例-2

この堆肥を使った施肥設計 (水稻) を計算すると、

	窒素	リン酸	カリ
⑤施肥基準量 (10a当たり)	7 kg	6 kg	7 kg
前提条件：窒素施肥量 (施肥基準) の 4 割を堆肥で施用する ⇒ 窒素施肥量 (施肥基準) 7 kg × 0.4 = 2.8kg * 堆肥からは 2.8kg の窒素を施用する！ 上記表では、堆肥を 1 トン施用した場合に化学肥料相当の窒素量が 4.2kg であるので、 (式) 2.8kg ÷ 4.2kg = 660kg			
⑥堆肥 660kg 当たりの化学肥料 に相当する割合成分量 (式：660kg × ④ / 1,000kg)	2.8kg	11kg	15kg
⑦化学肥料で施肥する成分量 (式：⑤ - ⑥)	4.2kg	-5kg*	-8kg*

注) 1. 10a 当たりの施肥量は「堆肥 660kg + 化学肥料 (窒素成分で 4.2kg 分)」となる

2. * : リン酸とカリの肥料は不要

3. 資料：家畜ふんたい肥を活用した施肥技術

この場合リン酸とカリの肥料は不要となり、10a当たりの堆肥と化学肥料の施用量は、「堆肥660kg+化学肥料(窒素成分で4.2kg分)」となる。

以上の計算によって施肥設計を立て、実際に栽培試験をした結果を紹介する(表Ⅱ-2-(5)-4)。普通期水稻(ヒノヒカリ)では、「現地慣行」が化学肥料での施肥に対して、「実証区」は堆肥と化学肥料(窒素単肥)を組み合わせた施肥であり、結果として収量は「現地慣行」と同程度で、肥料費は4割削減できる。

各品目の家畜ふん堆肥と化学肥料の組合せ事例を表Ⅱ-2-(5)-5に紹介する。

表Ⅱ-2-(5)-4 家畜ふん堆肥中養分を考慮した施肥と慣行施肥の経済性比較

試験区	肥料の種類	施肥量 (10a当たり)	収量 (kg/10a)	肥料費 (10a当たり)
現地慣行	配合肥料	33kg	622 (100)	4933 円
	追肥用肥料	19kg		1823 円
				合計 6756 円 (100)
実証	鶏ふん堆肥	256kg	606 (97)	1365 円
	牛ふん堆肥	220kg		985 円
	尿素	5kg		599 円
	肥効調節型肥料	5kg		1153 円
				合計 4102 円 (60)

