

## 第7部門 肥料・土壌改良資材

我が国においては、循環型農業への期待が高まる中、家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律が完全施行されている。一方、近年の肥料費高騰により、肥料代替資材として家畜ふん堆肥の持つ高い肥料成分が注目されている。そのため、家畜ふん堆肥などの有機質資材由来の肥料成分の動態や肥効とその評価法、環境への影響評価などに関する論文が多い。また、施肥法に関する論文では、水稻、畑作物以外に野菜、果樹、茶、花き、飼料作物・緑化作物において対象品目が増加している。土壌改良資材では、カドミウム吸収抑制効果に関する研究の他、作物・食品残渣、汚泥、浄水ケーキなどに関する研究の展開が見られ、作物の生育・収量に対する施用効果の他、病害、雑草、微生物など多面的な分野への影響に関する論文が多かった。これらの研究成果は、環境負荷を減らしながら安定的に作物の収量・品質を確保する循環型農業確立のために大いに貢献すると考えられる。

### 肥料および施肥法

西田瑞彦<sup>1</sup>・小杉 徹<sup>2</sup>・金田吉弘<sup>3</sup>

#### 1. 肥料の特性

アセトアルデヒド縮合尿素 (CDU) 粒状肥料に添加剤を含有させることで、同一粒径でありながら、様々な無機化パターンを持つ CDU 粒状肥料を作製できることが報告された (坂本ら, 2007)。反応速度論的解析による特性値を活用することで、より適正な被覆肥料の選定が可能になり、被覆尿素肥料による地理情報システム (GIS) を活用した全量施肥技術の展開が期待できることが報告された (森次ら, 2009)。緩効性窒素肥料の開発の歴史、各化合物の特徴とその効果が解説された (早瀬, 2009)。肥効調節型肥料を用いた接触施肥についてこれまでの研究と開発技術が解説され、今後の展望が示された (三枝, 2007)。環境保全型肥料としてさまざまな利用方法が開発されている肥効調節型肥料のメカニズムや利用例が紹介された (太田, 2007b)。

熔成微量要素複合肥料 (FTE) の長期連用試験が行われ、その施肥効果や利用率、土壌への蓄積経過、ハウ素の残効、無施用で栽培を続けた場合のハウ素欠乏の発生程度などが明らかにされた (秋友ら, 2007a)。重過リン酸石灰と牛ふん堆肥、鶏ふん堆肥との併用時における肥料由来の可給態リン酸の挙動が明らかにされた (加藤ら, 2010c)。

ケイ素とハウ素に焦点をあて、肥料、土壌改良資材が作物だけではなくヒトの健康にも役立つことが解説された (渡辺, 2008)。肥料の水分特性、水分移動と品質について解説

された (羽生, 2007)。肥料中の自然放射性物質について解説された (越野, 2008)。

#### 2. 家畜排泄物とその堆肥

##### 1) 堆肥の成分量

牛ふん堆肥の成分含量は同じ製造施設でも変動する場合があります。堆肥センターのように製造規模を大きくすることで成分含量が安定化できると考えられた。また、堆肥中の無機態窒素を品質表示項目とすることが望ましいとされた (大家ら, 2008)。三重県において生産される鶏ふん堆肥の窒素含有量およびその肥効の変動要因が検討され、密閉縦型発酵方式により尿酸態窒素を多く含有する鶏ふん堆肥を製造することで、窒素、リン酸、カリウムのバランスがとれた耕種農家が利用しやすい鶏ふん堆肥を生産できる可能性が示された (村上, 2009)。豚ふんおよび鶏ふん堆肥のリン酸組成の特徴が逐次抽出法により明らかにされた。また、堆肥の易溶性リン酸含量を用いたリン酸ベースでの堆肥施用は、目標収量の確保と土壌におけるリン酸過剰蓄積の回避を同時に可能にすると考えられた (伊藤ら, 2010a)。

家畜ふん尿の排泄時点から堆肥化完了までの窒素消失率を用いて、2005年の日本国内で発生する家畜ふん尿量とその全量を堆肥化した場合の窒素消失量および消失率が算定された。堆肥化による窒素消失率は従来よりも高く、利用可能な家畜ふん尿堆肥の窒素量は少ないと考えられた (三島ら, 2008)。2005年における国・都道府県単位での家畜ふん尿、食品廃棄物、下水汚泥の発生量からその堆肥化物のポテンシャルとしての発生量、さらに国・都道府県単位での農地の堆肥の受入れ量が推計され、堆肥化物の過不足が明らかにされた (三島ら, 2009)。堆肥生産の今後の方向、水稻、野菜、果樹、草地・飼料作物に堆肥を施用した場合の課題と対策、北海道と鹿児島における堆肥施用の動向、堆肥の生物的安全性評価、新しいタイプの堆肥生産について知見が紹介された (日本土壌協会編, 2007)。

土壌薄片作成の技術を準用して堆肥ペレットの微細形態の観察・記述と画像解析による孔隙定量が可能になることが報告された (久保寺ら, 2009)。日本国内で使用されていない除草剤成分クロピラリドが、堆肥に残留していることがあり、その堆肥を多量施用した場合、特定の作物に生育障害を生じさせることが明らかにされた (佐藤ら, 2010a)。ラウリル硫酸 X-GAL・XMG 培地を利用することで、堆肥中の大腸菌群と大腸菌数を同時に測定できた (崎尾・小森, 2007)。

##### 2) 施用後の肥料成分動態および肥効

鹿児島県において、<sup>15</sup>N 標識鶏ふん堆肥がニンジン作の畑地に施用され、2作にわたる窒素動態が<sup>15</sup>N 標識ナタネ油粕との比較で明らかにされた (上之蘭ら, 2007)。<sup>15</sup>N 標識牛ふん堆肥の作製過程での<sup>15</sup>N 存在比の推移と<sup>15</sup>N 標識の

<sup>1</sup> 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター

<sup>2</sup> 静岡県農林技術研究所 果樹研究センター

<sup>3</sup> 秋田県立大学生物資源科学部

日本土壌肥料学雑誌 第82巻 第6号 p.537~566 (2011)

均質性および堆肥化過程での窒素損失が明らかにされた。さらに、 $^{15}\text{N}$ 牛ふん堆肥が3種の土壌(灰色低地土, 淡色黒ボク土および多腐植質黒ボク土)に施用され, 露地野菜畑での牛ふん堆肥中窒素の動態が明らかにされた(上之園ら, 2008)。 $^{15}\text{N}$ 標識家畜ふん堆肥の作成法が検討されるとともに, 水田と畑地における堆肥由来窒素の作物吸収, 土壌残存および溶脱等の動態が $^{15}\text{N}$ 追跡法で明らかにされた(上之園, 2010)。暖地水田において,  $^{15}\text{N}$ 標識有機質資材を供試して, ガラス繊維ろ紙法における有機質資材由来窒素の動態が明らかにされ, 多様な有機質資材の窒素収支が定量されるとともに, 牛ふん堆肥と併用した有機質資材の肥効が変化することが明らかにされた。寒冷地の堆肥連用水田における堆肥と土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変化が明らかにされた(西田, 2010a)。寒冷地水田に $^{15}\text{N}$ 標識完熟牛ふんオガクズ堆肥が施用され, 堆肥由来窒素の3年間の動態が明らかにされた(Nishida *et al.*, 2008; 西田ら, 2009)。

無機質肥料と牛ふん堆肥の併用により両者の窒素を最大限生かすためには, 併用による急激な有機化が生じにくい堆肥選択が重要であること, 堆肥の全炭素(C:  $\text{mg kg}^{-1}$ ), 全窒素(N:  $\text{mg kg}^{-1}$ )と肥料の窒素(fAN:  $\text{mg kg}^{-1}$ )から算出したC/(N+fAN)を勘案することで適正な施肥量を算出できることが示された(加藤ら, 2008a)。 $^{15}\text{N}$ 硫酸と数種の堆肥を用いたハウレンソウの栽培試験により, 無機質肥料と堆肥の併用下における無機態窒素の動態が検討された。ハウレンソウの窒素吸収, 収量には無機質肥料との併用による堆肥窒素の無機化増加量が反映されるため, 併用による堆肥窒素の無機化増加量を考慮に入れることが重要とされた(加藤ら, 2008b)。 $^{15}\text{N}$ 標識牛ふん堆肥を供試して, 培養試験により硫酸, 肥効調節型肥料と堆肥の併用下での由来別の無機態窒素量の推移が明らかにされた(加藤ら, 2010a)。 $^{15}\text{N}$ 硫酸と併用した牛ふん堆肥の施用時期が, 堆肥窒素の無機化量とハウレンソウへの窒素供給量に及ぼす影響が明らかにされた(加藤ら, 2010b)。

宮城県の畑土壌において, 圃場埋設法により13種類の原料や処理法の異なる家畜ふん堆肥の窒素分解経過が評価された。また, クラスタ分析により供試堆肥は3つに大別でき, 内田のモデル式により様々な家畜ふん堆肥連用による窒素集積量と放出量が予測可能であることが示された(瀧ら, 2010)。福岡県内の家畜ふん堆肥の窒素無機化率の経時変化は5パターンに分類されたが, C/N比25以上の肉牛およびオガクズ乳牛ふん堆肥では, 肥料的効果はほとんどないと考えられた(荒巻ら, 2007)。宮崎県において, 家畜ふん堆肥, 炭化鶏ふん, 焼酎粕濃縮液, 菌体残渣等約20の有機物の無機化試験が行われた(横山ら, 2009)。堆肥からの水溶性成分の初期の溶出パターンを明らかにするために, 砂と堆肥を混合したカラムを用いた測定法が考案された。この方法によって, ペレット化による溶出の遅延やカリウムの初期溶出の増大など初期溶出過程の資材間差が検出された(原田ら, 2008)。

有機物連用試験の結果から, 栃木県黒ボク土畑では, 稲

わら堆肥 $1.7 \text{ t } 10\text{a}^{-1}$ 年 $^{-1}$ , 牛ふん $3.5 \text{ t } 10\text{a}^{-1}$ 年 $^{-1}$ , 豚ふん $0.9 \text{ t } 10\text{a}^{-1}$ 年 $^{-1}$ 施用するのが望ましいことが示された(高間・廣澤, 2008)。わらを還元しない湿田において, 発酵鶏ふんの肥効率は76%と算出され, 発酵鶏ふん $200 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 施用し穂肥を化成肥料で施用すれば, 化成単用とほぼ同等の収量品質が得られるが, 連用しても全窒素は増加しないことが示された(金本ら, 2008)。おがくず鶏ふん堆肥連用は,  $0.5 \text{ t } 10\text{a}^{-1}$ 年 $^{-1}$ の施用で土壌中の全炭素, 可給態リン酸, 交換性カリの蓄積が回避でき, 水稲作で37%, ホウレンソウ作で31%の減肥が可能であることが示された(水口, 2007)。秋どりキャベツ栽培において, 家畜ふん堆肥 $1 \text{ t}$ あたりの窒素減肥量を求めたところ, 豚ふん堆肥では $1.7 \text{ kg}$ , 鶏ふんでは $7.7 \text{ kg}$ だが, C/N比31の牛ふん堆肥では, 窒素減肥はできないことが示された(大森ら, 2009)。牛ふん尿処理液は肥料成分の季節変動が小さく, 水稲作において施肥窒素の利用率が高まることから流し込み施肥が可能であることが実証された。また, ダイズ作においては土中施用により利用率が向上し, 基肥および追肥の代替が可能であることが示された(北田・島田, 2008)。家畜ふん堆肥施用にともなう化学肥料低減可能量の概算方法が紹介された(西尾, 2007)。

高塩類堆肥を連用したコマツナ栽培における土壌溶液組成および陽イオンバランスの経時変化と苦土石灰併用による陽イオンバランスの改善効果が示された(江波戸・栗原, 2009)。ヤギ由来の堆肥と無機リンの施用が土壌の無機リンとバイオマスリンの形態に及ぼす影響が検討された(Gichangi *et al.*, 2009)。ヤギ由来の堆肥は, 土壌中のバイオマスリンを高めることで, リン酸肥料として有効であることがトウモロコシの増収効果によって明らかにされた(Gichangi *et al.*, 2010)。

### 3) 肥料成分および肥効の評価法

有機物を土壌に混合後4~30日間の二酸化炭素発生量および土壌混合後14日間の炭素分解量と酸性デタージェント(AD)可溶有機物含量との関係が検討された。その結果, AD可溶有機物は様々な有機物に含まれる易分解性有機物の指標として有用であることが示された(小柳ら, 2010)。ガラス繊維ろ紙埋設法による3ヵ月間の窒素分解量を1作程度の窒素無機化量と仮定すると, AD可溶窒素は有機質資材共通の窒素無機化量を評価する指標になり得ることが明らかにされた(小柳ら, 2007)。牛ふん堆肥および豚ふん堆肥の夏期3~4ヵ月間の窒素肥効は, AD可溶窒素より推定できることが明らかにされた。12週間という長期間が必要な培養無機態窒素に比べ, AD可溶窒素は短時間で測定できるという利点があり, 堆肥の窒素肥効を評価する上で有効な指標となることが示された(小柳・棚橋, 2010)。牛ふん堆肥と豚ふん堆肥には, 常法(塩化カリウム抽出)では抽出されないアンモニア態窒素であるリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)が存在することが明らかにされた。MAPを含めたアンモニア態窒素の測定には, 堆肥重量(g)と抽出液量(mL)の比率を1:10と

して  $0.5 \text{ mol L}^{-1}$  塩酸で抽出する方法が有効であり、堆肥中の窒素肥効を正しく評価する上で有用であることが示された(棚橋ら, 2010)。AD可溶有機物含量  $250 \text{ mg g}^{-1}$  未満では、堆肥中のMAPを含めた無機態窒素により窒素肥効が推定できると考えられた(棚橋・小柳, 2010)。酸性デタージェント可溶性有機物が  $250 \text{ mg g}^{-1}$  未満の牛ふん堆肥であれば、 $0.5 \text{ M}$  塩酸抽出アンモニア態窒素相当量を水稲の基肥から減肥できることが明らかにされた(小柳, 2008)。牛ふん堆肥および豚ふん堆肥の分解特性および可給態窒素の指標である酸性デタージェント分析の代替法として、近赤外分光法が有用であることが明らかにされた(Fujiwara *et al.*, 2009)。家畜ふん堆肥のデタージェント分画における窒素含有率およびC/N比と窒素無機化率の関係が検討され、中性デタージェント処理による分画は窒素無機化に関する性質を明確に区分していることが明らかにされた(高橋・坂本, 2008)。

