

3 施肥技術

(1) 有機質肥料の施用技術

稲わら、家畜ふん堆肥、米ぬか、大豆かすや市販の混合有機質肥料等、多くの有機質資材が、土壌の物理性、化学性、生物性の改善や作物への養分供給等の目的で使用されており、有機質肥料は作物生産の上で欠かせないものとなっている。

一方で、それらの有機質肥料の施用方法を誤ると、作物への障害を起こす恐れがあるため、有機質肥料の特徴を把握して、対象の土壌や作物にあった施用を行う必要がある。

ア 有機質肥料施用により期待できる効果

(ア) 土壌物理性改善効果

有機物の施用は、微生物の代謝物や腐植により土壌の団粒形成を促進し、土壌の保水性、透水性、通気性改善等の物理性改善効果が期待できる。

(イ) 土壌の保肥力や緩衝能の増大効果

腐植物質の増加により土壌中の塩基などの保肥力を高めるとともに、土壌中の有機物含量の増加により緩衝能が増大し、pHやEC等の急激な変化が抑えられ、酸性化や多肥による濃度障害が起こりにくくなる効果が期待できる。

(ウ) 土壌病害軽減効果

有機物の施用は、土壌微生物の多様化による特定の病原菌のまん延抑制や、土壌物理性改善等による作物生育の促進などから、作物の土壌病害を軽減する効果が期待できる。

(エ) 養分供給効果

有機質肥料には窒素、リン酸、カリのほか各種の微量元素も含まれるため、養分供給効果があり、化学肥料の代替効果も期待できる。

イ 有機質肥料施用における主な注意点

(ア) 未熟な有機物施用による障害

C/N比（炭素率）の高い有機物では、施用後、有機物の分解の過程で微生物が急激に増加し、土壌中の窒素を取り込むことから、作物は窒素飢餓を起こし、障害を受ける恐れがある。このため、石灰窒素や家畜ふんなどの窒素源を加え堆肥化し、C/N比を下げた後は場へ施用することや、施用後一定期間あけてから作付する等、作物への障害を回避させるようにする。また、C/N比の低い有機物でも、堆肥化を行っていないものでは、施用後、土壌中で有機態窒素の無機化が急激に起こり土壌中のアンモニアガスや亜硝酸ガスなどの発生によって作物に障害を起こす可能性がある。このような場合には有機物施用後一定期間あけてから作付するようにする。

(イ) 肥料成分の把握と過剰施用

有機質肥料は、その種類により含まれる肥料成分が大きく異なるので、有機質肥料中の成分を把握して施用する。特に家畜ふん堆肥等、肥料成分を多く含みかつ多量に施用する資材では、窒素分のみを考慮した施用では、リン酸、カリ等の過剰施用となる場合があり、土壌中への過剰養分の蓄積や、カリ過剰による土壌の塩基バランスのくずれから作物の生育障害が生じる可能性があるため、有機質肥料中の窒

素のほか、リン酸やカリも考慮した施用が重要である。

ウ 主な有機質肥料の特徴

(ア) わら堆肥：肥料成分は少なく、主に土壌の物理性改善の効果が大きい。わらは C/N 比が高く、分解が遅いため、石灰窒素や家畜のふん尿等の窒素分を加えて堆肥化することが多い。

(イ) 畜ふん（牛ふん、豚ふん、鶏ふんなど）堆肥：牛ふん堆肥に比べ、鶏ふん堆肥や豚ふん堆肥の肥効は速い。いずれの畜種の堆肥も pH は 8～9 程度のものが多い。わら堆肥に比べ肥料成分を多く含む。施用にあたっては、堆肥の肥料成分を考慮して施肥設計を行う。未熟なものは作物への障害のほか、ふん等に含まれる雑草種子や病原菌を拡散する可能性があるため十分腐熟したものを使用する。

(ウ) 食品残さ堆肥：食品の調理くず、食べ残し、売れ残りを発酵したもの。これらは C/N 比が低く、水分が多く、このままでは発酵しにくいいため、籾殻、木材チップ等の水分調整材や、菌体等の発酵促進材などを使用し発酵、堆肥化させる。一般的に食べ残しの原料は油分や塩分が調理くずに比べ多い。肥料成分は原料や副資材の添加量等により変動するが、窒素に比べてリン酸やカリが低いものが多い。

(エ) 動物質の有機質肥料（魚かす、骨粉など）：有機質肥料としては窒素肥効が比較的速く、中でも魚かす類の窒素肥効が速い。カリ成分は低いものが多い。骨粉はリン酸を多く含む。

(オ) 植物質の有機質肥料（なたね油かす、米ぬか油かすなど）：動物質の有機質肥料に比べ窒素肥効が遅いものが多い。植物油かすの中では大豆油かすの窒素肥効が速い。

エ 有機質肥料の施用に関する利用マニュアルの活用

県農林総合研究センターでは、有機質肥料の施用に関する利用マニュアルを作成しているので活用されたい。

早期栽培コシヒカリの施肥については、全量有機質肥料（乾燥鶏ふん・大豆粕）栽培では、基肥を乾燥鶏ふんでは化成肥料と窒素成分で同量、大豆粕では 1 kg/10 a の増肥とし、穂肥は乾燥鶏ふんを用いて出穂 30 日前に化成肥料より窒素成分で 1 kg/10 a の増肥した施用で化成肥料と同等の収量が得られる。