注) 1. 肥料費は平成20年8月時点

2. 収量データは平成14年農業試験場作物部成績書からの抜粋、括弧内は現地慣行区に対する指数

表Ⅱ-2-(5)-5 家畜ふん堆肥と化学肥料の組合せ事例

作物 (作型, 品種)	家畜ふん堆肥・肥料の施肥量 (窒素成分換算でkg/10a)
早期水稲 (コシヒカリ)	1. 全量基肥 鶏ふん堆肥：4.8kg+尿素：1.8kg +肥効調節型窒素(シグモイド型60日タイプ)：1.8kg 2. 基肥 鶏ふん堆肥：4.8kg+尿素1.8kg 穂肥 NK化成：1.8kg
普通期水稲 (ヒノヒカリ)	1. 全量基肥 鶏ふん堆肥：6.2kg+牛ふん堆肥：3.1kg +尿素：2.4kg +肥効調節型窒素(シグモイド型100日タイプ)：1.8kg 2. 基肥 鶏ふん堆肥：6.2kg+牛ふん堆肥：3.1kg +尿素2.4kg 穂肥 NK化成：1.8kg
原料用サツマイモ (コガネセンガン, シロユカタ)	牛ふん堆肥：20.0kg
青果用サツマイモ (ベニサツマ)	牛ふん堆肥：10.0kg
キュウリ (抑制+早熟 アルファ節成)	豚ふん堆肥：25.2kg+牛ふん堆肥：12.6kg +尿素：10.1kg +肥効調節型窒素(リニア型140日タイプ)：10.1kg +肥効調節型窒素(シグモイド型120日タイプ)：10.1kg
ピーマン (促成, 京ゆたか)	豚ふん堆肥：25.0kg+牛ふん堆肥：12.5kg +尿素：12.0kg +肥効調節型窒素(リニア型140日タイプ)：18.0kg
バレイショ (春作, ニシユタカ)	鶏ふん堆肥：7.5kg+牛ふん堆肥：3.7kg +尿素：9.0kg
サトイモ (マルチ, 石川早生丸)	鶏ふん堆肥：9.6kg+牛ふん堆肥：3.2kg +尿素：12.0kg
キャベツ (初秋まき, 金春)	鶏ふん堆肥：8.0kg+牛ふん堆肥：4.0kg +尿素：9.6kg
ニンジン (秋まき, 向陽2号)	鶏ふん堆肥：9.6kg+牛ふん堆肥：4.9kg +尿素：11.5kg
輪ギク (電照12月出し, 神馬)	基肥 鶏ふん堆肥：13.4kg+尿素：12.0kg 追肥 NK化成：2.0kg×2回
スプレーギク (電照12月出し, セイプリンス)	基肥 鶏ふん堆肥：8.7kg+尿素：7.8kg 追肥 NK化成：2.0kg×2回
ポンカン (吉田ぼんかん)	2月下旬 鶏ふん堆肥：4.0kg+牛ふん堆肥：4.0kg 10月中旬 肥効調節型窒素(リニア型70日タイプ)：4.8kg +肥効調節型窒素(リニア型180日タイプ)：4.8kg
ビワ (茂木)	9月上旬 牛ふん堆肥：3.6kg+豚ふん堆肥：3.6kg 肥効調節型窒素(リニア型100日タイプ)：2.7kg +肥効調節型窒素(リニア型180日タイプ)：2.7kg
茶 (やぶきた)	「秋肥」を牛ふん堆肥：15.0kgで代替

注) 1. 全ての家畜ふん堆肥・化学肥料が窒素成分の施肥量で表示

2. 化学肥料の窒素含有率は尿素：46%, NK化成：16%, 肥効調節型窒素肥料(リニア型)：42%,
肥効調節型窒素肥料(シグモイド型)40%

3. 資料：家畜ふんたい肥を活用した施肥技術

(6) 施肥効率を向上させる施肥技術

ア 緩効性肥料の利用

肥料の大部分は基肥として施用するが、作物の生育初期には根の張りが少なく肥料成分の吸収量が少ない。このため基肥として施用した肥料は、作物の生育初期から溶脱する可能性がある。この基肥を無駄なく利用するために、いろいろな肥料や施肥法が開発されてきた。たとえばI BやC D Uなどの緩効性肥料や肥効調節型肥料の開発、硝酸態窒素は流亡しやすいがアンモニア態窒素は土壤に吸着されることを利用した硝酸化成抑制材などである。

環境と調和した施肥のためには、一度に多量の施肥をするのではなく、作物の養分吸収特性に合わせて分施し、施肥効率を高める必要がある。しかし、実際はこまめに分施することは困難な場合が多いため、緩効性肥料が用いられる。

なかでも尿素や高度化成肥料を樹脂コーティングした肥効調節型肥料は、肥効が長続きするだけでなく、その間の溶出速度を調節できる。そのため、作物が必要な時期に必要な量の養分が供給でき施肥効率が高く、肥料投入量を減らすことができるため環境にやさしい施肥技術に役立つ。肥効調節型肥料を施用する場合は、作物の種類や栽培時期によって、養分吸収特性に合致した溶出タイプの選択と速効性肥料との配合割合がポイントとなる。

(ア) 肥効調節型肥料の構造

肥効調節型肥料は、造粒された尿素や高度化成の粒を透湿性樹脂あるいは硫黄で幾重にも包み込んだものである。肥料を包む被膜は厚さが0.1~0.5mm以下で、水分や肥料溶液の透過量を調節する機能があり、肥料の溶出コントロール性能は被覆によって発揮されるが、いろいろな種類がある。LP、ロング、エムコートのように溶出調整材を適量混合した樹脂被膜、セラコート、シグマコート、コープコートのように溶出期間に応じて膜の厚さを変えた多層の樹脂被膜、UCコートのように性質の異なる2層からなる樹脂被膜、SCコートのような硫黄被膜がある。