窒素含有率が高い鶏ふん堆肥中の可給態窒素量を簡易かつ迅速に評価するために、鶏ふん堆肥中に残存する尿酸態窒素量を指標とした簡易測定法が確立された(村上ら, 2007a)。家畜排泄物堆肥の窒素肥効と窒素の形態の関係が検討され、堆肥のEC、全炭素、水溶性炭素、全窒素、水溶性窒素およびアンモニア態窒素含有率の間には互いに相関が認められ、発芽試験における発芽率や根長、二酸化炭素発生速度とも関係することが示された。また、マサ土における窒素吸収量は堆肥の水溶性窒素を硝酸態窒素とそれ以外に分けて重回帰を行うことによって説明され、畑地土壌においては堆肥と土壌の相互作用がマサ土よりも大きいことが示された(松田ら, 2007)。各種家畜ふん堆肥の  $30^\circ\text{C}$ 、4週間培養無機態窒素は堆肥の各成分値から重回帰式により実用的には十分な精度で推定できること、堆肥に含まれる窒素には速効的な部分は少なく、緩効性(遅効性)窒素が多いことが示された(古谷, 2007)。各種抽出液の吸光度を用いた推定法が検討され、塩酸抽出液吸光度を用いた迅速推定法と培養法による堆肥の可給態窒素評価法との適合性が認められた(小宮山ら, 2010)。塩酸抽出法を用いることで、家畜ふん堆肥試料2~3点の可給態窒素、リン酸、カリウムの3項目を抽出から3時間程度で分析可能であり、簡易に堆肥の成分分析を行う上で有効な方法であることが明らかにされた(新妻ら, 2010)。山口県内の堆肥の肥料成分を分析した結果、窒素発現の推定には副資材の有無が重要であると判断され、副資材混合堆肥や副資材を混合しない発酵・乾燥鶏ふんの窒素代替量を求めるための簡易な推定式が作成された(渡辺, 2007)。宮城県内で製造される各種家畜ふん堆肥の水田における窒素分解パターンは、 $D = eT^r$  ( $D$ : 窒素分解率%,  $e$ : 分解加速度係数,  $r$ : 分解難易度係数,  $T$ : 積算気温  $\times 10^{-3}$ ) のモデル式に適合することが明らかにされた。また、リン酸緩衝液で抽出される有機態窒素割合は圃場条件で分解しやすい窒素割合に近いと考えられた。堆肥3種類の予測分解モデルを用いて水稲の穂揃期までの堆肥由来窒素供給量を算出し、化学肥料

と同じ窒素供給量になるように堆肥を施用したところ、化学肥料並みからやや低い稲体窒素吸収量および精玄米重となることが認められた(瀧ら, 2009)。堆肥と土壌を混合した後の分解に伴い発生する二酸化炭素量をガス検知管で測定し、それを基に易分解性有機物量を推定する方法が考案され、畜種ごとの堆肥の評価基準が作成された(井上・桑代, 2007)。

波長分散型蛍光X線(XRF)による異なる畜種の家畜ふん堆肥のリン酸、塩基および金属類の分析の実用性が検討された。リン酸、カリウム、マグネシウム、カルシウムおよびアルミニウム、鉄、チタン、ニッケル、銅、亜鉛のXRF分析結果と化学分析値との相関が良好であること、予め濃度が異なる数種の堆肥を用いてネット強度もしくはBG比を用いた検量線を作成しておけば、数点の補正用サンプルによって検量線の補正が可能であることが明らかにされた(小宮山ら, 2009a)。現地において家畜ふん堆肥の評価・施用の目安として用いられる現物1:水10条件のEC(現物EC)を、風乾物1:水10のEC(風乾物EC)から求める変換式が作成された(増田ら, 2009)。

#### 4) 成分調整, 成形化, 高機能化

家畜ふん尿の堆肥化過程で発生するアンモニアを吸着させ、無機態窒素成分を多く含有する窒素付加堆肥の製造技術が開発された(田中, 2009)。本窒素付加堆肥ペレットを用いてコマツナのポット栽培試験を行った結果、化学肥料と同等の生育や収量が示され、本堆肥の肥効率(硝酸アンモニウムを1とする)は0.6~0.7で、速効性肥料の代替が可能であることが示された(田中・荒川, 2008; 荒川ら, 2010)。密閉縦型発酵方式で製造する高窒素含有鶏ふん肥料は、窒素平均4.9%, 有効化率52%であり、即効的な窒素の肥効が期待でき、水稲、ブロッコリーでは、慣行栽培と同等の収量が確保できることが示された(村上ら, 2007b)。養豚場の堆肥化施設で発生するアンモニアガスを反応槽底面から吸引しながら硫酸水溶液で中和して、高窒素濃度の硫酸液肥を製造し、その硫酸液肥を飼料米多収栽培の追肥に活用する技術的な可能性が示された(本田, 2010)。曝気法により豚舎汚水のpHを上昇させ、リン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)を結晶化して回収し、再利用する技術が紹介された(鈴木, 2009)。豚ふんと尿素、ようリン、塩化カリを混合した成分調整肥料は、原料豚ふんの窒素肥効率を50%として施肥したとき、水稲、ナス、ハウレンソウ、ネギについては化学肥料と同等の収量が得られることが示された(齋藤ら, 2008)。栃木県において、入手が容易な資材を用いて、家畜ふんを堆肥化させずに成分を調整して成型する技術が開発され、その特性と施用効果が明らかにされた(宮崎・吉田, 2007; 宮崎, 2009)。密閉縦型発酵方式における牛ふんへの廃白土の混合に加え、戻し堆肥を組み合わせる一連のシステムを導入することで、土壌伝染性病原菌に抑制効果を示す *Bacillus* 属菌が高濃度化することが明らかにされた(村上ら, 2010)。し尿処理場から廃棄される廃硫酸(バイオ強酸水)を、鶏ふん燃焼灰

と混合乾燥させることで中和した鶏ふん燃焼灰の肥料利用の可能性が示された(畑, 2007).

堆肥化過程でのアンモニア発生の低減には、アンモニア低減微生物、薬剤添加、尿酸の分解抑制が有効であること、揮散したアンモニアを回収する研究が進められていること、亜硝酸酸化細菌に亜酸化窒素ガスの発生抑制効果が認められること等が紹介された(福本, 2009) 吸引通気式堆肥舎では、豚ふんをモミガラで水分59%に調製して堆肥化すると好気発酵が促進され、簡易スクラバおよび破碎剪定枝を充填した簡易脱臭槽により、高い脱臭効果が得られることが示された(崎尾・小森, 2007). 高水分原料でも成型可能なエクストルーダ方式で堆肥を成型すると、牛ふんではみかけの窒素無機化は見られず、鶏ふんでは未成型のものと比較して窒素無機化量が半減することが示された(荒木ら, 2007).

### 5) メタン発酵消化液

家畜ふん尿を原料とするメタン発酵消化液の露地キャベツ栽培における用法が検討された。深さ15 cm程度の溝に消化液を流し込み、直ちに覆土することでアンモニア揮散の抑制が可能になった。基肥として施用する消化液のうち2/3を溝に、1/3を表面に施用することで、化学肥料と同等の収量が得られることが明らかにされた。また、栽培期間中の土壌中無機態窒素濃度、栽培跡地の土壌の性質は、化学肥料と消化液を施用した圃場で違いは認められなかった(徳田, 2009; 徳田ら, 2010). 乳牛ふんのメタン発酵消化液の施用量の増加に伴いコマツナは増収するが、施肥基準の2倍を超えると収量は増加しないことが示された。消化液由来の亜酸化窒素の発生量は施用量に伴い増加し、消化液中の窒素に対する亜酸化窒素の放出率も施用量とともに増加することが示された(藤川・中村, 2010). 表層腐植質黒ボク土のハウス圃場において、市販の灌水同時施肥システムを用いて、トマト半促成栽培におけるメタン発酵消化液由来液肥の実用性が検証された。カリの蓄積に留意する必要があるものの、メタン発酵消化液由来の濃縮液肥を灌水同時施肥できることが明らかにされた(岩佐ら, 2010). メタン発酵消化液を固液分離後、上澄み液を用いることで、茶への分離消化液の点滴施用が可能であり、追肥として硫酸を表層施用した対照区に比べ品質、収量はほぼ同等で、有機質由来の速効性肥料として利用可能であることが明らかにされた(宮本, 2008). バイオガスプラント由来消化液の飼料作物に対する利用効果が検討された。消化液のアンモニア態窒素含量はECから推定可能で、飼料作物の乾物収量への効果は化学肥料の窒素と同等もしくはそれ以上であることが明らかにされた(堀間・濱戸, 2009).

浮遊物が多く黒濁したメタン発酵消化液でも、少量の凝集剤の添加でユーグレナが生育可能な窒素濃度域と競合微生物の生存が困難なpHを確保することが示された(藤谷ら, 2007).

### 6) 炭化物

牛ふん堆肥の熱処理による養分収支および養分溶解性の変化が明らかにされた。400℃以上の炭化により何れの溶媒にも窒素はほとんど溶出しなくなることが示された。また炭化に伴うリン、カリ、カルシウム、マグネシウムの水溶性、水不溶ク溶性、クエン酸不溶性の各量が示された(牧ら, 2009). 牛ふん炭化物中の肥効は、窒素の場合炭化温度とともに低下し、500℃以上ではほとんど認められなくなるが、カリは100%、リン酸は10%程度の化学肥料代替率が認められ、500℃以上で処理した炭化物は、葉菜類に対する化学肥料のカリ代替として有効であることが明らかにされた(歌野ら, 2008).

牛ふん炭化物施用によるコマツナの濃度障害の発生状況と軽減対策が検討され、牛ふん炭施用に際しては、炭1倍区(ク溶性リン酸で150 kg ha<sup>-1</sup>相当)の施用量程度に留めるか、牛ふん炭中の高濃度塩類の事前除去が必要であることが示された(真行寺・松丸, 2007). ク溶性のリン酸・カリを含む牛ふん炭および水洗した除塩炭(牛ふん炭1:水80の重量比)のリン酸資材としての特性が明らかにされ、除塩した牛ふん炭は塩類集積が小さく、多量施用に適したリン酸資材として有望であることが示された(真行寺ら, 2009).

鹿児島県の鶏ふんペレット炭化物のカリ肥効は高く、土壌酸度矯正力は小さく、ニンジン収穫5ヶ月後でも原形のまま土壌中に存在し、リン酸、加里、石灰の残効は認められないことが示された(澁川ら, 2009). 炭化物の特性、その肥料的利用、ナシ園土壌の改良事例、暗渠疎水剤としての利用が紹介された(金子, 2009).

## 3. 緑肥およびその他の有機質肥料

### 1) 緑肥

9種類の<sup>15</sup>N標識緑肥の施用試験が行われ、水稲による窒素利用率はヘアリーベッチと白クローバーで高く窒素源として有効であること、表面施用よりも全層施用の方が水稲による利用、土壌への残存が多く、窒素の消失が少ないことが明らかにされた(Asagi and Ueno, 2009). マメ科緑肥であるシロクローバーをリビングマルチとして利用した水稲移植栽培での湛水開始時期の違いが、田面水および土壌窒素濃度、水稲生育および収量に与える影響について明らかにされた(浅木・上野, 2008). 前年秋に播種した緑肥作物(レンゲ、ヘアリーベッチ)後の水稲乾田不耕起直播栽培においては、播種後の除草剤の使用回数を慣行の5回から2回に減らすことができ、緑肥作物に含まれる窒素により、稲の生育量が大きくなり、収量性が向上することが示された(金森・松森, 2008). 水稲栽培における緑肥利用の留意点と課題が示された(上野, 2010).

<sup>15</sup>N標識緑肥由来窒素の野菜栽培3作における動態が明らかにされた。肥料効果の期待できる易分解性窒素画分はクロタラリアやセスパニアの方がソルガム、ギニアグラスより多く、易分解性窒素画分が発現した後の窒素肥効はどれも非常に緩やかであることが示された(糟谷, 2007). 野

菜作におけるカバークロップの例として、ヘアリーベッチによる土壌硬度の低減、土壌水分保持効果および施設トマト栽培での土壌炭素蓄積効果が示された(荒木, 2010)。

緑肥レンゲの播種量、播種時期およびすき込み時期が、夏ソバの生育・収量に及ぼす影響について検討された。ソバの播種20日前にレンゲ生重がおよそ $2,000\text{ g m}^{-2}$ 以上あれば、すき込み時期を特に考慮する必要はないこと、レンゲ播種の適量は $3\text{ g m}^{-2}$ であること、播種は10月中には終える必要があることが明らかにされた(杉本ら, 2007)。ダイズ栽培で大麦カバークロップを用いることより、雑草生育が抑制されるとともに、ダイズ収量が増加した(小林ら, 2007)。ジャガイモ栽培時、畝間に植えたヘアリーベッチを中耕することで、化学肥料削減と雑草抑制効果が確認された(吉川ら, 2007)。飼料トウモロコシにおいて、シロクローバーのリビングマルチ栽培を行うと、菌根形成率が高まりリン酸施肥をしなくても、慣行と同等の収量が得られることが示された(出口, 2008)。作物とカバークロップの混作、いわゆるリビングマルチにおいて、慣行栽培よりも増収する事例や、菌根形成率が促進される事例が紹介された(三浦, 2010)。沖縄において、冬の被覆作物のヘアリーベッチによる雑草抑制効果、夏の被覆作物のハッシュウマメ(ムクナ)による土壌流亡抑制効果が示された(鬼頭, 2010)。

Al耐性とは無関係に低リン耐性を有する植物を検索することを目的とし、数種のマメ科植物の低リン耐性が、Al型でリンを固定する特性のある赤玉土を用いて評価された。赤玉土のリン酸吸収係数の1%および10%相当量のリン酸施肥をした場合の生育量等を比較することで、キマメやセスバニアの低リン耐性の評価が可能であることが明らかにされた。また、セスバニアの強い低リン耐性には、根系発達によるリン吸収の場の拡大が関わっている可能性が示唆された(鬼頭ら, 2009)。

傾斜地柑橘園における草生栽培は、低降雨強度では表面流去水量を減少させ、高降雨強度では懸濁態リン濃度を減少させ、懸濁態リン流出抑制効果があることが確認された(山家ら, 2008)。ウメ園の夏期の地温は灰色低地土より岩屑土で高く、高地温によって、光合成速度、水ポテンシャル、根の活性などの低下が起こるが、ソルゴーの敷草やヘアリーベッチ草生により、夏期の地温上昇を抑制する効果が認められた(岡室ら, 2010)。果樹園土壌においての緑肥は、草生栽培として位置づけられていること、また、その土壌物理性の改善、有機物補給効果、共生微生物による効果などが紹介された(松村ら, 2010)。

さまざまな緑肥作物の特性が解説された(久保田, 2010)。畑作における緑肥利用の現状と問題点が解説された(辻, 2010)。耕起法別の緑肥利用等、農作業体系と緑肥について解説された(小松崎, 2010)。緑肥をすき込むことにより、一時的に病原性ピシウム菌による苗立枯れが発生するが、その後3週間程度経過すると発生が抑制されることが示された(東條ら, 2010)。緑肥作物栽培におけるトビ