二毛作地帯の飼料イネ栽培における牛ふん堆肥施用は、あと作の小麦の収量・品質を向上できるとともに、牛ふん堆肥を連年施用することにより飼料イネの乾物収量が向上する。

こまつな、ほうれんそう栽培における化学肥料の代替を考慮した畜ふん堆肥の施用法として、窒素肥効率を牛ふん堆肥では 10%、豚ふん堆肥では 30～40%、鶏ふん堆肥では 60～70% とし、施肥基準量のカリ成分値までを堆肥で施用し、不足した窒素やリン酸分を化学肥料で追加して施用することで化学肥料と同等の収量が得られるとともに跡地土壌のカリの蓄積が抑えられること等の技術が得られている。

また、食品残さから製造した堆肥を原料として肥料を製造する技術を確立するとともに、その肥料の水稻、露地葉根菜類、花きにおける施用技術を確立し、利用マ

ニュアルを作成している。

有機質肥料は、種類により成分の量やバランス、肥効、土壌改良効果等が異なるので、施用にあたっては、土壌診断等では場の状況を把握するとともに、その土壌や作物の必要に応じた資材の使い分けや適正な施用量を守ることが重要である。

(2) 緩効性肥料の利用による効率的施肥技術

ア 緩効性肥料とは

作物における施肥窒素の利用率は、土壌や作物そして栽培環境などで異なるが 40～60%程度であり、残りの 30～50%は土壌から流亡し、数%は大気へ揮散するといわれる。このように、窒素肥料の利用率が比較的低い要因としては、速効性肥料を使用した基肥重点型の施肥体系であるため、作物が十分に生育する前に施肥窒素が下層に移動し、養分吸収の最盛期に必要な肥料成分が不足する場合がある。

この点を改善する方法として、分施肥技術や緩効性肥料の有効利用が上げられるが、分施肥技術は施肥作業や圃場条件に制約があることから、緩効性肥料の活用が注目されている。

緩効性肥料の施用効果としては、肥料成分の利用率の向上や硝酸態窒素の流亡抑制など、環境負荷低減技術の一手法として利用できるため、その需要も着実に伸びている。

イ 主な緩効性窒素肥料

(ア) I B 窒素 (イソブチルアルデヒド縮合尿素)

この肥料資材は、尿素とイソブチルアルデヒドを硫酸酸性で縮合反応させたもので、我が国で開発された。主に弱い酸などによる加水分解で尿素になるため、微生物による分解はほとんどない。一般に大粒ほど肥効が遅く、細かく粉砕すると尿素とあまり変わらない肥効となる。加水分解後は尿素になり、その後は尿素的分解過程を経て作物に利用される。

(イ) C D U 尿素 (アセトアルデヒド縮合尿素)

C D U はアセトアルデヒドと尿素を縮合させて製造されるもので、分解は2つの経路をたどる。土壌 pH が低い場合、加水分解により側鎖の尿素が分離して無機化される。pH の高い場合は、環状化合物を形成している尿素が微生物によって分解される。なお、C D U にはフザリウムによる「きゅうりのつる割病」や「はくさいの根こぶ病」の抑制効果も報告されている。

(ウ) ウレアホルム窒素 (ホルムアルデヒド加工窒素)

ウレアホルムはホルムアルデヒドに1分子以上の尿素が縮合した総称である。ウレアホルムは尿素とホルムアルデヒドの縮合が進み、分子量が大きくなるほど溶解度と吸収性は低下する。単肥としての使用は少なく、尿素入り化成肥料の原料として吸収性や縮合度の調整などに使用される。

(エ) 被覆窒素肥料 (コーティング肥料)

窒素肥料を主成分とする被覆肥料では、現在市販されているものは尿素を含むものであり、ポリオレフィン系樹脂、アルキド系樹脂そして硫黄系などがある。

溶出率の正確なコントロールはポリオレフィン系樹脂の使用で可能になった。

なお、被覆肥料には窒素成分のみを被覆したものと、窒素・リン酸・カリの三要素を含む被覆複合肥料がある。

緩効性窒素肥料には、上記の他にグアニル尿素やオキサミドなどがあり、いずれも窒素成分の流亡や過剰吸収の抑制などに効果があることから、環境負荷低減型の肥料として注目されている。

ウ 本県における緩効性肥料の活用事例

露地野菜地帯では産地形成に伴い多くの肥料資材を連用した結果、特定養分の集積や塩基バランスの崩れが報告されており、要素間のアンバランスや植物体の代謝異常に起因する生理障害も認められている。このような現状を回避する方法として、土壌診断を実施した上で緩効性肥料などを活用し、不必要な肥料成分の過剰投入を控える施肥管理が一部の地域で実施されている。

ここでは、本県の主要作物であるねぎとブロッコリーを対象に、生産現場で実証された緩効性肥料の使用事例を紹介する。

(ア) 秋冬ねぎ栽培における緩効性肥料を利用した全量基肥法

台地上の露地野菜地帯では、地表水や地下水の硝酸態窒素が依然として高い傾向が続いている。そこで、本県の主要作物である秋冬ねぎを対象に、硝酸態窒素の流亡を軽減するための全量基肥及び省力施肥法を組み合わせた施肥法を検討した。

本試験では、深谷市内にあるねぎの栽培ほ場を対象に秋冬ねぎの養分吸収に適した緩効性肥料を約10ha規模で導入し、浅層地下水の硝酸態窒素濃度を継続して調査した。さらに、現地移植苗の変遷に合わせて緩効性肥料の配合を再調整しながら、秋冬ねぎの生育と品質に及ぼす効果を検証した。