(イ) 肥料溶出の機構

肥効調節型肥料の溶出機構は溶出準備期間(ラグ期)と溶出期間に分けて説明できる。溶出準備期間には、内部肥料の吸湿性によって外部の土壤水分が水蒸気として侵入し、侵入した水分が次第に肥料を溶かしながら、被膜内に溜まるため膨圧が生じ、この膨圧によって被覆膜が膨張し膜の多数の箇所には微細な孔隙が作られる。溶出期間になると肥料溶液が被覆膜を通じて徐々に溶出を開始し、同時に内部の溶液濃度が濃いために浸透圧の差が生じて水蒸気や水分が侵入し続けて、膨圧が維持されて肥料溶液が継続して溶出する。畑土壤条件においても肥料成分の溶出はおこり、水田より土壤水分のはるかに低い畑条件であっても、畑土壤には水蒸気(湿気)があるために肥効調節型肥料の溶出はおこなわれる。肥効調節型肥料は地温によって溶出が変わる性質があり、一般的には低温では高温の場合よりも肥料成分の溶出速度が遅くなる。これは温度が下がると水蒸気圧が低くなるため、肥料内への水蒸気の侵入が遅くなり、肥料の溶出速度も遅くなることによる。

(ウ) 溶出パターンと溶出タイプ

表Ⅱ-2-(6)-1に県内で使用される主な肥効調節型肥料を示す。肥料成分が溶出するパターンは施用直後から徐々に溶け出す「放物線型」や、一定の溶出準備期間（ラグ期）があって、その期間が経過した後に急速に溶出し始める「シグモイド型」のものがある。放物線型はリニア型ともいわれ、最も一般的な溶出パターンである。一方、シグモイド型はS型、SS型など溶出準備期間の長短や、溶出開始後の溶出速度の大小によって溶出型が分かれる。

肥効持続日数を示すのが溶出タイプである。この肥効持続日数の測定方法は、便宜的に定められた次のような水中溶出試験法によって測定される。被覆肥料を25℃の水中に投入し、肥料成分の80%が溶出し終わるまでのおおよその日数を被覆肥料の溶出タイプとしている。現在、市販されている被覆肥料の溶出タイプには30～360日タイプのものがある。

表Ⅱ-2-(6)-1 県内で使用される主な肥効調節型肥料

表Ⅴ-2-9 主な被覆肥料

銘柄名	溶出パターン	溶出タイプ（溶出期間：日）	成分（養分含量）	肥料原料
LPコート	放物線	30 40 50 70 100 140 180	N:40	尿 素
LPコート S	シグモイド	100	N:40	〃
LPコートSS	〃	100 140	N:40	〃
LPコート S	〃	100（育苗箱全量施肥専用）	N:40	〃
ロング424	放物線	40 70 100 140 180 270 360	14-12-14	燐硝安加里
ロング331	〃	100 140 180 270 360	13- 3-11	
ロング250	〃	40 70 100 140 180	20- 5-10	
ロング426	〃	70 100 140 180	24- 2- 6	
スーパーNKロング203	シグモイド	100 140 180	20- 0-13	N K化成
NKロング203	放物線	70 100 140 180	20- 0-13	〃
ロングトータル	〃	40 70 100 140 180 360	13-11-13	燐硝安加里
スーパーロング424	シグモイド	100 140 180	14-12-14	〃
マイクロロングトータル	放物線	40 70 100	12-10-11	〃
ロングショウカル	〃	40 70 100 140	12- 0- 0	硝酸石灰
セラコートU	シグモイド	S(40) M(70) L(120) LL(140)	N:40, 38, 36	尿 素
セラコートCK	放物線	S(40) M(70) L(120)	15-0-15, 17-0-8	N K化成
エムコートL	直線	60 140	N:41	尿 素
エムコートS100	シグモイド	100	N:41	〃
エムコートS140	〃	140	N:41	〃