ムシ・ダニなどの小型節足動物やミミズなどの土壌動物の役割が解説された(中元, 2010)。

## 2) その他の有機質肥料

有機質肥料が水稻の耐冷性向上に寄与しうるかどうかを検証するため、障害不稔発生と関係が深い葯長や充実花粉数が検討された。有機質肥料と肥効調節型肥料では速効性化学肥料とは異なる共通の傾向が認められ、緩効的な窒素供給パターンにより葯長や充実花粉数の増大効果が得られることが示された(瀧ら, 2008)。畑地で利用できる代表的な有機質肥料の窒素肥効率が、ポットにおけるコマツナの連続栽培によって明らかにされ、混合有機質肥料で約80%、魚粕約70%、大豆粕約60%、菜種粕約55%、ぼかし肥料約50%、乾燥鶏ふん約25%、牛ふん堆肥と米ぬかは約17%であることが示された(佐藤, 2010)。オキシソルにおいて、多様な有機質肥料を供試し4年間26種類の野菜を連作した後の土壌の化学性および酵素の特性が明らかにされた(Chang *et al.*, 2008)。山口県内で普及している魚介物加工肥料を、水稻基肥として移植2週間前頃、穂肥として出穂30日前頃に、化学肥料の3割増の窒素量で施用することにより、化学肥料と同程度の収量が確保できることが示された(有吉・平田, 2010)。

下水汚泥などに熱を加えてリンを分離するHeatphos法によって製造された人工リン鉱石の肥料効果が検討された。人工リン鉱石の肥効は酸性土壌において高く、アルカリ土壌において低いこと、焼成品は乾燥品に比べ結晶性が高く溶解しにくいこと、肥効が低いことが明らかにされた。またリン酸吸収係数が低い土壌で土壌へのリン吸着が認められたことから、リン吸着評価法の工夫の必要性が示された(辻本ら, 2007)。わが国のリン資源の現状と下水汚泥の有効利用について解説された(鎌田, 2007)。わが国の未・低利用有機性資源中のリンの量、下水汚泥、汚泥焼却灰、家畜排泄物からのリンの回収技術と課題が解説された(原田, 2009)。河口域にあるヘドロ堆積物が未利用リン酸資源であること、その有効利用に向けての前処理方法と施用効果が紹介された(松本, 2009)。

## 4. 作物別施肥法

### 1) 水稻の施肥法

可給態窒素量が異なる水田において、肥効調節型肥料の接触施肥が水稻の肥料および土壌窒素吸収量と収量に及ぼす影響が検討され、慣行施肥と同等の窒素吸収量を維持する場合、接触施肥によって低減できる窒素施肥量は可給態窒素の多い土壌で少ないことが示された(Sano *et al.*, 2008)。秋田県の砂壤土水田において、育苗箱全量施肥法を用いた高品質米生産技術の現地実証試験が行われ、30%以上の減肥でも目標収量が確保され、高品質を確保できることが実証された(進藤ら, 2010a)。また、養分収支からは、カリの持ち出しがやや大きく、作土の交換性カリの減少が大きかったので、砂壤土水田で育苗箱全量施肥を継続するためには、カリ施用が必要であることが示された(進藤ら, 2010b)。秋田県において育苗箱全量施肥栽培での水

稲の生育および分げつ発生と品質・食味形質との関係が検討され、育苗箱全量施肥では、主茎と第5~7葉基部から発生する1次分げつを主体に穂数が確保され、慣行並の収量を得た場合でも高い整粒歩合と低タンパク質含有率の精玄米を生産できることが明らかにされた(三浦ら, 2009a)。秋田県において、異なる肥効調節型肥料を用いた直播水稻の生育制御技術が検討された。シグモイド型60日タイプの施用によって慣行よりも7%増収し、玄米品質の低下がないことが示された(三浦ら, 2009b)。育苗箱全量施肥専用肥料の60日型は、岩手県北部や中部で初期生育確保に多肥を要する場合には、100日型に比べ穂数増による増収の可能性のあるものの、県中南部では生育後期の窒素供給不足が懸念されることが示された(鈴木ら, 2010b)。群馬県において水稻育苗箱全量基肥栽培が検討され、プール育苗で肥料の過剰溶出による徒長が発生しやすく、20日間程度の育苗が限界であったが、肥料の改良によりほぼ解決された。水稻の初期生育はやや抑制され、茎数は少ないものの、有効茎歩合、登熟歩合が高まり、基肥+追肥の標準体系の34~40%減の施肥量で収量、品質ともに同等以上となることが示された(高橋ら, 2007)。石川県河北潟水田では、肥効調節型肥料1kgの箱施用により、600~750kg 10a<sup>-1</sup>のコシヒカリ収量が得られた(長谷川, 2008)。玄米収量、白米タンパク質含有率および窒素施肥量の実績量から、任意に設定した生産目標に対応する適正窒素施肥量を簡便に求める方法が開発された(宮森, 2007)。水稻新品種「ゆめおぼこ」の施肥法が検討され、目標収量が得られる基肥窒素量以上の増施は効果がないこと、千粒重が大きい品種特性をいかすためには減数分裂期追肥を基本とすべきことが示された(柴田ら, 2010)。リニア型に加えてシグモイド型を用いることにより、水稻の全量基肥1回施用配合肥料への肥効調節型肥料の配合割合を減ずることができた(鈴木ら, 2010a)。水稻の減農薬・減化学肥料栽培において、早生品種は密植、晩生品種は粗植により基肥を減量しても標準施肥・標準植と同程度の収量性が確保された(佐藤ら, 2007)。施用窒素肥料の形態がaerobic riceの生育と収量に与える影響が検討され、硝酸態窒素に比べてアンモニア態窒素が有効であることが示された(Nie *et al.*, 2009)。

少肥条件による玄米の低タンパク化に伴い、収量低下、外観品質の不安定化が生じる可能性があり、一定水準以下の低タンパク化は食味向上につながらないことが示唆された(吉永・福田, 2007)。千葉県における「コシヒカリ」は、早い穂肥によって未熟粒割合の高い二次枝梗籾が増加して外観品質が低下し、「ふさおとめ」では穂肥の遅れにより玄米中粗タンパク質含有率の増加程度が大きいことが示された(吉野ら, 2007)。高温条件下での米品質低下の実態が紹介され、生育後半の稲体栄養を維持する肥培管理が重要であり、そのためには基本技術の総合的見直しと徹底が必要であることが解説された(金田, 2007b)。秋田県において分げつの発生次位・節位理論による中苗「あきたこまち」の高品質・良食味米安定生産技術に関する研究がとりまと

められ、従来の生育量や窒素吸収量などの量的指標に加えて、分げつの発生次位・節位という質的指標を組み入れた新たな高品質・良食味米安定生産マニュアルが策定された(金, 2007)。

おがくずおよびパークを混合した牛ふん堆肥、鶏ふん堆肥、豚ふん堆肥を1.5 t 10a<sup>-1</sup>連用した水田において、牛ふん堆肥では窒素肥料を基肥半量・追肥半量程度の低減が、鶏ふん堆肥では基肥半量・追肥半量程度の低減が、豚ふん堆肥では、基肥全量・追肥半量程度の低減が可能と考えられた(住居・徳永, 2009)。八郎潟干拓地水田において、水稻に対する有機質資材の連用効果と育苗箱全量施肥法が検討され、シグモイド型100日タイプが有機質資材との組み合わせに適していると考えられた(伊藤ら, 2008)。岩手県で使用されている特別栽培専用肥料を基肥全量施用すると、1穂粒数や千粒重が低下し慣行栽培並の収量が得られないこと、基肥+追肥とすると慣行栽培と同等の収量が得られ、食味にも影響がないことが明らかにされた(臼井・多田, 2010)。30年間稲わら堆肥や稲わらを連用した水田において、慣行の20%減肥でも化学肥料区よりも増収することが示された(三浦, 2007b)。オガクズ牛ふん堆肥2 t 10a<sup>-1</sup>を春施用し、出穂期前15日に窒素2 kg 10a<sup>-1</sup>を追肥することで、慣行と同程度の玄米収量、玄米粗タンパク質含有率が得られ、5年間連用しても同様の傾向であることが示された(青沼・小林, 2007)。水稻晩生品種「あきさやか」は、高地力圃場では基肥窒素が省略できることが示された(土屋ら, 2009a)。

有機栽培用育苗費用低減のための自作培土調整法が検討された。ナタネ油粕、自家製ぼかし肥料を利用した水稻有機栽培用の育苗培土を作成し、プール育苗によって市販の有機栽培育苗培土と同等の4葉苗を育苗することができた。また、1箱当たり基肥窒素量が4 gでは苗が徒長しやすくなるが、2.5 gでは追肥が必要で、有機質肥料による1~2 g-N箱<sup>-1</sup>の追肥が有効であることが明らかにされた(菊池・鈴木, 2009; 鈴木・菊池, 2009; 江上ら, 2009)。岩手県北地域の水稲栽培において、発酵鶏ふん、発酵豚ふんを全窒素換算で化学肥料の2倍量を施用することで、化学肥料並みの生育、収量が得られ、7年間の連用でも跡地の可給態窒素は増加しないことが示された(松浦ら, 2007)。八郎潟干拓地水田においては、慣行の半分程度の栽植密度でも、有機肥料施用下で水稻収量は慣行とほぼ同等で、外観品質はやや劣り、稈長は伸びるが倒伏程度は小さいことが示された(伊藤ら, 2010b)。山形県の大区画圃場において、水稻穂肥としての豚尿液肥流し込み施用の現地実証試験が行われ、豚尿液肥の拡散は概ね良好で、省力的に慣行の特別栽培と同等の収量・品質が得られ、実用性が高いことが明らかにされた(横山ら, 2010)。成分調整・成型豚ふん肥料の施用効果が検討され、慣行栽培に比べ追肥期までの生育がやや劣るものの、窒素成分量を慣行栽培の50%低減しても慣行と同等の収量および品質であることが明らかにされた。また、水稻栽培終了後の土壌に窒素が23 kg ha<sup>-1</sup>

残ると試算され、豚ふん肥料の連用による土壌への窒素成分の蓄積を確認する必要があることが示された(宮崎ら, 2010)。大分県の中山間地において水稲「おおいだ11」への有機質肥料の施用効果が検討された。ペレット牛ふん堆肥、有機質肥料、特栽用50%有機肥料を全量基肥とした栽培では、ほぼ化成肥料並みの収量が得られるが、米ぬかの全量基肥では減収することが示された(佐藤, 2008b)。サツマイモ焼酎蒸留粕濃縮液は、水稲の移植および直播栽培に肥料効果があり、 $800 \text{ mL m}^{-2}$  施用が化成肥料窒素  $8 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  施用にほぼ相当することが示された(土屋, 2008, 2010)。おからと焼酎かすを合わせた融合コンポストを製作し、ダイズおよび水稲で施用したところ、慣行と同等の収量および品質が得られ、跡地土壌にも差は認められなかった(郡司掛, 2009)。水稲ダイズ二毛作水田において、牛ふん堆肥の施用時期から代かきまでの期間が長いほど顕著に窒素肥効が低下するので、代かき間近に施用すれば、堆肥窒素を利用した栽培が可能となることが示された(原, 2010)。暖地水田におけるダイズ-コムギ、食用水稲、飼料イネ栽培での家畜ふん堆肥ペレットの施用効果が紹介された(荒川, 2007)。中国華北地域での水稲の有機栽培に関する基礎的知見を得るために、中国華北地域の水稲品種(中国品種)と日本で育成された水稲品種(日本品種)それぞれ7品種が供試され、移植後の米糠施用が収量や食味に及ぼす影響が検討された。その結果、収量面では穂数型品種より穂重型品種の方が有利であるが、食味に対する品種の影響は小さいことが明らかにされた(辺ら, 2010)。

北海道の水田土壌の化学性の実態が明らかにされ、稲わら残渣分解に伴う水稲の初期生育阻害要因について解明されるとともに、その対策技術が確立された。また、高品質米生産のための効果的な窒素施肥法と、ケイ酸の施用効果が示された(後藤, 2007)。宮城県の細粒強グライ土水田における稲わらの連用、連年焼却が水稲の収量と土壌に及ぼす影響が解明され、湿田への稲わら鋤込みにより生じる減収を防ぐ対策が示された(高橋ら, 2010b)。堆肥を利用した50%減化学肥料代替水稲栽培におけるいもち病の発生リスクは、化学肥料栽培と同程度であり、各地域の慣行に準じた防除を行う必要があることが示された(沼田ら, 2007)。水稲-レタス栽培における亜酸化窒素発生量は、硝酸化成抑制剤入り被覆窒素肥料により低減できるが、おがくず豚ふん堆肥を加えると亜酸化窒素の発生量が増加することが示された(森本ら, 2008)。水稲作において、育苗箱全量施肥や側条施肥は全窒素流出量を抑制することができ、紙マルチ移植栽培で濁度の上昇を抑えられることが明らかにされた(大塚ら, 2008)。化学肥料・化学合成農薬の使用量を5割以下に低減し、適正な水管理を実践する実証区では、流出水量、栄養塩類等流出負荷量が低減でき、玄米収量および品質も対照区と同水準であることが示された(蓮川ら, 2008)。ポット試験によって水田からの脱窒量が推定された(亀和田, 2008)。イネの生産性と窒素の関係について、基礎から最近の事例を交えて解説された(前,

2007)。最近の水稲直播栽培技術の動向、各種直播栽培方式での施肥技術について解説された(長野間, 2007)。

飼料イネの直播栽培における有機質資材由来窒素の利用率と、地上部全乾物重を収量としてみたときの施肥パターンの影響が明らかにされるとともに、牛ふん堆肥を活用するための方策が提示された(西田, 2010b)。飼料イネ栽培管理においては、多肥により全重多収をねらうこと、出穂前30~50日の追肥の有無が重要であることが示された(松村, 2008)。家畜ふん堆肥多量施用および堆肥無施用条件での飼料イネ「べこごのみ」の移植栽培に適する窒素分施肥法が示された(土屋ら, 2009b)。牛ふん堆肥を活用したイネWCS多収栽培のための施肥技術が検討され、「もち美人」の黄熟期全重目標  $1.5 \text{ t } 10\text{a}^{-1}$  には  $12 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  の窒素吸収量が必要であること、硫安と肥効調節型肥料の組合せにより追肥作業を省略しながら目標収量が確保できることが明らかにされた(高橋ら, 2010a)。飼料イネ向けの簡易な流入施肥による追肥法が検討され、硫安を網袋に入れて水口に置き、速やかに溶解させる方法よりも、肥料の樹脂袋に切り込みを入れて水口に置き、徐々に溶解させる方法が圃場内に均一に施肥することができることが明らかにされた(関矢ら, 2008)。さらに、肥料の透水性を抑えた袋に硫安を入れて水口に置き、袋の底部のみを用水に浸けて入水する方法により、液肥のように徐々に肥料を供給する流入施肥法が開発された(関矢ら, 2009)。飼料イネ栽培において家畜ふん堆肥を有効利用するための考え方や注意点が解説された(原田, 2008)。飼料イネ栽培における施肥法、家畜ふん堆肥施用の注意点が解説された(関矢, 2007)。飼料イネ生産と結び付いた肉用繁殖生産システムの窒素の利用性と循環性に関するモデル分析が行われ、飼料イネの単収増加や稲発酵粗飼料の粗タンパク質含量の増加が、システム内の窒素利用効率や循環率を低下させることが示唆された(広岡ら, 2009)。

ク溶性リンを多く含むリン酸培地を用いた全量育苗箱施肥による水稲の生育収量とリン吸収、施肥リン利用率が、2種類のアロフェン質黒ボク土のポット試験で検討された。リン酸培地を接触施肥した水稲の乾物重とリン吸収量は、重過リン酸石灰を全層および側条施肥した場合と同程度かそれ以上であり、施肥リン利用率は、リン酸培地地区で高いことが示された(平内ら, 2007)。群馬県の水稲育苗箱全量基肥施肥栽培を前提とした育苗法で、熔成燐肥による覆土が検討された。砂状タイプの熔成燐肥を用いた覆土による育苗は可能であるが、現場への普及技術としてはマット強度などで課題が多いことが明らかになった。また、プール育苗の場合、20~22日程度の育苗期間が健苗育成からみて無難であるとされた(高橋・吉田, 2007)。移植前の苗のリン酸カリ水溶液への浸漬処理が、移植後の初期生育および無機養分吸収に及ぼす影響が調査された。移植前リン酸苗施用により、移植後の水稲のリン吸収が促進されて初期生育が促進され、本施肥法によるリン酸減肥栽培の可能性が示唆された(渡邊ら, 2007)。ケイ酸質肥料が、高温下

における水稻の葉温上昇抑制, 気孔コンダクタンスの上昇およびケイ酸吸収促進に効果が高いことが明らかにされた(金田ら, 2010). 山形県において, ケイカルよりもケイ酸溶出量が高い資材(加工鉱さいりん酸肥料, シリカゲル肥料)の幼穂形成期施用の効果が明らかにされた. また, ケイ酸による塩分付着害に対する軽減効果が確認された(森, 2010). 成熟期の水稻のケイ酸吸収量は, 移植後25日の土壤溶液中のケイ酸濃度と正の相関が認められた(荒巻ら, 2009). 土壌由来と灌漑水由来のケイ酸を類型化して区分した水田ケイ酸供給能は, 水田におけるケイカル施用の要否判定に有効であることが示された(松森・郡司掛, 2009). ポット試験により, アルカリ水田における水稻のFe吸収に対する水稻根と肥効調節型肥料(ロング70)による接触施肥法の効果が検討され, アルカリ水田土壌における水稻根と肥料粒子の接触は水稻の鉄欠乏症の改善に重要な要因であることが示された(Morikawa *et al.*, 2008).