ア) 技術内容

○現地ほ場に導入した肥料資材

資材A(被覆尿素140タイプ50%+CDU30%配合:市販品)は秋冬ねぎ大苗用の全量基肥として、セル苗用には資材B1(化成窒素74%+被覆尿素26%:市販品)の分施(2回施肥)専用、そして資材B2(化成窒素15%+140タイプ被覆尿素85%:試作品)は全量基肥用として使用した。

いずれも、施肥窒素量は慣行に比べて10~20%減肥できる(表10)。

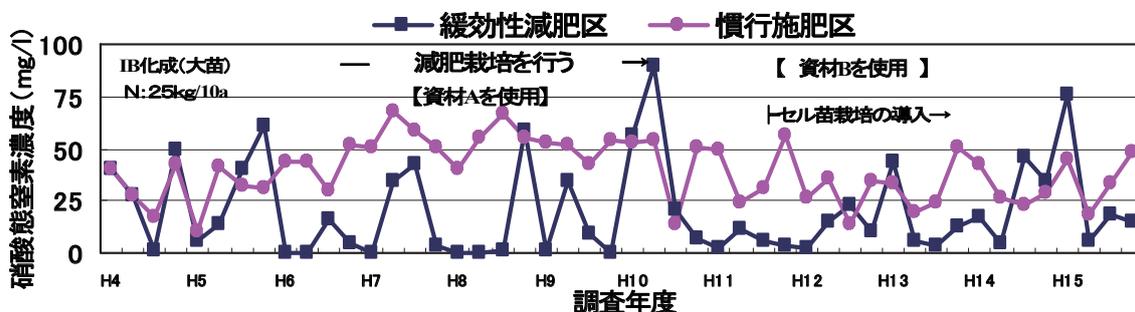
表10 現地に導入したねぎ減肥栽培の施肥設計

資材	施肥量 (Nkg/10a)				合計	肥料の種類と施肥法		
	5/下	6/下	9/下	10/中下		施肥法	成分と導入期間	適用苗
慣行施肥(対照)	7.0	10.0	7.0	24.0	(100)	3回分施・溝施肥	16:16:16	H4年~セル苗
資材A	21.6	-	-	21.6	(90)	全量肥料	18:13:11	H6~13年大苗
資材B1		9.6	9.6	19.2	(80)	2回施肥・溝施肥	10:13:10	H14年~セル苗
資材B2	21.6	-	-	21.6	(90)	全量肥料	14:11:14	H14試作セル苗

注) カッコは慣行施肥に対する減肥割合を示す。

○浅層地下水における硝酸態窒素濃度の経年変化

試験当初の観測井戸の硝酸態窒素濃度は、I B化成区と対照区で明らかな差がなかった。しかし、減肥栽培を始めると、対照区の硝酸態窒素濃度は概ね20~70mg/Lの間で推移するが、緩効性減肥区では、明らかに低下する傾向が認められた(図21)。



注) 緩効性肥料導入区の硝酸態窒素は現地実証圃のほぼ中央にある観測井戸(3m)で測定した。

図21 浅層地下水の硝酸態窒素濃度の経年変化

○秋冬ねぎの生育・収量について

ねぎ大苗用の資材A、セル苗用の資材B1(分施)及び資材B2(全量基肥)区では、生育・収量が慣行施肥区より約10%増加した(表11)。

表11 秋冬ねぎの生育・収量に及ぼす緩効性肥料の施用効果

供試苗	試験区	草丈	軟白長	葉鞘径	全重	収量
		(cm)	(cm)	(mm)	(g/本)	(t/10a)
セル苗	慣行施肥(対照)	95.6	33.3	2.35	221.8	6.10 (100)
	資材B1	95.8	35.8	2.40	244.0	6.71 (110)
	資材B2	104.4	36.1	2.44	247.4	6.80 (112)
大苗	塩化磷安	85.3	25.6	2.40	235.4	5.11 (100)
	資材A	97.3	25.6	2.50	267.6	5.70 (112)

注) 資材B2(化成:被覆窒素 140日がN成分比で1:5)は窒素の初期溶出を抑えた全量基肥

○まとめ

本試験では、緩効性肥料を利用しながら10ha規模で地域における施肥窒素由来の環境負荷を軽減させた技術である。秋冬ねぎの養分吸収に合わせた緩効性肥料を使用することで、20%の減肥栽培を行っても収量に差はなく、地下水の硝酸態窒素濃度(現地ほ場に設置した深さ3mの観測井戸)が減少することを実証した。

(イ)リン酸・カリ蓄積ほ場におけるセル内施肥育苗技術

集約的な露地野菜地帯では、産地形成に伴う化学肥料の連用によって、特定養分の集積や塩基バランスの崩れが認められる。埼玉県全域を対象とする土壌モニタリング調査でも、黒ボク土においてリン酸やカリが蓄積する傾向を確認しており、生産現場に蓄積した肥料成分を有効に利用できる施肥技術の開発が求められている。

そこで、本試験ではL字型肥料(窒素成分を主体としリン酸・カリが低いコーティング肥料)を活用し、生産現場に蓄積する過剰なリン酸・カリ成分を軽減しながら、追肥作業を省略できるブロッコリーセル内施肥育苗法を実証した。

ア) 技術内容

○セル苗の育苗法

秋冬ブロッコリーは 144 穴セルトレー(セル規格：直径 35mm, 深さ 50mm, セル容量 25ml) を用いて 20 日間育苗した。セル内に被覆燐硝安肥料(N : P₂O₅ : K₂O=24 : 1 : 1, 100 日シグモイドタイプ)6.6g を市販培土(N : P₂O₅ : K₂O=0.2g : 0.7g : 0.2g/L)と混合して使用した。これは、10a 当たりの N : P₂O₅ : K₂O が 9kg, 0.4kg, 0.4kg に相当し、慣行の 50% 減肥栽培となる(図 22)。