注) 1. 資料：現場の土づくり・施肥'96年改訂版

2. 溶出期間は25℃水中（LP，セラコート，Mコート）または土中（ロング）で、窒素の80%が溶出する期間

3. LPコートS，LPコートSSのラグ期はそれぞれSが30日，SSが45日

4. スーパーロング424のラグ期は100タイプが35日，140日タイプが40日，180日タイプが45日

5. エムコートS100，エムコートS140のラグ期はS100が50日，S140が60日

6. シグモイドタイプのラグ期とは窒素溶出が10%に到達するまでの期間を示す

7. ロングトータル，マイクロロングトータルは微量要素として，Mn, B, Fe, Cu, Zn, Moを含む

(エ) 肥効調節型肥料を活用した施肥例

a 水稻

全量基肥用の肥料として、表Ⅱ-2-(6)-2に水稻栽培に適した6タイプを示す。この肥料を使用する場合、全量を基肥で施用し追肥は施用しない。肥効調節型肥料を活用した施肥では、緩やかに窒素が溶出するため、窒素の利用効率が向上することから、従来の施肥窒素（基肥-追肥）量より1～2割の減肥が可能である。

表Ⅱ-2-(6)-2 水稻栽培用に適した肥効調節型肥料を活用した施肥例

タイプ名	概要
リニアタイプ (早期用)	LP40日溶出タイプとLP70日溶出タイプを全窒素の80%含有する肥料を全量基肥施用, 化学肥料窒素施用量の1～2割の減肥が可能 砂質で肥料切れしやすい水田で効果的である。 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=4～5.4, 5～6, 6～7kg/10a施用
シグモイドタイプ (早期用)	LP40日溶出タイプとLPS60日溶出タイプを全窒素の60%含有する肥料を全量基肥施用 化学肥料窒素施用量の1～2割の減肥が可能 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=4～5.4, 5～6, 6～7kg/10a施用
リニアタイプ (普通期用)	LP100日溶出タイプを全窒素の80%含有する肥料を全量基肥施用 化学肥料窒素施用量の1～2割の減肥が可能 砂質で肥料切れしやすい水田に適する。 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=4.8～5.6, 6～7, 7～9kg/10a施用
シグモイドタイプ (普通期用)	LPSS100日溶出タイプを全窒素の40%含有する肥料を全量基肥施用 化学肥料窒素施用量の1～2割の減肥が可能 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=4.8～5.6, 6～7, 7～9kg/10a施用
シグモイドタイプ (普通期用)	LP30日溶出タイプとLPS100日溶出タイプを全窒素の40%含有する肥料を全量基肥施用 化学肥料窒素施用量の1～2割の減肥が可能 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=4.8～5.6, 6～7, 7～9kg/10a施用
シグモイドタイプ (普通期晩生用)	LP100日溶出タイプとLPS100日溶出タイプを全窒素の50%含有する肥料を全量基肥施用 化学肥料窒素施用量の1～2割の減肥が可能 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=4.8～5.6, 6～7, 7～9kg/10a施用

b 野菜

全量基肥用の肥料として、表Ⅱ-2-(6)-3に露地野菜栽培に適した肥効調節型肥料を活用した施肥例を示す。この肥料を使用する場合、全量を基肥で施用し追肥は施用しない。肥効調節型肥料は、40日溶出タイプと尿素等の速効性肥料を窒素成分で半量ずつ局所施肥する。この施肥法は、窒素の利用効率が向上することから、従来の施肥窒素（基肥－追肥）量より2割程度の減肥が可能である。

表Ⅱ-2-(6)-3 肥効調節型肥料を活用した施肥例

作物名	概 要
ダイコン	40日溶出タイプと尿素等の速効性肥料を窒素成分で1：1に混合 施肥位置は、条間にすじ状に、深さは20cm程度まで局所施用 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=12, 12, 12kg/10a, 牛ふん堆肥を1 t /10a施用
サトイモ	40日溶出タイプと尿素等の速効性肥料を窒素成分で1：1に混合 施肥位置は、条間に条施肥 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=10, 10, 10kg/10a, 牛ふん堆肥を2 t /10a施用
キャベツ	40日溶出タイプと尿素等の速効性肥料を窒素成分で1：1に混合 施肥位置は、条施肥 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=16, 15, 16kg/10a, 牛ふん堆肥を1 t /10a施用
ニンジン	40日溶出タイプと尿素等の速効性肥料を窒素成分で1：1に混合 施肥位置は、条間にすじ状に、深さは15cm程度まで局所施用 総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=16, 12, 16kg/10a, 牛ふん堆肥を2 t /10a施用