## 2) 畑作物の施肥法

重窒素標識肥料を用いた鉢試験等によりコムギに対する有機物施用効果と被覆尿素からの窒素吸収特性が検討された. 気象条件によりコムギの収量は大きく増減するが, 施肥由来窒素吸収量は収量の増減に大きな影響を受けず, 年次間差も少ないことが示された(猪部・小野, 2007). コムギ「イワイノダイチ」と「農林61号」の栽培において, リニア溶出型25日被覆尿素肥料を基肥とすることで, 有効穂数の増加により増収し, 蛋白質含量も増加することが示された(村元・吉田, 2010). 宮城県における「シラネコムギ」栽培において, シグモイド型40日溶出タイプの肥効調節型肥料 $1\text{ kg-N a}^{-1}$ を基肥と同時に施肥することで, 追肥作業が省略できることが明らかにされた(神崎, 2009; 神崎・佐々木, 2010). 山形県における畔間30 cmの狭畦密植ダイズ栽培では, 従来の慣行栽培と同量の施肥で慣行並み以上の子実重が得られ, 慣行と同様に緩効性肥料の効果が高いことが明らかにされた(柴田ら, 2007). 大豆化成とLPS80を全量基肥施肥することで, 慣行施肥(大豆化成の基肥とLP70の7葉期追肥)と同様の効果が得られることが示された(齊藤ら, 2007a). ダイズ栽培においてリニア型肥効調節型肥料を接触施肥すると, ECの上昇により出芽が不良となり, 根の発達が悪く減収するが, 種子から横5 cm, 下5 cm離して施用する側条施肥では多収となることが明らかにされた(二瓶, 2007). 水田転作ダイズ栽培における深層施肥の有効性とその要因, 溶出タイプの異なる被覆尿素の効果に関する知見が概説された(高橋ら, 2007).

十勝・網走地方において, 秋まきコムギは深さ80 cm程度までの窒素を吸収することが明らかにされた. 深さ0~80 cm層土中の硝酸態窒素量は深さ0~60 cm層土中の硝酸態窒素量と密接な関係があり, 深さ0~60 cmの土壤硝酸態窒素量を測定することにより, 目標収量を得るために必要な起生期以降の窒素追肥量が導き出されることが報告された(佐藤ら, 2008). 北海道の秋まきコムギに対する

起生期の分施肥時期が遅れる場合, 速効性の硝酸態窒素を25%程度含有させた配合肥料の使用が有効であることが明らかにされた(佐藤・中津, 2010). 北海道北部地域3地点において, パン用春まきコムギ「春よ恋」における開花期以降の尿素葉面散布が, 収量, 子実タンパク質含有率に与える効果が検討された. 開花期以降3回(開花期 開花期から7日目, 開花期から14日目)の尿素葉面散布は, 硫安土壌施用よりも安定的にタンパク質含有率を向上させる効果があり, 同時に千粒重と収量を増加させる傾向が認められた(佐藤ら, 2009). 青森県においてコムギ「ゆきちから」を水稻収穫後の10月上中旬に播種する場合, パン用コムギに必要なタンパク質含有率を確保するためには, 消雪後~幼穂形成期および止葉抽出期に2回追肥し, 追肥量はそれぞれ $6\text{ kg }10\text{ a}^{-1}$ 必要であると考えられた(渡邊・西澤, 2010). 宮城県においてコムギ「シラネコムギ」への減数分裂期追肥を慣行の $5\text{ kg-N }10\text{ a}^{-1}$ から $8\sim 9\text{ kg-N }10\text{ a}^{-1}$ に増量することで, 穂揃期追肥を省略しても子実粗タンパク質含有率は慣行並に確保され, 収量, 容積重, 千粒重, 外観品質についても遜色ないことが明らかにされた(神崎, 2008). 宮城県においてコムギ「ゆきちから」の子実タンパク質含有率の基準値を満たし, 収量を確保するための追肥法として, 幼穂形成期 $2.5\text{ kg-N }10\text{ a}^{-1}$ , 減数分裂期追肥 $5\text{ kg-N }10\text{ a}^{-1}$ , 穂揃期 $5\text{ kg }10\text{ a}^{-1}$ が妥当と考えられた(千田ら, 2008). 宮城県におけるコムギ「ゆきちから」に対する幼穂形成期追肥は, 子実重を増加させるものの倒伏の危険が増すことから, 生育量指数(草丈×茎数)にかかわらず $2.5\text{ kg }10\text{ a}^{-1}$ を基本とし, 子実タンパク質含有率については, 減数分裂期追肥と穂揃期の葉色診断による施肥対応により, 精密な制御が可能と考えられた(千田・神崎, 2010).  $^{15}\text{N}$ トレーサー法によりサトウキビの施肥窒素利用率が調査され, 春植え栽培で46%, 株出し栽培で51%であること, 基肥の利用率は, 春植え栽培で追肥の0.4倍, 株出し栽培で追肥の1.4倍と大きく異なることが示された(加治・長友, 2008). 主要畑作物に対する窒素吸収経過と生育特性が調査され, 普通畑作物はシグモイド型, 露地野菜は放物線型の窒素吸収パターンに分類された(河野, 2008). 新潟県を含む北陸地域では, しわ粒による転作ダイズの品質低下が大きな問題となっている. ダイズの子実肥大期における光合成産物供給が制限される条件が縮緬じわの発生率を高めること, 無肥料・無石灰施用の連作栽培条件は, 早期の落葉をもたらす, 縮緬じわの発生率を高めること, 子実肥大期に摘葉によりシンクを制限し相対的にソースを高めると, 落葉が遅くなり百粒重が増加し縮緬じわの発生率が減少することが明らかにされた(関口ら, 2008). 排水不良の転換畑において品質低下の主要因である“ちりめんじわ粒”の発生軽減には, 畝立同時播種栽培による湿害回避が有効であった. また, シグモイド型溶出被覆尿素基肥または追肥施用により開花期までの窒素集積量や生育量を確保することも効果的であることが報告された(南雲ら, 2010).



亜リン酸の葉面散布がコムギの収量および $\alpha$ -アミラーゼの活性に及ぼす影響と効果的な散布濃度・回数が検討され、品質と収量の両面を考慮すると、400倍液を開花期以降3~4回散布するのが適当とされた(中津・木村, 2009)。兵庫県の黒ダイズ栽培において、亜リン酸液肥をダイズ生育初期に株元散布することにより、増収とともに茎疫病発生の抑制が認められた(前川, 2008)。北海道の下層地多湿黒ボク土において、アーバスキュラー菌根菌宿主跡と非宿主跡でのダイズの減肥試験が行われた。宿主跡ではダイズ生育初期のアーバスキュラー菌根菌感染率が高く、リン酸吸収が増加し、リン酸施肥量を減らしても収量低下はあまり認められなかった(岡, 2009)。コムギ種子を高濃度のリン酸溶液に浸漬することで、圃場でのリン施用量の大幅な節減が可能であることが示された(矢野, 2010)。

1981年に開始された淡色黒ボク土におけるコムギ単作と水稲単作の三要素試験(NPK, NP, NK, PK, 無肥料)結果が解析され、25年以上にわたりK施肥の有無は収量に有意な影響がなかったこと、無肥料では減収傾向にあるが、NPKおよびNP施用でコムギの収量水準は維持され、水稲では増収傾向であることが報告された。また、コムギおよび水稲の子実K含有率およびK吸収量はK施肥の影響が見られないことが示された(高橋ら, 2009)。北海道のテンサイの直播栽培で安定生産を図るためには、さらなる酸性矯正が必要であること、またその対策技術が示された(笛木, 2008)。

### 3) 葉茎菜類の施肥法

北陸地域において、前年秋に畝たて・施肥・マルチを実施して翌年の早春に野菜苗を定植する初夏採野菜栽培体系における前年施用肥料の窒素動態が検討された。定植時期と栽培期間の長短に対応した溶出タイプの肥料を選定すれば、秋畝たて・施肥・マルチ・春定植栽培が可能であり、新潟市等で10月末から11月初旬に畝立て施肥を実施し、4月上旬に定植する栽培体系ではシグモイド型被覆尿素40日タイプが適切な肥効パターンを有するタイプであった。また、栽培が7月頃までと長期間になる場合は同60日タイプとの併用が適当であることが報告された(藤原ら, 2009)。野菜の施設および露地栽培における施肥窒素の低減方策として、チェーンポット育苗の培養土に肥効調節型肥料を直接施肥する育苗箱施肥が検討された。シグモイド型の被覆燐硝安100日タイプの育苗期間中の窒素溶出率は、3.3%で、ネギ苗に濃度障害も発生せず、標準栽培苗と同等の生育であることが示された。標準の基肥窒素(80 kg ha<sup>-1</sup>) + 追肥窒素(160 kg ha<sup>-1</sup>)の合計窒素(240 kg ha<sup>-1</sup>)に対して、ポット内窒素60 kg ha<sup>-1</sup> + 追肥窒素90 kg ha<sup>-1</sup>の38%減肥体系では、収量は同等で施肥窒素利用率が向上することが示された(山本・松丸, 2007a)。夏どりおよび冬どりネギ栽培において、肥効調節型肥料を用いたチェーンポット内全量窒素施肥技術が開発された。被覆燐硝安140日タイプ(2401-140S)の育苗期間中の窒素溶出率は、夏どりが1.6%、冬どりが3.4%で、いずれの

作型でも育苗中のネギ苗に濃度障害は発生しないことが示された。また、標準施肥の50%減肥に相当する120 kg-N ha<sup>-1</sup>を施用することで、夏どり栽培および冬どり栽培とも追肥なしで標準と同等の収量を得られることが明らかにされた(山本・松丸, 2007b)。コマツナのハウス周年栽培において、リニア40日型、リニア70日型被覆肥料により、収量品質の維持と植物体硝酸イオンの低減が可能で、リニア70日型被覆肥料では、基肥1回施用で2作を連続して栽培できることが示された(杉沼・佐藤, 2007)。被覆尿素を組合せ、1回の施肥でコマツナおよびハウレンソウを3作栽培できる施肥法が開発された(山崎, 2008)。半促成長期どりアスパラガスにおいて、牛ふん堆肥施用量は初年度10 t 10a<sup>-1</sup>、2,3年目は4 t 10a<sup>-1</sup>で安定収量が確保され、牛ふんと油粕を重量比1:1で成分調整成型化した堆肥とシグモイド120日タイプ被覆尿素肥料を組合せると、慣行の化学肥料栽培と同等の収量が見込め、立茎開始時期以降における60%減化学肥料栽培が可能になると考えられた(大井ら, 2009; 大井ら, 2010)。アスパラガス半促成中期どり栽培において、もみから牛ふん堆肥10 t 10a<sup>-1</sup>を施用し、基肥をシグモイド型160日タイプ、追肥をペレット状タネ粕とすることで、慣行の総窒素量を31%低減できることが示された(水上ら, 2010)。山形県のアスパラガス露地長期どり栽培において、肥効調節型肥料と緩効性肥料の基肥後に堆肥でマルチングする施肥体系は、速効性肥料で追肥を行う慣行の施肥体系よりも収量性に優れていることが明らかにされた(岡部・大木, 2007; 岡部, 2008)。露地ニラ栽培において、肥効調節型肥料の溝基肥施肥2割低減により、1年目株養成期間の生育量と窒素吸収量は基準施肥並みに確保されたが、定植2年から3年目までは収量が劣ることが示された(石井・河野, 2007a)。

ネギの活着肥の育苗箱施用を可能にするアセトアルデヒド縮合尿素(CDU)を基にした緩効性肥料(CM-CDU)が製造され、その効果が明らかにされた(坂本ら, 2010)。無機化速度調節型アセトアルデヒド縮合尿素(CM-CDU)肥料によるコマツナ2連作への基肥1回施用の有効性が示された(Amkha *et al.*, 2009)。

ハウスハウレンソウの硝酸イオン含量を低減させるための肥料・堆肥適正施用技術が検討され、播種前の土壌無機態窒素量に応じて肥料および堆肥の施用量を決定する基準が作成された(杉田ら, 2007)。ハウレンソウの下層土中窒素の利用特性に基づき、作土層に加えて下層土の残存窒素を評価した施肥改善を行い、硝酸イオン濃度を低下させる技術が開発された(林・長尾, 2010)。ハウレンソウについて、早生品種は晩生品種より常に硝酸性濃度が高く、シュウ酸塩濃度は低く、拮抗的な生理機能を果たしていることが示唆された(北ら, 2010)。基肥のみによるハウレンソウの雨よけハウス土耕栽培において、硝酸塩とシュウ酸塩の両方を低減するには、シュウ酸塩濃度の低い早生品種を用い、減肥か栽培後期の灌水が有効である可能性が示された(上西, 2010)。夏秋ハウレンソウの雨よけハウス栽培にお