図22 ブロッコリーセル苗全量基肥法 (品種：ピクセル) 左:培養土で育苗, 右:全量基肥 50%区

○ブロッコリーのセル苗全量基肥法 (育苗期間)

基肥として窒素成分を主体とする被覆燐硝安を用いた場合、慣行の施肥窒素の 50%相当分をセル内に施用しても、濃度障害は認められず、苗の生育は慣行と同等である。

ブロッコリー苗の根の活性及び根鉢形成は、全量基肥 50% 区が最も優れており、このセル苗は機械定植が可能であった(表 12)。

表12 セル内施肥育苗が定植時のブロッコリー苗に及ぼす影響 (育苗試験)

試験区	窒素減肥率	地上部			地下部			セル苗の根鉢形成
		草丈 (cm)	葉長 (cm)	茎の太さ (mm)	根数 (本/個体)	最長根長 (cm)	根の活性 (μg/g D.W./h)	
慣行区	0%	6.8 (100) a	2.0 (100) a	1.28 (100) a	51.0 (100) a	16.6 (100) a	503 (100) c	良好
全量基肥50%区	50%	7.3 (127) ab	2.3 (115) ab	1.37 (127) a	64.7 (127) ab	21.7 (131) a	801 (159) a	良好
全量基肥60%区	40%	8.7 (163) b	2.6 (130) b	1.42 (163) a	83.0 (163) b	21.9 (132) a	597 (119) b	不良

注) 窒素減肥率は生育期間に必要な窒素量に対する割合を示し、根の活性はαナフチルアミン法で測定した。根鉢形成はセル苗を抜く際、培養土が崩れない状態を良好、崩れる状態を不良とした。異なる英小文字は有意差(P<0.05)あり (Tukey法)。

○肥料の窒素溶出率及びブロッコリーの窒素吸収量

供試した肥料は定植後90日までに約8割の窒素が溶出する。ブロッコリーの草丈及び窒素吸収量は、中生品種から中晩生品種までいずれも慣行肥料と概ね同等である(図 23)。

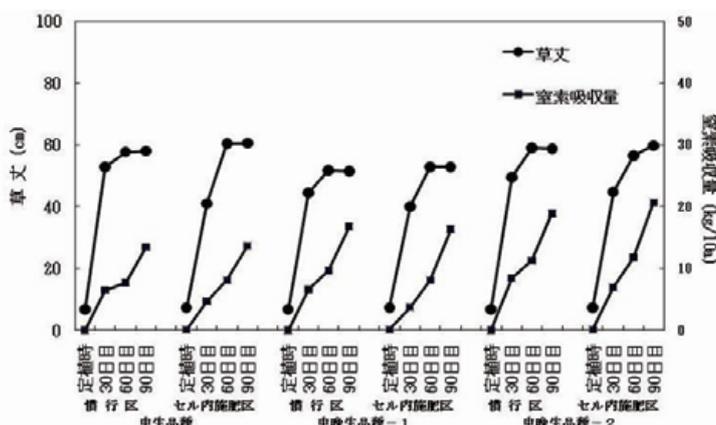


図23 セル苗全量基肥法がブロッコリーの生育と窒素吸収量に及ぼす影響 注) 本試験は、リン酸・カリ含量が地力増進法に基づく適正範囲内の圃場で実施した。

○セル苗全量基肥法がブロッコリーの収量・品質に及ぼす影響

リン酸・カリの蓄積圃場では、ブロッコリーのセル内全量基肥法により、慣行区と同等の生育、収量及び品質が得られる(表 13)。

表13 セル苗全量基肥法がブロッコリーの収量・品質に及ぼす影響

試験区	草丈 (cm)	花蕾径 (cm)	花蕾重 (g)	βカロテン (μg/100g)	ビタミンC (mg/100g)	糖度 (Brix)
慣行区	80.8 (100) a	14.5 (100) a	478 (100) a	608 (100) a	130 (100) a	7.6 (100) a
全量基肥50%区	82.0 (102) a	13.7 (95) a	474 (99) a	615 (101) a	127 (98) a	7.9 (104) a

注) 家畜ふん堆肥の多投入によるリン酸、カリ蓄積圃場(作付け前のリン酸は95mg/100g、カリは73mg/100g)で現地試験を行った。上記の数値は平均値、同一のアルファベット間に有意差(P<0.05)のないことを示す。

○まとめ

本試験は、窒素成分を主体とするコーティング肥料を基肥としてセル内に施肥したもので、リン酸・カリ蓄積圃場(リン酸含有量:95mg/100g、カリ含有量:73mg/100g)における過剰施肥の抑制や追肥作業の省略を実証したものである。このため、本栽培法はリン酸・カリ蓄積圃場での適用が前提であり、導入の際は必ず土壤診断結果を踏まえ、リン酸・カリの別途施用を考慮する必要がある。

ウ 緩効性肥料の有効利用について

本章では作物と栽培環境に配慮した施肥技術の一つとして、緩効性肥料の活用事例を紹介した。

今後、肥料価格の高騰やリン資源の枯渇が懸念されることから、ほ場に蓄積する肥料成分を有効に利用しながら、土壤の養分バランスを改善できる施肥技術が重要になる。

その中で、緩効性肥料を活用した施肥技術をほ場へ定期的に導入することで、過剰蓄積した肥料成分が減少する結果、家畜ふん堆肥などの長期的な農地還元に役立つことも示唆された。