(オ) 緩効性肥料および硝酸化成抑制材例

表Ⅱ-2-(6)-4 緩効性肥料(化学合成緩効性窒素肥料, 被覆肥料), 硝酸化成抑制肥料一覧

a 被覆肥料

肥料名	摘 要
被覆窒素肥料	窒素質肥料を硫黄その他の被覆原料で被覆したもの
被覆りん酸肥料	りん酸質肥料を硫黄その他の被覆原料で被覆したもの
被覆加里肥料	加里質肥料を硫黄その他の被覆原料で被覆したもの
被覆複合肥料	化成肥料又は液状複合肥料を硫黄その他の被覆原料で被覆したもの
被覆苦土肥料	苦土質肥料を硫黄その他の被覆原料で被覆したもの

b 化学合成緩効性窒素肥料

肥料名	含有主成分	製造法
イソブチルアルデヒド縮合尿素 (IBDU)	窒素全量 28～30%	尿素とイソブチルアルデヒドを縮合反応させてつくる
アセトアルデヒド縮合尿素 (CDU又はOMU)	窒素全量 28～31%	尿素とアセトアルデヒドを縮合反応させてつくる
グリオキサール縮合尿素	窒素全量 38.0%	尿素とグリオキサール (ジアルデヒド) を縮合反応させてつくる
ホルムアルデヒド加工尿素肥料	窒素全量 35～40%	尿素にホルマリンを反応させ、尿素縮合物をつくる
メチロール尿素重合肥料	窒素全量 25.0%	尿素にホルムアルデヒドを加えて生成したメチロール尿素縮合物を重合させてつくる
硫酸グアニル尿素	窒素全量 32%	ジシアンジアミドを硫酸の存在化に加水反応させてつくる
オキサミド	窒素全量 30～32%	しゅう酸とアンモニアを縮合反応させてつくる

c 硝酸化成抑制材

材料名	複合肥料中に混入する割合
AM(2アミノ-4クロル-6メチルピリジン)	複合肥料中に約0.4%
MBT(2-メルカプトベンゾチアゾール)	複合肥料中の窒素の量に対してMBTの窒素
Dd(ジシアンジアミド)	複合肥料中の窒素の量に対してジシアンジアミド性窒素10%
ST(2-スルファニルアミドチアゾール)	複合肥料中に約0.3～0.5% 尿素中に約1%
ASU(1アミノ-2チオウレア)	複合肥料中に約0.5%
ATC(4アミノ-1,2,4トリアゾール塩酸塩)	複合肥料中に0.1～0.5%
DCS(N-2,5-ジクロルフェニルチナミド酸)	尿素中に1%, 硝酸アンモニア中に0.5%, 複合肥料中に約0.3%

イ 局所施肥

全面施肥は、全面全層施肥のことで、肥料をほ場全面に散布して耕起し、作物を栽培する施肥法である。利用されない肥料が多くなるので、肥料の利用率が低い。これに対して部分的に施用する方法を局所施肥という。局所施肥は、作物の根が伸長して比較的多く分布していると思われる部分へあらかじめ施肥しておく方法で、条施肥や溝施肥のようにすじ条に散布したり、定植位置の真下に部分的に置く方法などがある。このため、全面(全層)施肥に対して肥料の利用効率がよい。表Ⅱ-2-(6)-5に代表的な局所施肥の例を示す。

表Ⅱ-2-(6)-5 局所施肥の種類と概要

施肥法名	概 要
条施肥	作物に近い部分へ肥料をすじ条に散布し，肥料の利用効率を高める施肥法
2段施肥	施肥位置を表層と下層の2段に分けて行う方法。表層の肥料は初期生育に利用し，後期に根が深く侵入すれば下層に施用した肥料を利用する。深根性作物や多肥作物で比較的効果が高いが施肥労力を要す。
注入施肥	液肥などを専用のかん注器を用いて必要な土壌の位置に直接施用する方法。追肥で早急に肥料を吸収させたいときに有効である。
置き肥	野菜や花の鉢物栽培などで肥料を株元へ置く施肥法。通常固形肥料や有機質肥料を団子状に固めたものが用いられる。
溝施肥	作物をは種または定植する前に溝を掘っておき，その部分に肥料を投入して土をかぶせる方法。
根域制御栽培	根域を制限する方法で，作物によっては肥料成分や水分の吸収を抑制し，樹高を調節したり，果実の糖度などの品質を高めることができる。
うね内部分施肥	露地野菜作において、野菜苗を移植するうね成形時に基肥をうね中央部のみ帯状に土壌と混和して施用する方法。