いて、1作目のみ耕起作業を行う年4作3回不耕起栽培における有機物の施用効果が検討された。牛ふん堆肥と油粕により慣行栽培と同等の収量・品質が得られるが、4年目以降は土壤診断に基づいて堆肥の施用量等を決定する必要があることが示唆された(延安・國田, 2010)。

施設内チンゲンサイ栽培における植物体硝酸イオン濃度は、施用する窒素形態や有機物の種類、肥効調節型肥料の育苗培土への混合等により低減できることが示された(松本ら, 2010)。施設内チンゲンサイ栽培における植物体硝酸イオン濃度は、外葉(旧葉)が最も高く、内葉(新葉)になるに従い急激に低くなること、栽培期間の延長により、葉色は淡くならず硝酸イオン濃度は低下し、アスコルビン酸および糖濃度が增加することが示された(大場ら, 2010)。チンゲンサイの雨よけハウス栽培における適正施肥量は、窒素で10 kg 10a<sup>-1</sup>、リン酸で夏作14 kg 10a<sup>-1</sup>、春・冬作20 kg 10a<sup>-1</sup>、カリで夏作10 kg 10a<sup>-1</sup>、春・冬作14 kg 10a<sup>-1</sup>が適当であること、可給態リン酸が80 mg 100 g<sup>-1</sup>以上あれば、リン酸無施肥栽培が可能であることが示された(本間ら, 2008)。

アスパラガスの窒素吸収特性が<sup>15</sup>Nにより調査され、春肥および3回の追肥による施肥窒素寄与率は50%前後で、残りは堆肥を含めた土壌由来窒素であると考えられた(上原ら, 2007)。秋田県のアスパラガス露地長期どり栽培における窒素持出し量が明らかにされ、施肥窒素利用率30%、目標収量1 t 10a<sup>-1</sup>以上としても、窒素施肥量は30~40 kg-N 10a<sup>-1</sup>で十分であることが明らかにされた(武田ら, 2007)。岩手県において、育苗に暖房経費を要せず低コスト生産が期待される促成伏せ込みアスパラガスの1年半株養成法のための秋・春の窒素施肥割合が検討された。秋肥の多肥は影響せず、春肥に30 kg-N 10a<sup>-1</sup>あるいは15 kg-N 10a<sup>-1</sup>を施せば比較的高い収量が認められた(佐藤, 2009a)。

冬春レタス栽培において、牛ふん堆肥を全層施用した上で基肥にペレット堆肥を1 t 10a<sup>-1</sup>全層施用することで、50%減化学肥料栽培が可能であることが示された(大森ら, 2008)。長崎県のレタス産地でのレタス結球部の硝酸含量が明らかにされた。また、硝化抑制剤入り肥料を用いた場合、肥料成分を40%減肥しても収量は慣行並みに維持でき、結球部の硝酸含量が低下すること、さらに慣行比20%窒素減肥し、その25~50%を鶏ふん堆肥で代替しても、収量は慣行並みに維持でき、結球部の硝酸含量が低下することが示された(大井ら, 2008)。レタス、リーフレタス、コマツナの冬穫り栽培において、モリブデンの葉面散布により作物体の硝酸態窒素濃度の低減が認められた(清水ら, 2007)。

霞ヶ浦用水を用いた葉菜類の露地栽培における点滴灌水施肥(養液土耕栽培)の効果を確認するため、その収量性、品質、施肥効率について現地実証も含めて検討された。春ハクサイ、レタス栽培において、養液土耕栽培により減肥が可能となること、収穫直前の給液を制御することで、可

食部の硝酸イオン濃度を低減させ、全糖、ビタミンC濃度を増加できることが明らかにされた(植田ら, 2009)。茨城県において、畑地かんがい施設を利用した養液土耕栽培の露地レタスおよびナスへの適応性が検討され、どちらも大幅な減肥が可能であることが示唆された(岸本・植田, 2009)。

硝化抑制剤入り肥料によりコマツナの生育が促進されること、現地でのシュンギク畑ではECが栽培後期まで維持されることが示された(山崎, 2009)コマツナ、ハクサイ、ホウレンソウ、レタスに塩化燐安を施用することで、作物体硝酸濃度の低減が確認された(長坂・加藤, 2008)。学校給食残さの一次発酵物、焼成鶏ふんおよびもみから牛ふん堆肥は、コマツナ、ホウレンソウ、ダイコン、ニンジン栽培で化学肥料の代替として有効であり、太陽熱消毒と0.8 mm防虫ネットの組み合わせによる有機栽培や特別栽培の可能性が示された(山崎・日高, 2007)。

低肥沃度土壌に施用された下水汚泥窒素のコマツナによる利用率が、間接的<sup>15</sup>N法で12.1%と評価され、化学肥料に対する肥効率は61.5%であることが示された(Asagi and Ueno, 2008)。<sup>13</sup>Cと<sup>15</sup>Nで標識されたトウモロコシ残差堆肥(MRC)を供試して、ダイコン、コマツナ、チンゲンサイの各3連作中の堆肥由来炭素と窒素の吸収量が明らかにされた。コマツナとチンゲンサイのMRC由来窒素利用率はそれぞれ1作目が7.3%、6.6%、2作目が2.7%、1.8%、3作目が2.3%、1.7%で、MRC炭素の吸収は、各作物で1作目と2作目ではある程度吸収されたが、3作目ではほとんど無かったことが報告された(Ebid *et al.*, 2008)。

アブラナ科野菜について、化学合成農薬、化学肥料を用いない栽培体系が構築され、キャベツ、ハクサイ、ダイコン、カブで、慣行栽培と同等の品質、収量が得られることが実証された(萩森, 2010)うね立て同時部分施用技術によるキャベツ作において、搬出部位の違いによって養分収支が異なることが明らかにされた。この部分施用法においては、結球部持出しで慣行施肥量の50%低減、全量または地上部持出しで30%低減が窒素収支から見て適正と判断された(三浦ら, 2007a; 三浦, 2009)。鹿児島県の慣行ハクサイ栽培において、最終追肥の遅れと早すぎる収穫は、収穫物の硝酸イオン濃度を高めることが明らかにされた(上蘭・餅田, 2007)。長年堆肥を投入してきた現地ハウスニラ栽培圃場(火山灰土壌)において、堆肥無施用、化成75%減肥でも、慣行施肥以上の収量が確保された(石井・河野, 2007b)。愛知県のシソの袋培地栽培においては、園芸試験場による園試処方よりもカリウムとカルシウムの比率を低くし、アンモニア態窒素の比率を高めた培養液組成が適していることが示されるとともに、株毎の窒素施肥量と土壌溶液中の電気伝導度の目安が示された(加藤ら, 2009)。

ホウレンソウの生長とリン栄養に及ぼす亜リン酸の影響が調査され、亜リン酸はその濃度に関わらずホウレンソウのリン栄養として利用されず、ホウレンソウの生育に対し

て何ら有益な効果を持たないことが示された (Thao *et al.*, 2008). 3種のレタス輪作体系において養分吸収体系が調査され、全体的にリン酸吸収割合が10~20%と低い理由は、施肥量が多いためと考えられた (山田ら, 2007).

北海道の露地野菜において、カリの土壌診断に基づき堆肥の施用量を判断し、堆肥で補えない窒素、リン酸、カリを各種有機質肥料で施用すれば、化学肥料栽培と同等の収量、養分吸収量が得られることが明らかにされた。また、有機物を重点的に利用する栽培に適する圃場は、土壌の粘土含量、腐植含量、ち密度から簡易に評価できることが示された (小野寺・中本, 2007b)。各種有機質資材の野菜類への影響が検討され、有機質資材の施用効果は地温の影響を受けること、化学肥料との併用は有機質資材の肥効を向上させること、野菜可食部の糖分は化学肥料区よりも高い傾向であることが示された (古畑ら, 2008)。肥料制限苗 (セル成型苗) に適した野菜品目が検討され、カリフラワー、キャベツ、ケール、コールラビが適していることが示された (米田ら, 2008)。施肥位置と施肥時期の改善、土壌窒素の評価に基づいた野菜栽培の窒素肥料低減化技術が開発された (山本, 2009)。寒締め栽培を導入した周年栽培で土壌養分が集積している実態と、それがホウレンソウの耐凍性と品質の低下を招く知見が紹介され、寒締め栽培を導入した周年栽培を持続するためには、土壌診断を充実させ、それに基づいた施肥管理が必要であることが解説された (金田, 2007a)。

#### 4) 根菜類の施肥法

溶出パターンの異なる被覆肥料を配合して、サトイモの窒素吸収量に適合した専用肥料を試作し、窒素の溶出特性などの基礎調査を行なうとともに、圃場条件下での窒素の溶出やサトイモの生育・収量等が検討された。この専用肥料を全量基肥として施肥することにより、硝酸態窒素の地下への溶脱を抑制しつつ、サトイモ栽培が可能と判断された (大森・松本, 2009)。基肥をベッド部に施用することにより、サトイモの早掘り栽培で40%の減肥が、普通掘り栽培では30%の減肥が可能であることが示された (猪野ら, 2007)。コカブの春どり、夏どり、秋どり栽培の基肥には速効性肥料が適し、トンネル冬どり栽培の基肥には緩効性肥料が適し、どの作型も追肥は不要であることが示された (斉藤ら, 2007b)。富山県において、窒素供給時期による早生大カブの根重に及ぼす影響が検討され、播種後1ヵ月以内の肥培管理による初期生育の確保が重要であること、被覆尿素肥料により減肥が可能であることが明らかにされた (沼田, 2007)。根ショウガ栽培において、基肥に被覆肥料を用いた局所施肥により追肥を省略でき、窒素施用量を11 kg 10a<sup>-1</sup>としても目標収量が得られることが示された (高野ら, 2007)。ニンジン栽培において、窒素量を1/2~1/3に減肥したマルチ内施肥は、慣行の全面全層施肥と比べて同等の収量が得られ、浸透溶脱抑制ができることが示された (大塚ら, 2007)。冬どりダイコンの根部硝酸イオン濃度は、追肥窒素量の減少で低下し、基肥の種類 (ぼかし、化

成肥料) や収穫の時間帯 (朝・昼・晩) の影響はないことが示された (岡本, 2008)。3品種のヤーコンについて、窒素施用量による収量や裂開度への影響はないことが示された (曾我部, 2010)。福島県におけるヤーコンの芋収量および内容成分含量の安定性を考慮すれば、化学肥料体系では窒素施用量 25 kg 10a<sup>-1</sup>、有機質肥料体系では窒素施用量 15 kg 10a<sup>-1</sup>程度が適しており、有機質肥料体系と化学肥料体系で収量や機能性成分含量に大きな違いがないことが明らかにされた (太田, 2007a)。

#### 5) 果菜類の施肥法

マルチの有無および土性の異なる転作野菜栽培において、被覆尿素を深層施用することで溶出する窒素の硝酸化成を抑える効果が期待できることが示された。また、既存の窒素溶出推定法は、エダマメおよびブロッコリー栽培で深層施肥されたシグモイド型被覆尿素的窒素溶出推定に適用できることが明らかにされた (南雲ら, 2008)。山形県においてエダマメの培土期 (第6葉期) における被覆尿素および硫酸加里の追肥が検討され、被覆尿素 4 kg-N 10a<sup>-1</sup> で収量と品質が向上し、硫酸加里 4 kg-K<sub>2</sub>O 10a<sup>-1</sup> で品質が向上することが示された (五十嵐ら, 2007)。トマト栽培において、肥効調節型肥料を用いた育苗鉢内全量施肥法が検討された。その結果、基肥・追肥労力の省力とともに、基肥窒素量を20%低減しても慣行と同等かそれ以上の収量が得られ、品質にも違いが見られないことが明らかにされた (小杉ら, 2007)。沖縄県のスイートコーン栽培において、70日リニア型被覆尿素肥料を全量基肥で用いることで、2~3割減肥しても農家慣行区と同等以上の収量が得られることが示された (比嘉ら, 2008)。福岡県のイチゴ「あまおう」の早期作型において、シグモイド型被覆尿素を用いたあまおう専用肥料を窒素成分で12 kg 10a<sup>-1</sup> 施用することで、年内収量が確保でき、1~2月収量も高くなることが示された (水上・小田原, 2007)。和歌山県の促成エンドウ栽培において、被覆肥料100日タイプと速効性肥料を全量基肥施用することで、窒素施用量は2~3割低減でき、追肥も省略できることが示された (森下・藪野, 2007)。抑制キュウリ栽培において、70日シグモイド型被覆磷硝安加里肥料を植穴土壌混和施肥することで、収量は2割増加し施肥窒素量は3割低減できることが示された (川崎ら, 2008)。

ロックワールシステムによるナス栽培での培養液中マグネシウムとカリウム濃度を改善することにより、マグネシウム欠乏による黄化葉の発生を軽減できることが明らかにされた (飯田, 2007)。半促成ナス少量土壌培地耕において、培養液濃度を山崎処方ナス用の2/3~4/3単位で管理することで、土耕と同等以上の収量が得られることが示された (足立ら, 2007)。福岡県における促成ナス (穂木「筑陽」、台木「トレロ」) の、養液土耕栽培における適正葉柄汁液中硝酸イオン濃度は10,000~12,000 mg L<sup>-1</sup>であり、土壌中硝酸態窒素含量の下限值は30 mg kg<sup>-1</sup>、上限値は60 mg kg<sup>-1</sup>であることが示された (満田ら, 2008)。果菜類 (ナス、トマト、イチゴ) の点滴かん水栽培での窒素動態と栽培条

件が検討され、圃場に応じた施肥管理が必要なことが提言された(満田, 2008). ナスのトンネル早熟栽培において、養液土耕、簡易養液土耕で栽培することで、慣行の施肥窒素の約60%,  $41 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ に減肥しても、慣行と同等以上の収量が得られることが示された(南山・田中, 2009). 京都における露地ナス栽培において、牛ふん堆肥とバーク堆肥の条施肥と養液土耕を組み合わせることで、収量が46%増加、硝酸態窒素は43%減少することが示された(田中, 2008).

溶液栽培の一種である固形培地耕において、排液をすべて培養液に混入して再利用を繰り返すことにより、作物に供給される培養液中の養分濃度および組成は理論上、作物にとって適切な値に収束していくことが明らかにされた(笠原ら, 2009). トマトの湛水水耕、循環式ロックウール耕の両方式において、培養液濃度を維持することなく、週に1回の施肥で、従来のEC濃度を維持する管理法と同等の収量が得られることが明らかにされた(村松, 2009). 水稲育苗後の遊休ハウスを活用し、野菜を生産する簡易型養液栽培装置が開発され、トマト、キュウリ、メロンについてその実用性が実証された(松田, 2010). 給液回数を増やしたトマトの養液土耕栽培で、70%減肥できることが示された(荒木, 2007). イオウ欠乏が出やすい隔離床トマト生産における養液栽培肥料として、硫黄を含んだ隔離床用肥料が開発された(藤村・松崎, 2007). 種類の異なる肥料、有機質資材をトマトに施用し、 $\delta^{15}\text{N}$ 値からトマトが吸収した各肥料、資材の窒素量が推定され、灌水同時施肥が効果的な施肥法であることが示された(Nakano and Uehara, 2007). トマト固形培地耕での無機成分の量的施用法が検討され、8日ごとに半量、基準量、倍量施肥とした場合、いずれも茎径を10mm程度とすることができたが、倍量区では根への塩類ストレスにより茎径が10mm程度になったと考えられた(漆山・岩崎, 2007). 養液栽培における肥料成分の量的管理法の研究の現状と可能性が解説された(中野, 2007). トマトの養液栽培における有機培地の種類や位置づけ、残渣の処理方法が解説された(中野, 2008a). トマト養液栽培における培養液管理の現状と問題点が、海外と比較しながら解説された(中野, 2008b).