(3) 局所施肥等による効率的施肥法

局所施肥とは、あらかじめ作物の根が分布する位置に肥料を施用し、根の生育に合わせて効率よく肥料成分を吸収させる施肥法である。

全面全層施肥と比べて、①施用された肥料が作物に有効に吸収され、肥料の利用効率、すなわち施肥効率が高まるため、肥料の流出や揮散が少ない環境保全型の施肥技術である。②肥料が効率的に吸収されるため、減肥しても生育・収量・品質が確保できる。③減肥することにより、資源を節約できると同時に、施肥コストを削減できる。④作物の生育ステージに合った最適位置に施肥することにより、生育の制御が容易になるなどの長所がある。しかし、施肥位置が狭い範囲に限定されるため、その付近の根が塩類濃度障害を受けやすいという危険性がある。

局所施肥法には、畝内施肥、条施肥、(植)溝施肥、側条施肥(水稻)、植穴施肥、ポット内施肥、セル内施肥、そして育苗箱施肥(水稻)等がある。後者になるほど施肥範囲が狭く、施肥効率は高まるが、塩類濃度障害の危険性も高まる。

局所施肥を成立させるためには、①作物が肥料成分を最も効率的に吸収できる根域に施肥する。②施肥量は、全面全層施肥に比べて少ない量(一般的に20~30%の減肥が可能)にする。③作物に適切な肥効を持続的に供給でき、かつ根に塩類濃度障害を与えない種類の肥料を選定する必要がある。

最近では、局所施肥法に肥効調節型肥料を組み合わせた施肥技術の研究・開発が

進んでいる（表14）。これは塩類濃度障害の回避を図ろうとするものであり、同時に、肥料溶出のロスが減るため、環境負荷軽減効果が更に高くなる。また、全量基肥栽培等、施肥回数の削減により省力化も図られる。

表14 関東東海北陸農業試験研究推進会議部会で採択された局所施肥に関する研究成果情報(H14～22年)

作物	作型	適用土壌	技術の概要	肥料の種類	効果	分類	年度
小ギク	7,8月咲き露地栽培	—	肥効調節型肥料を用いた条施肥	被覆(リニア)70日:100日=1:2	窒素25～50%減肥	技術・参考	H14
ネギ	秋冬ネギ	塩壌土および砂壌土	肥効調節型肥料を用いた全量基肥施肥	被覆(リニア)70日:100日=1:1	窒素の76%が被覆140日	技術・参考	H14
キャベツ	春まき初夏どり及び夏まき冬どり	—	肥効調節型肥料を用いたセル内基肥施肥	被覆(シグモイド)70日	窒素40%減肥	技術・参考	H14
水稻(コシヒカリ)	—	多湿黒ボク土	肥効調節型肥料を用いた側条・全量基肥施肥	速効性:被覆(シグモイド)100日:被覆(Sシグモイド)100日=1:1	窒素30%減肥	技術・普及	H14
セルリー	—	造成台地土細粒赤色土、細粒灰色低地土	肥効調節型肥料を用いた鉢上げ時施肥	被覆(シグモイド)100日	窒素25%減肥	技術・普及	H14
			肥効調節型肥料を用いた鉢上げ時施肥・条施肥併用	鉢上げ時に被覆(シグモイド)100日:定植時に被覆(リニア)70日=1:1	窒素50%減肥	技術・普及	
セルリー	—	—	肥効調節型肥料を用いたポット施肥	被覆N(Sシグモイド)140日:ようりん:被覆K100日=5.6:5.6:4.2	窒素57～68%減肥	技術・普及	H15
トマト	抑制栽培	造成台地土細粒赤色土、細粒灰色低地土	肥効調節型肥料を用いた鉢内全量施肥	被覆(シグモイド)140日	窒素20%減肥	技術・普及	H16
キャベツ	夏まき秋冬どり	—	肥効調節型肥料を用いた条施肥	窒素成分の50%が50日溶出型のBB肥料	窒素50%減肥	技術・普及	H17
コムギ	不耕起播種栽培	—	肥効調節型肥料を用いた播種同時同条施肥	被覆(シグモイド)30日:40日=1:1(慣行体系に増肥)	収量・品質の安定化	技術・普及	H17
コマツナ・ホウレンソウ	露地周年栽培	黒ボク土	肥効調節型肥料を用いた畦内施肥、3作1回施肥	被覆(リニア)40日:80日:120日=5.2:5.2:4.0	窒素20～30%減肥	技術・普及	H17
ネギ	夏ネギ	—	肥効調節型肥料を用いたチェーンポット内施肥	被覆(シグモイド)100日	窒素38%減肥	技術・普及	H17
			肥効調節型肥料を用いたチェーンポット内全量基肥施肥	被覆(シグモイド)140日	窒素50%減肥	技術・普及	
チンゲンサイ	—	細粒黄色土	肥効調節型肥料を用いた育苗時施肥(ペーパーポット)	被覆(リニア)40日	窒素60%減肥	技術・参考	H17
トマト	抑制栽培	造成台地土細粒赤色土、細粒灰色低地土	肥効調節型肥料を用いた鉢内層状施肥および鉢内全量施肥(混和施肥)	被覆(シグモイド)140日	窒素30～40%減肥	技術・参考	H18
ブロッコリー	夏まき冬どり	表層腐植質黒ボク土	条施肥機の開発	高度化成	窒素40%減肥	技術・普及	H18
ブロッコリー	秋冬作	—	肥効調節型肥料を用いたセル内全量基肥施肥	被覆(シグモイド)100日	窒素50%減肥	技術・参考	H19
セルリー	—	赤色土、灰色低地土	肥効調節型肥料を用いた植穴施肥、全量基肥施肥	被覆(リニア)70日	窒素20～40%減肥	技術・参考	H20
ブロッコリー等露地野菜	—	壤土	平うね内部分施用機(1うね2条)による全量基肥栽培	BB肥料	窒素30～50%減肥	技術・普及	H21
ブロッコリー	秋どり	重粘土	耗うね同時畝立て局所施肥マルチ作業機による省力減肥栽培、全量基肥	速効性:被覆(リニア)30日:被覆(シグモイド)60日=3:0.5:0.5	窒素30～50%減肥	技術・参考	H22
レタス	全面マルチ栽培	—	全面マルチ用うね内部分施用機による省力減肥栽培	高原野菜専用等	窒素30%減肥	技術・参考	H22