ウ かん水施肥

施設栽培におけるかん水施肥栽培は，肥料の利用効率を高めるために，養液を直接，土壌に施肥する方法で，速効性であること，かん水が同時に行えることが大きな特徴で，従来の水耕栽培に土壌の有する利点を組み合わせた栽培システムである。本来，施設栽培における養水管理は，作付け前に基肥を施用し，定植後の活着を促すため十分なかん水を行い，その後は作物の生育に合わせて定期的にかん水，追肥を行うのが一般的な方法である。しかし，この方法は経験的な判断に基づくことが多いため，作物にとって栄養の好適条件を維持することが難しく，不適切な養水管理によって，収量や品質低下を招く場合も多い。養液栽培のメリットを土耕栽培に取り入れたかん水施肥栽培は，作物の生育に必要な養水分を全自動で作物の根圏により近く供給する養水管理技術で，従来の管理方法に比べ，かん水や施肥等の養水管理の省力化が図られる。また，かん水施肥栽培は，液肥混入機に電磁弁とタイマーを組み合わせることで自動的に液肥をかん水と同時に供給するもので，生育に必要な養分を必要な時期に，必要な量だけ与えることが容易にできるため，草勢維持管理を行いやすい栽培法である。そのため，施設栽培の果菜類には適する栽培法である。

かん水施肥栽培のシステムの概要

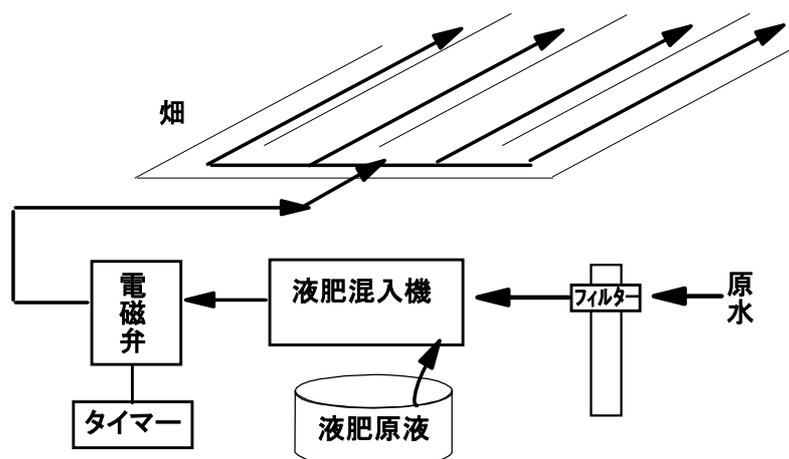


図 II-2-(6)-1 かん水施肥栽培システムの模式図

表 II-2-(6)-6 各作物におけるかん水施肥の試験例

作物名	概	要
促成ピーマン	総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ Oを各42kg/10a, 牛ふん堆肥を2 t /10a施用 総養分量を液肥施用日数で割り, 1日当たり養分施用量を計算する。 (栽培日数210日の場合の1日当たり窒素施用量は 200gN/10a)	
促成ナス	総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ Oを各42kg/10a, 牛ふん堆肥を2 t /10a施用 総養分量を液肥施用日数で割り, 1日当たり養分施用量を計算する。 (栽培日数210日の場合の1日当たり窒素施用量は 200gN/10a)	
促成イチゴ	液肥の1000倍希釈液を1日1mmのかん水量で施用	
輪ギク	総養分量としてN, P ₂ O ₅ , K ₂ O=15, 7, 20kg/10a, 牛ふん堆肥を2 t /10a施用 10月上旬定植における生育時期別液肥窒素施用量 (kg/10a) 定植～消灯 5 kg, 消灯～発雷 5 kg, 発雷～膜切れ 5 kg 上記養分量を液肥施用日数で割り, 1日当たり養分施用量を計算	