北海道で最も栽培されている高設・夏秋どりイチゴ品種「エッチェス-138」において、生産安定化のための養液の窒素管理法および窒素栄養診断法が確立された. 生育ステージを5時期に分け、各ステージ毎の養液窒素管理基準および葉柄硝酸濃度を指標とする窒素栄養診断基準値の活用により、収穫期途中での収量減少が緩和され、安定生産が可能になることが報告された(日笠ら, 2009). 養液濃度が夏秋どりイチゴ「なつあかり」の高設栽培における収量、品質に及ぼす影響が検討され、養液ECは $0.6 \text{ dS m}^{-1}$ が $0.8 \text{ dS m}^{-1}$ より適していることが明らかにされた(細田・岩瀬, 2010). 露地キュウリ栽培において、養液土耕栽培は慣行より30%程度窒素施用量を減らしても慣行と同等の収量を得ることができ、同等の窒素施用量では15%程度増収す

ると推定された(福田・松本, 2007).

トマト接ぎ木栽培では、汁液栄養診断に基づく追肥によって、生育、収量、品質は低下させずに、総施肥窒素量を21~25%減肥できることが報告された(山本・松丸, 2007). ハウス夏秋どりトマトの全量有機質資材施用による無化学肥料栽培指針が作成された(八木ら, 2008). 隔離床栽培において、リン酸供給力が異なる土壌でのトマトの養分吸収特性が検討され、特に施設栽培で散見されるマグネシウム欠乏症は、リン酸過剰土壌(トルオーグリン酸 $3,000 \text{ mg-P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 程度)におけるトマトのリン酸吸収量増加によるマグネシウム吸収抑制と体内移行性低下による可能性が示された(小宮山ら, 2009). 米ぬかを使用した土壌還元消毒による窒素量の変化と、消毒後の早熟トマト栽培における窒素減肥量が検討された. 基肥を $7 \text{ kg-N } 10\text{a}^{-1}$ 減らした場合に商品収量が最も高くなり、土壌の可給態窒素と無機態窒素には大幅な増加は見られないことが示された(塩野ら, 2010). 「防根給水ひも」栽培装置による秋冬期の中玉トマト「レッドオーレ」7段階心栽培法が検討され、みかけの窒素利用率は125%以上と高く、60L培地で7段階栽培が可能となることが示された(梶田ら, 2010).

イチゴの高設栽培における昇温抑制技術とともに施肥時期が連続出蕾性に及ぼす影響が検討された. 花芽分化前の株への窒素供給は、花芽分化、出蕾を遅らせるが、花芽分化後では出蕾、開花が早く、その後の花房の発達が良好になること、温度依存性のある緩効性肥料では、高温により花芽分化前の窒素供給を制限できず、窒素過多により花芽分化と出蕾が遅れることが示された(山崎ら, 2007b). イチゴ「アスカルビー」のベンチ無仮植移植において、もみながら80%・ピートモス20%混合培地とおがくず培地では施肥量が多いほど発生子苗数が増加するが、上部やしがら80%、下部もみながら80%の培地では、施肥量の影響はないことが示された(西本ら, 2007).

砂丘畑において、鶏ふんモミガラ堆肥の連用により各種養分が土壌中に蓄積され、特に窒素肥沃度が高まることにより、メロンの生育が旺盛となり増収することが明らかにされた. これにより、可給態窒素に応じた減肥の可能性が示唆された(伊藤・富樫, 2010). アールスメロンの連作において、土壌残存窒素、交換性カリウム、堆肥由来養分量を考慮することにより、養分が集積しにくい養分管理マニュアルが作成された(水上・歌野, 2009). メロンに対する土壌のケイ酸供給量が湛水保温静置法で評価できること、ケイ酸資材の施用で生育が後半まで維持され、果実糖度が高まることが明らかにされた(中村ら, 2007).

ライシメーターでのスイートコーンおよびダイコン栽培において、低硫酸根緩効性肥料を用いることで、CDU化成栽培と同等の収量が得られ、浸透水中の硝酸態窒素の溶脱が抑制できることが推察された(山崎ら, 2007a). 非アロフェン質黒ボク土において、スイートコーンに対する定植前リン施用法の効果が検討され、可給態リン含量の低い(トルオーグ法で $97 \text{ mg-P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ )場合には、その効果

が大きいことが明らかにされた(柿坂ら, 2007)。

ナス露地栽培において、耕起法、肥料の種類、緑肥間作、育成系統を変えて栽培を行った結果、合計収量は不耕起および有機質肥料で約2割多く、果実の窒素安定同位比は、7月から10月の収穫期の有機質肥料区で化学肥料区より高いことが示された(藤田ら, 2009)。<sup>15</sup>N標識窒素によりキュウリ栽培における窒素の吸収と移行が調査され、収穫果実に含まれる窒素の約50%が開花後に吸収された窒素であることが明らかにされた(種村, 2010)。岩手県において、従来の果菜類の作業体系をかえずに、化学肥料の窒素成分を低減する施肥技術が検討された。有機態窒素50%配合肥料の基肥と有機液肥の追肥により、化学肥料の窒素成分を6~7割低減すると約1割減収することが示された。また、牛ふん粒殻堆肥または豚ふん堆肥を基肥とし、化学肥料の液肥で追肥することにより、牛ふん堆肥では4~5割、豚ふん堆肥では7割化学肥料窒素を低減しても、対照区なみの収量が得られることが示された(鈴木ら, 2008)。野菜施設土壌に大量に蓄積している硫酸カルシウムの影響を見るために、硫酸カルシウムの多量施用が行われ、トマトでは収量低下や尻腐れ果率の増加が認められたが、他の野菜(キュウリ、ブロッコリー、ハクサイ、ダイコン、コカブ、レタス、コマツナ、チンゲンサイ)では、生育・収量への影響は小さいことが示された(長坂ら, 2007)。

## 6) 果樹の施肥法

超早期加温栽培「デラウェア」において、葉柄汁液を用いた窒素栄養診断法が検討された。デラウェアの葉柄汁液中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度を測定する場合の簡便な試料調製法は、2~5mmに細断した葉柄切片に純水を加え、24時間浸漬した後、その上澄み液を用いること、開花期における葉柄汁液を用いた窒素栄養診断には、第4~6葉の葉柄を用いることが有効と判断された。また、超早期加温デラウェアの開花期における葉柄汁液中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の適正範囲は、200mg L<sup>-1</sup>~800mg L<sup>-1</sup>であることが報告された(藤本, 2010)。栃木県においてブドウの盛土式根圏制御栽培法が開発された。本栽培法における窒素施肥量、液肥または180日タイプの肥効調節型肥料を用いた窒素施肥法、リン酸、カリ、カルシウム、マグネシウム、微量元素の施肥量が示された(金原, 2008)。

目標収量2t 10a<sup>-1</sup>の露地「不知火」栽培において、肥効調節型肥料を20.5kg-N 10a<sup>-1</sup>施用することで、収量・品質・樹勢が維持され、硝酸態窒素の下層への溶脱が減ることが明らかにされた(柿内ら, 2008)。静岡県佐鳴湖周辺のカンキツ栽培の環境への影響を調べたところ、佐鳴湖への影響は小さいと考えられた。また「不知火」栽培において、被覆肥料を用いることにより、慣行窒素の29%に減肥が可能と考えられた(吉川ら, 2009)。極早生ウンシュウ「広島果研7号」の着色時期を早め、糖度の高い果実を9月に出荷するためには、標準量の窒素を春秋分施することが必要と考えられた(中元ら, 2007; 中元・長谷川, 2008)。温州ミカンの葉中無機成分の推移、および隔年結果と根中デ

ンプン含有率との関係が検討され、窒素とデンプンを現場で短時間に精度よく分析できる簡易法が考案された(杉山, 2009a)。温州ミカン栽培における周年マルチ点滴かん水同時施肥法が開発された。その導入により果実の高品質化が図られるとともに、施肥、中耕・除草、収穫作業における省力・軽労化が図られた(草場, 2010)。点滴かん水施設を利用し、液肥で極早生温州ミカンを栽培することが可能であり、慣行施肥と比較して同程度の果実品質、収量を期待できることが示された(須崎, 2009)。愛知県で開発された温州ミカン専用春肥重視型の全量施肥配合肥料を11月に施用すると、年間窒素施用量を20%低減しても、樹冠容積、収量、果実品質、葉内窒素は慣行に比べて差はなく、施肥の省力化と施肥量低減が可能であると考えられた(栗田, 2009)。カンキツ園における施肥窒素の利用率の向上と労働力負担の低減のために、草生栽培、葉面散布、春肥、肥効調節型肥料等を利用した省力施肥が検討された(石川, 2010)。静岡県のカンキツ園で可給態リン酸とカリが蓄積している実態と、土壌診断に基づいた減肥技術が紹介された(杉山, 2009b)。

秋田県において、堆肥利用による減肥栽培下のリンゴ苗木の養分吸収量が検討され、施肥窒素量の50%を堆肥で代替しても、養分吸収量は化学肥料全量施用とほぼ同等~やや多く、20%まで化学肥料を低減した場合には、生育量と同様に養分吸収量も劣ることが認められた(佐藤・中澤, 2007)。秋田県のわい性台リンゴ幼木樹の樹体生育に及ぼす土壌窒素および窒素施肥法の影響と今後の課題が解説された(佐藤, 2008c)。青森県のわい性台リンゴ樹において、窒素およびカリ施肥量の影響は葉中成分には比較的明瞭に表れるが、生育および収量に対する影響は比較的小さいことが示された。特に、カリ施肥の影響は果実品質も含めて小さいと考えられた(坂本ら, 2009)。青森県のリンゴ栽培において、カリの施肥基準を5kg 10a<sup>-1</sup>に半減した経緯と施肥量低減の影響が紹介された(坂本, 2009)。

せん孔処理の穴にパーライトを充填することで、ナシの根量が増大し、摘果期における果径の肥大効果が示された(松浦ら, 2008a)。長野県において、ナシ「幸水」成木樹に対し、窒素施肥量を50%低減することを目標として、肥効調節型肥料を用いた局所施肥法が検討された。2つの局所施肥(部分深耕施肥、表面局所施肥)で窒素施肥量を慣行栽培の50%に低減しても、果実収量、品質、樹体生育等を慣行と同等に維持しつつ、環境負荷が軽減可能と考えられた(塩原, 2009)。石川県において開発された日本ナシの高うね式根域制限養液土耕栽培法の特徴、養水分の管理法、その効果が紹介された(松田, 2009)。山形県における西洋ナシ「ラ・フランス」に対する施肥法が紹介された。秋に全量基肥施用し、春施肥は原則行わずに補完的な施肥とすること、夏施肥は行わないことが示された(佐藤, 2008a)。

カキの生育期の重点施肥により、葉の窒素含有率は高くなるが果実収量は減少すること、施肥量を半分にして樹の生育期に重点施肥しても果実収量は低下し、隔年結果が強

く現れることが示された(坂川ら, 2009). 寒冷地におけるモモの施肥法が検討され, 樹体の生育促進には春肥と秋肥の組合せが有効で, 春肥重点施肥法は生育の衰えやすい寒冷地積雪地帯に適していると考えられた(船山, 2007). ウメ栽培において, 牛ふん糞堆肥や礼肥を局所施用することにより, 土壤物理性が改善され, 根量が増加し, 窒素流出も低減することが示された(神田, 2009). 12月に加温を開始するハウスイチジクのコンテナ栽培に適する液肥の窒素量と着果開始期から摘心期までの施肥割合を増加させることで, 均等施肥よりも結果枝上位節での着果率が向上し, 増収することが明らかにされた(鬼頭, 2007).

### 7) 茶の施肥法

年間窒素施用量が  $50 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  の福岡県の煎茶園において, 春肥や芽出し肥の割合を高くした春季重点型施肥体系は, 収量, 品質に優れることが示された(堺田・吉岡, 2007). 窒素施用量  $50 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  の玉露園において, 春肥重点型の施肥体系が品質に優れるとともに多収傾向であり, 施肥窒素の一番茶への寄与率も, 春肥重点区や芽出し肥重点区で高いことが示された(堺田・吉岡, 2008). 年間窒素  $50 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  の玉露園において, 点滴施肥はうね間土壤の無機態窒素を低く保ち, 収量も慣行と同程度で, 荒茶遊離アミノ酸含有率は, 玉露, 二番茶で10%以上高く, 官能評価は同等以上であることが示された(中園ら, 2010). 養液栽培を利用した茶のポット育苗では, ベーパーポット苗より優れた生育が示された(近藤, 2007).

茶5品種の少肥栽培適応性が5ヶ年調査され, 施肥量低減に伴っていずれの区でも摘芽重, 全窒素含有率の低下が認められたが, 「ふうしゅん」で一番茶摘芽重の減少程度が小さいことが示された(近藤, 2008). 樹齢が異なる茶において, 年間施肥量の影響が調査され, 土壤の種類に関わらず, 年間収量  $1,000 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  程度の茶園における年間窒素施肥量は,  $20 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  で十分と考えられた(矢野ら, 2010). 細粒褐色森林土壌において, 定植時から有機配合肥料を用い, 20茶品種・系統の窒素施肥量適応性の検討が行われ,  $30 \text{ kg-N } 10\text{a}^{-1}$  施肥にすると一番茶収量への影響はないが二番茶収量が低下し, 施肥低減により一番茶荒茶成分の全窒素, 遊離アミノ酸等が減少し, タンニンが増加する傾向が認められた(西澤ら, 2008). 慣行の春・秋肥を比較的多量の堆肥表面施用に置き換えることは, 土壤の理化学性を改善し, 新根の促進を図る上で有効な管理法であると推察された(廣瀬ら, 2010). 家畜ふん堆肥, 家畜ふんペレット堆肥は, 秋肥窒素のみに代替利用できることが示された(三浦ら, 2007b). 静岡県佐鳴湖周辺の茶園栽培面積の変遷と窒素収支が明らかにされた(松浦ら, 2009).

茶栽培において施肥量低減が求められる背景や茶園での窒素収支, 施肥低減技術が概説され, 慣行のうね間施肥よりも硫安の利用効率が30%以上向上する広幅施肥が紹介された(野中, 2009). 鹿児島県の茶園における施肥位置改善による効率的施肥法である樹冠下施肥法と深層施肥法が紹介された(三浦, 2007a). 愛知県で開発された減肥, 高

収量, 高品質を可能とするてん茶の樹冠下点滴施肥栽培技術が紹介された(白井, 2007).