局所施肥の主な種類

ア 畝内施肥、マルチ内施肥

畝内施肥は従来の全面全層施肥に対して、畝内のみに施肥する方法である。マルチ内施肥はマルチを張るベッド部分にのみ施肥する方法である。両者とも通路部分の施肥を省くことができる。

イ 条施肥、(植)溝施肥

条施肥は作物を植え付ける畦に沿った位置にすじ状に施肥する方法である。(植)溝施肥は作物をは種または定植する前に溝を掘っておき、その部分に施肥する方法である。

ウ 側条施肥(水稻)

田植機に施肥機を搭載して、田植え作業と同時に苗の株元に基肥を条施用する方法である。肥料はほとんど全部が還元層の中に施用されるため、きわめて利用率の高い施肥法である。

エ 植穴施肥

苗を定植する位置に植え穴を掘り、穴の下層土に基肥を混和する方法である。

オ ポット内施肥

野菜苗の鉢上げ時に、本ぼ生育に必要な肥料全量を育苗培養土に混和する方法である。施肥の省力化が図られる上、根域周辺の狭い範囲に施肥することになるため、大幅な減肥が期待できる。ポット内に多量の肥料を混和することから、塩類濃度障害を回避するために、育苗期間中の肥料溶出をできるだけ抑えたシグモイド型被覆肥料の利用が必要となる。

カ セル内施肥

育苗培養土の中に基肥に相当する肥料を混合してセル成型育苗し、苗に肥料を抱かせたまま定植することによって、本ぼには基肥を施用しない方法である。育苗期間に当たる初期の肥料溶出を最小限に抑えたシグモイド型被覆肥料の利用が不可欠である。

キ 育苗箱全量施肥（水稻）

本田期間中の施肥窒素分をあらかじめ育苗箱内に施用し、移植苗とともに肥料が本田に持ち込まれる施肥方法である。育苗期間中の肥料の溶出を抑えたシグモイド型被覆肥料の利用が不可欠である。

県農林総合研究センターでは、こまつな・ほうれんそう周年栽培において、肥効調節型肥料（リニア型被覆尿素）と畝内施肥（図 24）を組み合わせた3作1回施肥による減肥省力化技術（2005, 山崎ら）や、にんじん夏まき栽培において、肥効調節型肥料（シグモイド型被覆尿素）を歩行型施肥同時は種機（試作）で条施肥する減肥省力栽培技術（2006, 庄司ら）、ブロッコリー夏まき栽培において、セル内全量基肥施肥（シグモイド型被覆磷硝安）（図 25）による窒素減肥およびリン酸・カリ蓄積ほ場対策技術（2007, 鎌田ら）等が開発されている。

局所施肥に対応するため、水稻では側条田植機、野菜類・畑作物用では畝内帯状攪拌施肥機（うね立て同時部分施用機）等が開発され、局所施肥における肥効の安定化や施肥作業の省力化が図られている。

各産地で局所施肥を導入する際には、事前の実証試験等を実施し、産地の土壌・気象条件等に適合するかを十分に検討することが望まれる。



図 24 被覆尿素肥料の畝内施肥作業



図 25 ブロッコリーのセル内全量基肥施肥苗

(4) 栄養診断による効率的施肥法

施肥改善を行うための診断技術として、一般に土壌診断は作物の作付け前に行われ、施肥量や資材の投入量の判断に利用されているが、栽培期間中の診断としては、作物の栄養状態を把握する栄養診断の実用性が高く、しかも生産現場で迅速、簡易に診断できる汁液診断（リアルタイム栄養診断）は、作物の栄養状態を的確に判断し、適正施肥に結びつけていくことが可能な技術である。

汁液診断の実際

ア 作物体の採取法

従来の栄養診断は主に植物体を乾燥、分解する葉分析によって各養分を測定していたが、リアルタイム栄養診断では、栽培時の植物体養分を現場で簡易に測定でき、測定回数も多くできるように、比較的採取し易い植物体の汁液を対象とする。測定部位は葉身と比べると多汁質である葉柄を対象とし、汁液の採取は葉柄を2cm前後に切断して、にんにく搾り器で圧搾または葉柄を乳鉢で磨砕する方法で行う。

葉柄を採取する場合、葉位によって養分濃度が異なるため、葉位の濃度差の影響を少なくし、栄養診断を的確にするために測定葉位を決めておく必要がある。抑制栽培きゅうりを対象に収穫初期から後期における各節本葉の葉柄汁液を測定した結果、下位葉に比べ上位葉は葉柄汁液の硝酸濃度が低く、特に収穫中期以降、その差が大きくなった。栄養診断を行うには前後の葉位に比べ硝酸濃度の差が少ない葉位が適していると考え、測定時期でほぼ同濃度であった14～16節の本葉及び本葉と同濃度であった側枝第1葉をきゅうりの測定部位とした。

イ 汁液の分析方法

リアルタイム栄養診断は栽培期間中に作物の栄養状態を知ることによって、作物の肥培管理をより適切に行うことを目的としている。したがって、測定は簡易、迅速に行い、より早く診断結果が得られることが必要である。測定方法として硝酸濃度を簡易に測定する方法は以前からあったが、測定精度、測定時間の点で十分とはいえなかった。

しかし、現在、硝酸イオン試験紙、小型反射式光度計システム及びコンパクトイオンメータなどが販売され、その実用性が検討され、リアルタイム栄養診断における適用性を明らかにされている。

硝酸イオン試験紙は、測定範囲が0～500ppmではあるが、100ppmを超えると測定誤差が大きくなるので、葉柄汁液をピペットとメスシリンダーを用いて、100ppm以下に蒸留水で希釈する。希釈した汁液に試験紙を1～2秒浸し、1分後にその色調から硝酸濃度を読み取り、希釈倍率を掛けて硝酸濃度を測定する。

また、小型反射式光度計システムは硝酸イオン試験紙と小型反射式光度計がセットになった測定機器で、希釈までの操作は硝酸イオン試験紙と同様で、希釈後の操作方法は、希釈液に浸すと同時に光度計のスタートスイッチを押し、反応時間（硝酸の場合1分）終了5秒前を知らせるアラームが鳴ったら、試験紙をアダプターに差し込むと硝酸濃度がppm単位で表示される。また、試験紙の種類をかえることにより、窒素とともに重要な養分であるリン酸や野菜の品質評価に用いられるビタミン

Cの測定ができる。

コンパクトイオンメータによる測定は汁液をセンサー部分に滴下して測定するもので、希釈する必要はほとんどなく、迅速性では硝酸イオン試験紙や小型反射式光度計よりも優れているが、電極が劣化する可能性があるため、校正液で電極の精度を確認する必要がある。これらの簡易測定法は従来測定法との相関が高く、リアルタイム栄養診断に用いる機器として実用性が高い（図 26）。

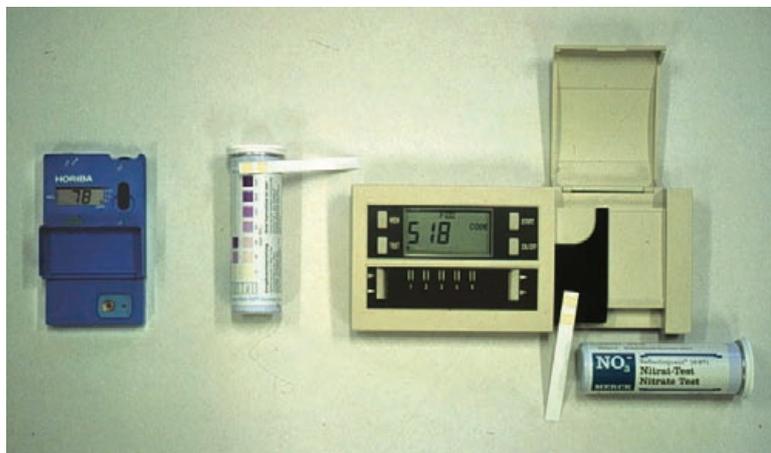


図 26 簡易栄養診断における測定機器

ウ 診断基準値の策定

リアルタイム栄養診断では従来の葉分析とは異なる手法を用いるため、新たに診断基準値の策定が必要である。一般的に作物は、土壌や植物体の養分濃度が高くなると直線的に生育量も多くなるが、土壌及び植物体養分が一定濃度以上となると、生育量は平衡状態に、さらに濃度が高くなると生育量は減少し、無駄な施肥が多くなり、施肥効率は顕著に低下し適正な施肥管理とはいえなくなる。このため、リアルタイム栄養診断では生育収量が漸増又は平衡状態になったときの植物体養分濃度を明らかにすることにより、診断基準値の策定を行った。果菜類の診断基準値は表 15 に示すとおりである。

表15 野菜のリアルタイム栄養液診断基準値

作物	作型	作成県	収穫期間	診断基準 (硝酸イオン濃度、mg/L)
キュウリ	半促成	埼玉	3月下旬～6月下旬	4月上旬：3,500～5,000, 5月上旬：900～1,800, 6月以降：500～1,500
	抑制	埼玉	9月下旬～11月下旬	9月下旬～11月下旬：3,500～5,000
	夏秋雨よけ	宮城	7月下旬～9月下旬	8月上旬：400～500, その後は収穫終了にかけて漸減
ナス	露地	埼玉・岐阜	7月上旬～10月中旬	7月上旬～8月上旬：3,500～5,000, 8月中旬以降：2,500～3,500
	半促成	埼玉	4月上旬～7月上旬	4月上旬～7月上旬：4,000～5,000
イチゴ	促成	埼玉・岐阜	12月下旬～4月下旬	11月上旬：2,500～3,500, 1月上旬：1,500～2,500, 2月上旬以降：1,000～2,000
	促成・6段摘心	愛知	12月中旬～2月上旬	12月中旬～2月上旬：1,500～3,000
トマト	半促成・6段摘心	愛知	5月中旬～7月上旬	5月中旬～7月上旬：1,000～2,000
	長段穫り	三重	11月下旬～5月下旬	11月下旬～2月上旬：5,000～3,000, 2月中旬以降：1,000～2,000
	抑制・7段摘心	茨城	8月中旬～11月中旬	8月中旬～9月上旬：7,500～9,000, 9月中旬以降：5,000～6,000
メロン	促成・12段摘心	埼玉	2月下旬～7月上旬	1月～2月下旬：4,000～5,000, 3月上旬～4月下旬： 2,000～3,500, 5月上旬～6月下旬：500～1,500
	半促成	愛知	7月上旬～中旬	定植時：3,000～4,000, 開花期：2,000～3,000, 果実肥大期：5,000～6,000, 成熟期：2,000～3,000