### 8) 花きの施肥法

トルコギキョウ養液栽培において, 牛ふん堆肥施用と深耕を組み合わせた土壤改善処理により, 通気性, 透水性など土壤物理性が改善され, 切り花長は, 砂壌質土では多灌水が, 強粘質土では少灌水が優れることが示された(甲谷・末留, 2007). トルコギキョウの季咲き出荷作型において, 慣行より施肥量, 灌水量を減らした養液土耕で生育が旺盛になり, 切り花長, 切り花重が増加することが示された(末留ら, 2007). トルコギキョウ, スプレーストックの切り花栽培を少量土壌培地耕で行った結果, 養液土耕より採花時期が早まり, 草姿は短く細くなり, 花持ちがよくなることが示された(村木ら, 2008).

バラ養液栽培において, 底面給液を用いた間欠給液を行うことにより, 給液窒素量を慣行の1/3にしても収量に差が出ないことが明らかにされた(佐藤, 2009b). 土壤還元可能なボラ土培地における, バラ循環型養液栽培の給液量とECでの管理方法が提案された(中野ら, 2007). ガーベラ養液栽培において, 1日に必要な給液量を数回に分けて給液し, 給液ECを  $1.0 \sim 1.3 \text{ dS m}^{-1}$  で管理すると, 商品花収量や切花品質が良好となることが明らかにされた(佐々木ら, 2007). 秋輪ギク「神馬」の灌水同時施肥栽培において, 切花品質が優れる窒素吸収量は  $25 \text{ g m}^{-2}$  ( $390 \text{ mg 株}^{-1}$ ) であることが示された(井上ら, 2008a).

チューリップ球根栽培の新たな肥効調節型肥料が開発され, 全層施肥や上層施肥と組み合わせることで, 慣行の4~6割の窒素施肥量で栽培が可能であることが示された(井上ら, 2008b). 花壇苗に対する塩化ナトリウム液の灌水の影響が調査され, 濃度1.5%で生育障害が生じるが, 0.3~0.6%では生育障害は起こらず, 乾燥に対する萎凋を効果的に遅延できることが示された(前田ら, 2008). パンジーの生育は, ピートモス比率の高い生産用培土で促進され, プリムラの生育, 開花数は, ピートモス比率の低い培土で向上することが示された(石川・山中, 2008).  $1 \text{ g}, 1.5 \text{ g}$  を容易に計量施肥できる鉢花用スライド式施肥器が開発された(須田, 2007).

### 9) 飼料作物, 緑化植物の施肥法

北海道において, 乳牛ふん尿処理物の肥効評価に基づくチモシー草地の施肥法が開発された(松本, 2008). 草地造成時は, 化学肥料を用いず堆肥のみで必要成分量を施用しても, 利用年における施肥が適当であれば牧草収量は低下せず, 飼料成分にも大きな影響を与えないことが明らかにされた. また, 利用年における堆肥施用については, 前年晩秋にカリ成分量を堆肥で施用し, 利用当年に不足する成分を化学肥料で施用することにより, 慣行栽培と同程度の収量が確保できるが, 必要肥料成分全量を堆肥で施用した場合は, 牧草中カリウム含量が上昇し, 減収することが示された(佐藤ら, 2010b).

飼料畑において,  $5 \text{ t } 10\text{a}^{-1}$  以上の牛ふんと鶏ふんからなる

家畜ふん堆肥の施用は、地下水の硝酸態窒素が100 cm深でも10 mg L<sup>-1</sup>を超える時期があったことなどから、過剰な施肥量と考えられた(大津ら, 2010)。岩手県において、家畜ふん尿の固液分離後の液分を爆気処理した液状コンポストの成分含量とその季節変動等が明らかにされ、その牧草、飼料用トウモロコシに対する施用法が示された(松浦ら, 2008b)。

沖縄県の塩類集積土壌におけるクリーニングクロープ用ギニアグラスの生育特性や除塩効果が検討された。ギニアグラスは高温下で生育が可能で、多肥区において、硝酸態窒素、カリウムなどの肥料成分の除去効果が認められた。また、ギニアグラスは緑肥あるいは牧草として利用できることが報告された(金城ら, 2007)。

北海道で水田畦畔に適したアレロパシー活性が高いグラウンドカバープランツが選抜され、現地試験が実施された(生方, 2008)。ビルの屋上等に置くマット植物の施肥法として、培養土に混入した緩効性、ク溶性肥料を用い、追肥は、速効性の化成肥料や油粕等の有機質肥料を用いる方法が紹介された(柴田, 2007)。

#### 10) 適正施肥のための土壌診断と施肥支援システム

畑土壌から煮沸浸出した有機態窒素を、ベルオキソ二硫酸カリウム分解して生成した硝酸態窒素量から、可給態窒素含量推定する方法が確立された(八槇, 2008, 2009)。野菜畑を対象に、有機栽培土壌の有機物分解能を反映した窒素肥沃度の指標として、熱水抽出性窒素の簡易分析法が提案された(中辻ら, 2008)。ビニール袋内の飽水土壌から土壌溶液採取用セラミック管により土壌溶液を採取し、RQフレックス法で硝酸態窒素を測定する方法は、圃場から採取した土壌の水分を考慮しなくてよく、天秤、乾燥機、ガラス器具などを必要とせず、現場での簡易測定が可能な分析法であることが報告された(建部ら, 2009)。乾式灰化-塩酸抽出法により、土壌全リン酸含量を簡易にかつ精度良く測定できることが明らかにされた。また、蛍光X線(XRF)による土壌全リン酸含量測定法の精度向上の可能性が示唆された(小宮山ら, 2009c)。土壌の熱水可溶性ホウ素のクルクミンシュウ酸法による測定では、塩酸添加により545 nm付近の吸収ピークが明瞭になり、分析精度が向上することが明らかにされた(秋友ら, 2007b)。土壌から中性リン酸緩衝液で抽出される有機態物質の特性が、電気泳動と限外濾過膜による濃縮や分画により検討された。その結果、抽出物は負電荷を持つ多様な分子量の物質の混合物であり、腐植物質の一種であることが推察された(Watanabe and Yoshikawa, 2007)。

北海道のハウス土壌を対象に、深さ1 mまでの層位別に無機養分、とくに硝酸態窒素の残存実態と栽培管理方法との関係が検討されるとともに、ハウス栽培における下層土診断法の有効性が検討された。雨や雪による溶脱の少ない条件で深根性の果菜類を栽培する場合には下層土の硝酸態窒素を評価すること、また寒冷地においては作土の可給態窒素を評価することが、適正な施肥量を決定する上で重要

であることが明らかにされた(林ら, 2009)。北海道で開発された産業用無人ヘリコプタによる圃場の土壌窒素供給能の精密把握と可変施肥システムについて紹介された(野口ら, 2009)。滋賀県における平成11年度から平成15年度の地力調査において、水田での総施肥量は減少したものの生産力は低下していないこと、畑地および樹園地では、土壌群や地目の違いによって土壌理化学性の特徴が大きく異なることが示された(堀田ら, 2010)。

各種有機質肥料のリン酸を中心とする主要成分の養分供給特性が明らかにされ、露地野菜の養分を堆肥や各種有機質肥料の組み合わせにより供給する無化学肥料栽培のための施肥法の手順が提案され、有機農業や特別栽培、環境保全型農業(たとえば、北海道におけるクリーン農業)等に活用できることが報告された(小野寺・中本, 2007a)。乳牛の排泄ふん尿に由来する堆肥や尿液肥、フリーストール牛舎などで生産されるふん尿混合物などを適正に利用するためのパソコン用ソフトウェア「AMAFE」について解説され、その留意点が報告された(松中ら, 2009)。山形県において、堆肥の肥効特性を簡易に把握できる堆肥施用支援システムと土づくり支援システムが開発された(斉藤・森岡, 2010)。群馬県において開発された堆肥施用量計算ソフトに基づいた堆肥利用によって、畑土壌における表層からの硝酸態窒素の溶脱を低減し、深層までの硝酸態窒素量に関しても化学肥料単用以下に制御可能であることが示唆された(庄司ら, 2007)。岡山県の水田における牛ふん堆肥の肥効と連用効果が解明され、堆肥に含まれる窒素の肥料的効果と連用効果を考慮した施肥設計を行うための耕畜連携施肥設計ソフトが開発された(芝, 2008)。熊本県において、同一圃場でアールスメロンが連作される場合、前作の跡地土壌に残存する無機態窒素や交換性カリウムを把握し、堆肥や化学肥料に由来する養分量を肥効率に基づいて施用する診断カルテによる施肥法が開発された(郡司掛, 2008)。鹿児島県における農耕地土壌の現状・問題点と、家畜ふん堆肥を利用し、土壌診断と養分収支に基づく施肥法の考え方が紹介された(餅田, 2009)。奄美群島の土壌特性が明らかにされ、それに応じた適切な土壌管理技術が提言された(古江, 2009)。土づくりと営農を組み合わせた施肥改善について、多方面から知見の紹介、解説がされた(日本土壌協会編, 2009)。

都道府県の施肥基準値、堆肥の施用基準値並びに作物収穫物の含有率がデータベース化された。施肥基準の全国平均値を用い、我が国の肥料成分の需要量を概算したところ、窒素、リン酸、カリはそれぞれ465千トン、468千トン、531千トンであり、化学肥料の肥料用内需に対してそれぞれ99%、101%、148%に相当した(金澤, 2009)。

#### 文 献

- 足立芳浩・中村嘉孝・谿 英則 2007. 滋賀農技セ研報, 46, 1.  
秋友 勝・本名俊正・増永二之・藤山英保 2007a. 土肥誌, 78, 269.  
秋友 勝・本名俊正・増永二之・藤山英保 2007b. 同上, 78, 507.

- Amkha, S., Sakamoto, A., Tachibana, M., and Inubushi, K. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 772.
- 青沼伸一・小林靖夫 2007. 農業および園芸, 82, 1273.
- 荒川祐介 2007. 季刊肥料, 108, 89.
- 荒川祐介・田中章浩・原口暢朗・草場 敬・薬師堂謙一・山田一郎 2010. 土肥誌, 81, 153.
- 荒木 肇 2010. 農業および園芸, 85, 155.
- 荒木雅登・山本富三・小山 太・満田幸恵 2007. 福岡農総誌研報, 26, 31.
- 荒木陽一 2007. 農業および園芸, 82, 475.
- 荒巻幸一郎・荒木雅登・兼子 明・満田幸恵 2009. 福岡農総誌研報, 28, 31.
- 荒巻幸一郎・山本富三・小山 太・渡邊敏朗・荒木雅登・満田幸恵 2007. 同上, 26, 35.
- 有吉真知子・平田俊昭 2010. 山口農技セ研報, 1, 11.
- Asagi, N., and Ueno, H. 2008. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 1928.
- 浅木直美・上野秀人 2008. 日作紀, 78, 27.
- Asagi, N., and Ueno, H. 2009. *Plant Soil*, DOI 10.1007/s11104-009-9913-4.
- 辺嘉賓・諸隈正裕・塩津文隆・豊田正範・楠谷彰人 2010. 日作紀, 79, 251.
- Chang, E.H., Chung, R.S., and Wang, F.N. 2008. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 54, 587.
- 千田 洋・神崎正明 2010. 東北農業研究, 63, 63.
- 千田 洋・神崎正明・滝澤浩幸 2008. 同上, 61, 39.
- 出口 新 2008. 農業および園芸, 83, 353.
- 江波戸宗大・栗原三枝 2009. 土肥誌, 80, 233.
- Ebid, A., Ueno, H., Ghoneim, A., and Asagi, N. 2008. *Plant Soil*, 304, 241.
- 江上宗信・木田義信・濱名健雄・佐々木園子 2009. 東北農業研究, 62, 31.
- 笛木伸彦 2008. 北海道立農試報告, 120, 76.
- 藤川智紀・中村真人 2010. 土肥誌, 81, 240.
- 藤本順子 2010. 同上, 81, 125.
- 藤村耕一・松崎朝浩 2007. 農業および園芸, 82, 899.
- 藤田正雄・中川原敏雄・藤山静雄 2009. 同上, 84, 9.
- 藤谷泰裕・坂口和歌子・高井雄一朗 2007. 大阪食とみどり技研報, 43, 13.
- 藤原菜世・浦田 遙・平井英行・片山勝之・細川 寿・岩本 嗣・高橋能彦 2009. 土肥誌, 80, 387.
- Fujiwara, T., Murakami, K., Tanahashi, T., and Oyanagi, W. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 170.
- 福田康彦・松本英樹 2007. 農業および園芸, 82, 770.
- 福本泰之 2009. 同上, 84, 164.
- 船山瑞樹 2007. 東北農業研究, 60, 115.
- 古江広治 2009. 鹿児島農総セ研報 (耕種), 3, 147.
- 古畑 哲・五十嵐孝典・柏倉文夫 2008. 季刊肥料, 110, 69.
- 古谷 修・古川智子・小堤恭平・山本朱美・長峰孝文・小川雄比古 2007. 土肥誌, 78, 511.
- Gichangi, E.M., Mkeni, P.N.S., and Brookes, P.C. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 764.
- Gichangi, E.M., Mkeni, P.N.S., and Brookes, P.C. 2010. *ibid.*, 56, 853.
- 後藤英次 2007. 北海道立農試報告, 116, 1.
- 郡司掛則昭 2008. 圃場と土壌, 41, 25.
- 郡司掛則昭 2009. 農業および園芸, 84, 895.
- 萩森 学 2010. 同上, 85, 744.
- 羽生友治 2007. 季刊肥料, 106, 61.
- 原 嘉隆 2010. 農業および園芸, 85, 723.
- 原田久富美 2008. 圃場と土壌, 42, 62.
- 原田靖生 2009. 季刊肥料, 112, 8.
- 長谷川和久 2008. 農業および園芸, 83, 443.
- 蓮川博之・柴原藤善・駒井佐知子・水谷 智・大林博幸・藤井吉隆・須戸 幹 2009. 滋賀農技セ研報, 48, 1.
- 畑 直樹・村上賢治・榊田正治・秋庭英治・太田靖子 2007. 農業および園芸, 82, 1295.
- 早瀬達郎 2009. 農業技術, 64, 491.
- 林 哲央・日笠祐治・坂本宣崇 2009. 土肥誌, 80, 14.
- 林 哲央・長尾明宣 2010. 同上, 81, 263.
- 平内央紀・三枝正彦・佐藤 健・原田典明 2007. 同上, 78, 157.
- 比嘉明美・眞境名元次・久場峯子 2008. 沖縄県農研セ研報, 1, 32.
- 日笠裕治・大宮 知・福川英司・中住晴彦 2009. 土肥誌, 80, 534.
- 広岡博之・石川哲也・草佳那子・石田元彦 2009. 日畜会報, 80, 17.
- 廣瀬友二・川村いづみ・平野 繁・名越時秀・玉井富士雄・元田義春・福山正隆 2010. 日作紀, 79, 431.
- 本間素子・須永文雄・庄司 正・小柴 守 2008. 群馬県農業技術センター研究報告, 5, 7.
- 本田善文 2010. 農業技術, 65, 403.
- 堀間久己・濱戸もえぎ 2009. 東北農業研究, 62, 93.
- 細田洋一・岩瀬利己 2010. 同上, 63, 151.
- 堀田 悟・園田敬太郎・武久邦彦・西堀康士・山田善彦 2010. 滋賀農技セ研報, 49, 33.
- 原口暢朗・荒川祐介・田中章浩・草場 敬・薬師堂謙一・山田一郎 2008. 土壌の物理性, 110, 37.
- 五十嵐美徳・今野 周・三浦憲三・青木和彦 2009. 山形農業研報, 1, 73.
- 飯田佳代 2007. 土肥誌, 78, 203.
- 猪野 誠・鈴木健司・斉藤研二 2007. 千葉農総研報, 6, 13.
- 井上宏美・金子英一・歌野裕子・三牧奈美・郡司掛則昭 2008a. 熊本県農業研究センター研究報告, 14, 82.
- 井上健一・桑代涼子 2007. 土肥誌, 78, 93.
- 井上徹彦・池川誠司・飯村成美 2008b. 農業および園芸, 83, 884.
- 石井 貴・河野 隆 2007a. 茨城県農業総合センター園芸研究所研究報告, 15, 29.
- 石井 貴・河野 隆 2007b. 同上, 15, 37.
- 石川順也・山中正仁 2008. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 [農業編], 56, 1.
- 石川 啓 2010. 愛媛果樹試験報, 2, 1.
- 伊藤政憲・富樫政博 2010. 土肥誌, 81, 387.
- 伊藤豊彰・小宮山鉄兵・三枝正彦・森岡幹夫 2010a. 同上, 81, 215.
- 伊藤千春・渋谷 岳・林 雅史 2010b. 東北農業研究, 63, 25.
- 伊藤千春・進藤勇人・原田久富美・渋谷 岳・小林ひとみ 2008. 同上, 61, 29.
- 岩佐博邦・山本二美・斉藤研二 2010. 土肥誌, 81, 248.
- 加治俊幸・長友 誠 2008. 鹿児島農総セ研報 (耕種), 2, 43.
- 柿坂雄一・菅野均志・南條正巳・渡邊和洋 2007. 土肥誌, 78, 395.
- 柿内俊輔・三角正俊・中島吉直 2008. 熊本県農業研究センター研究報告, 15, 34.
- 鎌田賢一 2007. 北農, 74, 2.
- 亀和田國彦 2008. 栃木県農試研報, 63, 27.
- 上西愛子 2010. 神奈川農技セ報, 152, 1.
- 金森伸彦・松森 信 2008. 熊本県農業研究センター研究報告, 15, 140.
- 金澤健二 2009. 中央農研研究報告, 12, 27.
- 神田美奈子 2009. 農業および園芸, 84, 546.
- 金原哲一 2008. 季刊肥料, 109, 51.
- 金子文宣 2009. 農業および園芸, 84, 144.
- 金本健志・谷本俊明・木村 (加藤) 淳子 2008. 広島総研農技セ研報, 83, 47.