(5) 土壌診断結果を生かした施肥改善

生産者組織では、主要な農作物について作付け前には、関係機関の協力を得て土壌診断を行い、その結果を基に土壌改良や施肥設計を行っている。

前記きゅうり、ブロッコリーについては、生産者自らが土壌診断の助手として診断を行い、その結果は個々の処方箋として作成し、関係機関が生産者との面談形式で生育状況・生育障害などを確認しながら、施肥設計の相談を進めている。

きゅうりでは、EC値(電気伝導度)から肥料分(塩類)の蓄積度合いを3段階に分けて施肥設計を提案し、相談の上、施肥量を決定している。

また、リン酸の蓄積への対応は、低リン酸肥料の開発・提供による低コスト化を進めている。

ブロッコリーでは、家畜ふん堆肥を使った土づくりが徹底され、肥沃な土壌を形成することができてきている。一部では、リン酸、カリ過剰をきたすほ場も見られる。引き続き、有機質資材や石灰質資材などによる土づくりを進めるとともに、きゅうり同様、低リン酸肥料を活用した施肥体系により、施肥コストの低減、特別栽培農産物の生産などを進めている。

表 16 きゅうり抑制裁培の施肥設計例

単位:kg/10a

EC値 (mS/cm)	有機質肥料Ⅰ (5-6-5)	有機質肥料Ⅱ (5-5-5)	低リン酸肥料 (6-3-6)	成分量			備考
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
0~0.5	200	140		17.0	19.0	17.0	リン酸少ないほ場
	200		120	17.2	15.6	17.2	リン酸多いほ場
0.5~1.0	140	100		12.0	13.4	12.0	リン酸少ないほ場
	140		80	11.8	10.8	11.8	リン酸多いほ場
1.0~1.5	80	60		7.0	7.8	7.0	リン酸少ないほ場
	80		60	7.6	6.6	7.6	リン酸多いほ場

※基肥の窒素は全量有機態窒素で設計。

追肥は、液肥で施用(特別栽培の場合は、化学肥料分に配慮する)

表 17 きゅうり抑制裁培の施肥設計例

単位:kg/10a

EC値 (mS/cm)	有機質肥料Ⅰ (5-6-5)	有機質肥料Ⅱ (5-5-5)	低リン酸肥料 (6-3-6)	成分量			備考
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
0~0.5	360	240		30.0	33.6	30.0	リン酸少ないほ場
	360		200	30.0	27.6	30.0	リン酸多いほ場
0.5~1.0	240	160		20.0	22.4	20.0	リン酸少ないほ場
	240		140	20.4	18.6	20.4	リン酸多いほ場
1.0~1.5	140	100		12.0	13.4	12.0	リン酸少ないほ場
	140		80	11.8	10.8	11.8	リン酸多いほ場

※基肥の窒素は全量有機態窒素で設計。

追肥は、液肥で施用(特別栽培の場合は、化学肥料分に配慮する)

表 18 秋冬ブロッコリー(10月収穫)の施肥設計例

単位:kg/10a

リン酸	リン酸資材 (3-20-0)	有機質肥料 I (10-8-8)	低リン酸肥料 (10-3-6)	成分量			備考
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
40mg以下	40	120		13.2	17.6	9.6	
41~100mg		120		12.0	9.6	9.6	
101mg以上			120	12.0	3.6	7.2	

※牛ふん堆肥または購入堆肥による土づくりをする。

土壌診断結果により、土壌酸度を矯正する。(以下、同じ)

表 19 秋冬ブロッコリー(11月収穫)の施肥設計例

単位:kg/10a

リン酸	リン酸資材 (3-20-0)	有機質肥料 I (10-8-8)	低リン酸肥料 (10-3-6)	成分量			備考
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
40mg以下	40	140		15.2	19.2	11.2	
41~100mg		140		14.0	11.2	11.2	
101mg以上			140	14.0	4.2	8.4	

表 20 春夏ブロッコリー(2重トンネル)の施肥設計例

単位:kg/10a

リン酸	リン酸資材 (3-20-0)	有機質肥料 I (10-8-8)	低リン酸肥料 (10-3-6)	成分量			備考
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
40mg以下	80	180		18.0	22.4	14.4	
41~100mg		180		18.0	14.4	14.4	
101mg以上			180	18.0	5.4	10.8	

表 21 秋冬ブロッコリー(1重トンネル)の施肥設計例

単位:kg/10a

リン酸	リン酸資材 (3-20-0)	有機質肥料 I (10-8-8)	低リン酸肥料 (10-3-6)	成分量			備考
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
40mg以下	40	140		14.0	19.2	11.2	
41~100mg		140		14.0	11.2	11.2	
101mg以上			140	14.0	4.2	8.4	