- 金田吉弘 2007a. 季刊肥料, 107, 26.  
金田吉弘 2007b. 同上, 108, 96.  
金田吉弘・高橋大伍・坂口春菜・金和裕・高階史章・佐藤孝 2010. 土肥誌, 81, 504.  
神崎正明 2009. 農業および園芸, 84, 1121.  
神崎正明 2008. 東北農業研究, 61, 41.  
神崎正明・佐々木次郎 2010. 宮城古川農試報, 8, 1.  
笠原賢明・吉川弘恭・東出忠桐・伊吹俊彦 2009. 近中四農研報, 8, 91.  
糟谷真宏 2007. 愛知県農業試験報, 39, 83.  
加藤雅彦・林康人・森國博全 2008b. 土肥誌, 79, 283.  
加藤雅彦・林康人・森國博全 2010b. 同上, 81, 589.  
加藤雅彦・林康人・森國博全 2010a. 同上, 81, 31.  
加藤雅彦・林康人・田中福代・森國博全 2008a. 同上, 79, 163.  
加藤雅彦・小宮山鉄兵・藤澤英司・森國博全 2010c. 同上, 81, 367.  
加藤政司・菅沼健二・三浦広夫 2009. 愛知県農業試験報, 41, 157.  
河野隆 2008. 農業および園芸, 83, 860.  
川崎佳栄・西原基樹・横山明敏 2008. 同上, 83, 1179.  
菊地幹之・鈴木幸雄 2009. 東北農業研究, 62, 27.  
金城和俊・渡嘉敷義浩・鬼頭誠・志茂守孝 2007. 土肥誌, 78, 465.  
岸本明・植田稔宏 2009. 圃場と土壌, 41, 48.  
北宣裕・上西愛子・曾我綾香・吉田誠・北浦健生 2010. 神奈川農技セ報, 153, 49.  
北田敬字・島田義明 2008. 石川農研研報, 28, 19.  
鬼頭郁代 2007. 農業技術, 62, 30.  
鬼頭誠 2010. 農業および園芸, 85, 190.  
鬼頭誠・松岡寛之・近藤葉子・内田直次 2009. 土肥誌, 80, 487.  
小林浩幸・内田智子・島崎由美 2007. 農業および園芸, 82, 1267.  
小松崎将一 2010. 同上, 85, 169.  
小宮山鉄兵・藤澤英司・加藤雅彦・森國博全 2009a. 土肥誌, 80, 275.  
小宮山鉄兵・藤澤英司・新妻成一・加藤雅彦・森國博全 2009b. 同上, 80, 516.  
小宮山鉄兵・新妻成一・藤澤英司・森國博全 2009c. 同上, 79, 616.  
小宮山鉄兵・新妻成一・日高秀俊・森國博全 2010. 同上, 81, 48.  
金和裕 2007. 秋田農試研究報告, 47, 1.  
近藤知義 2007. 農業および園芸, 82, 1097.  
近藤知義 2008. 滋賀農技セ研報, 47, 1.  
越野正義 2008. 季刊肥料, 111, 44.  
小杉徹・中村仁美・若澤秀幸 2007. 土肥誌, 78, 207.  
甲谷潤・未留昇 2007. 京都府農業研究所研究報告, 27, 33.  
久保寺秀夫・山根剛・脇山恭行・荒川祐介 2009. 土肥誌, 80, 522.  
久保田幸男 2010. 農業および園芸, 85, 205.  
栗田恭伸 2009. 季刊肥料, 112, 62.  
草場新之助 2010. 農業技術, 65, 171.  
前忠彦 2007. 農業および園芸, 82, 1333.  
前田茂一・角川由加・仲照史 2008. 奈良農総セ研報, 39, 31.  
前川和正 2008. 農業技術, 63, 315.  
牧浩之・河野哲・永井耕介 2009. 土肥誌, 80, 257.  
榊田正治・恒川仰一・太田靖子 2010. 農業および園芸, 85, 1199.  
増田達明・鈴木良地・中谷洋・原田英雄 2009. 愛知県農業試験報, 41, 151.  
松田晃・山崎恭子・間藤徹 2007. 土肥誌, 78, 479.  
松田賢一 2009. 季刊肥料, 114, 55.  
松田眞一郎 2010. 滋賀農技セ研報, 49, 17.  
松森信・郡司掛則昭 2009. 熊本県農業研究センター研究報告, 17, 9.  
松本昌直・大須賀隆司・大場聖司・高橋和彦 2007. 静岡農試研報, 51, 26.  
松本聰 2009. 季刊肥料, 112, 9.  
松本武彦 2008. 北海道立農試報告, 121, 54.  
松村篤・大門弘幸 2010. 農業および園芸, 85, 161.  
松村修 2008. 同上, 83, 539.  
松中照夫・三枝俊哉・佐々木寛幸・松本武彦・神山和則・古館明洋・三浦周 2009. 土肥誌, 80, 177.  
松浦英之・成島光昭・中村茂和・太田充・鈴木則夫・堀江優子・小杉徹・吉川公規・中村明弘 2009. 静岡農林研研報, 2, 43.  
松浦克彦・川上信二・岡本哲也・玉木衣央 2008a. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 [農業編], 56, 13.  
松浦拓也・高橋好範・折坂光臣 2008b. 岩手農研セ研報, 8, 63.  
松浦拓也・高橋好範・折坂光臣・高橋修 2007. 東北農業研究, 60, 37.  
南山泰宏・田中淳夫 2009. 京都府農業研究所研究報告, 31, 24.  
三島慎一郎・遠藤明・白戸康人・木村園子ドロテア 2009. 土肥誌, 80, 226.  
三島慎一郎・秋山博子・八木一行・神山和則 2008. 同上, 79, 370.  
三浦恒子・金和裕・佐藤馨・柴田智・金田吉弘 2009a. 日作紀, 78, 43.  
三浦恒子・進藤勇人・若松一幸 2009b. 東北農業研究, 62, 45.  
三浦憲蔵 2009. 季刊肥料, 114, 44.  
三浦憲蔵・吉住佳与・青木和彦・屋代幹雄 2007a. 東北農業研究, 60, 199.  
三浦伸之 2007a. 季刊肥料, 106, 41.  
三浦伸之・寿江島久美子・吉田真一・内村浩二・加治俊幸・神崎保成・中村孝久・鳥山光昭・勝田雅人・今井明子 2007b. 鹿児島農総セ研報 (耕種), 1, 49.  
三浦重典 2010. 農業および園芸, 85, 177.  
三浦吉則 2007b. 同上, 82, 1198.  
宮森康雄 2007. 土肥誌, 78, 213.  
宮本大輔 2008. 圃場と土壌, 40, 18.  
宮崎成生 2009. 季刊肥料, 114, 36.  
宮崎成生・齋藤匡彦・高橋行継・吉田智彦 2010. 日作紀, 79, 198.  
宮崎成生・吉田智彦 2007. 同上, 76, 555.  
満田幸恵 2008. 福岡県農業総合試験場特別報告, 27, 1.  
満田幸恵・梶宏隆・荒木雅登・山本富三・渡邊敏朗 2008. 福岡農総試研報, 27, 11.  
水口晶子・小川仁・梯美仁 2007. 徳島農研報, 4, 7.  
水上浩之・歌野裕子 2009. 熊本県農業研究センター研究報告, 16, 35.  
水上宏二・平田祐子・森山友幸・小田原孝治・兼子明 2010. 福岡農総試研報, 29, 51.  
水上宏二・小田原孝治 2007. 同上, 26, 85.  
餅田利之 2009. 季刊肥料, 113, 21.  
森静香 2010. 山形農業特研報, 1, 1.  
Morikawa, C.K., Saigusa, M., Nishizawa, N.K., and Mori, S. 2008. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 54, 467.  
森本昌子・黒田康文・横田香 2008. 徳島農研報, 5, 25.  
森下年起・藪野佳寿郎 2007. 和歌山農林水技セ研報, 8, 53.  
森次真一・石橋英二・大家理哉 2009. 土肥誌, 80, 49.  
村上圭一・小阪幸子・原正之 2007a. 同上, 78, 85.  
村上圭一・小阪幸子・藤原孝之・原正之 2009. 同上, 80, 165.  
村上圭一・小阪幸子・原正之 2007b. 農業および園芸, 82, 801.  
村上圭一・鈴木啓史・加藤直人 2010. 土肥誌, 81, 343.  
村木慎吾・田口友朗・白居仁司 2008. 滋賀農技セ研報, 47, 31.  
村松功 2009. 京都府農業研究所研究報告, 31, 20.  
村元靖典・吉田一昭 2010. 岐阜農技セ報, 10, 1.  
長野間宏 2007. 季刊肥料, 108, 59.  
長坂克彦・加藤知美 2008. 山梨県農セ研報, 2, 13.  
長坂克之・鈴木貴子・松野篤 2007. 同上, 1, 27.  
南雲芳文・佐藤徹・服部誠・土田徹・細川寿・高橋能彦・

- 大山卓爾 2010. 土肥誌, 81, 360.
- 南雲芳文・高橋洋介・藤原菜世・大山卓爾・高橋能彦 2008. 同上, 79, 183.
- 中元勝彦・長谷川美穂子 2008. 季刊肥料, 109, 63.
- 中元勝彦・宮脇尚久・長谷川美穂子 2007. 広島総研農技セ研報, 81, 17.
- 中元朋実 2010. 農業および園芸, 85, 215.
- 中村隆一・國本 稔・高橋直己・前川敬治 2007. 北農, 74, 16.
- 中野明正 2008a. 農業および園芸, 83, 518.
- Nakano, A., and Uehara, Y. 2007. *JARQ*, 41, 219.
- 中野良正・平田俊昭・加藤博之・浅田奈津美・安良田勉・前田 剛 2007. 山口農試研報, 56, 90.
- 中野有加 2007. 農業技術, 62, 25.
- 中野有加 2008b. 農業および園芸, 83, 613.
- 中津智史・木村 清 2009. 土肥誌, 80, 45.
- 中辻敏朗・坂口雅己・柳原哲司・小野寺政行・櫻井道彦 2008. 同上, 79, 317.
- 中國健太郎・成山秀樹・堺田輝貴・吉岡哲也・仁田原寿一 2010. 福岡農総試研報, 29, 82.
- Nie, L., Peng, S., Bouman, B.A.M., Huang, J., Cui, K., Visperas, R.M., and Xiang, J. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 150.
- 二瓶直登 2007. 季刊肥料, 106, 35.
- 日本土壤協会編 2007. 圃場と土壌, 39, 84.
- 日本土壤協会編 2009. 同上, 41, 95.
- 新妻成一・日高秀俊・小宮山鉄兵・森國博全 2010. 土肥誌, 81, 135.
- 西田瑞彦 2010a. 東北農研研報, 112, 1.
- 西田瑞彦 2010b. 農業および園芸, 85, 719.
- Nishida, M., Sumida, H., and Kato, N. 2008. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 54, 459.
- 西田瑞彦・住田弘一・加藤直人 2009. 農業技術, 64, 341.
- 西本登志・木矢博之・信岡 尚・矢奥泰章・前川寛之・米田祥二 2007. 奈良農総セ研報, 38, 5.
- 西尾道徳 2007. 季刊肥料, 106, 16.
- 西澤法聖・入江慎二・村上公朗 2008. 熊本県農業研究センター研究報告, 15, 28.
- 延安弘行・國田丙午 2010. 広島総研農技セ研報, 87, 23.
- 野口 伸・丹羽勝久・横堀 潤・西宗 昭 2009. 北農, 76, 63.
- 野中邦彦 2009. 農業技術, 64, 408.
- 沼田益朗 2007. 富山県農技セ研報, 24, 1.
- 沼田芳宏・高橋良学・山口 悟・折坂光臣 2007. 東北農業研究, 60, 19.
- 大場聖司・松本昌直・大須賀隆司・荒川 博・高橋和彦 2007. 静岡農試研報, 51, 33.
- 大井義弘・川原洋子・井上勝広 2009. 長崎県総合農林試験場研究報告 (農業部門), 35, 47.
- 大井義弘・三木洋子・井上勝広 2010. 農業および園芸, 85, 1010.
- 大井義弘・大津善雄・芳野 豊・寺田光明 2008. 長崎県総合農林試験場研究報告 (農業部門), 34, 53.
- 大津善雄・藤山正史・永田浩久・川口貴之・廣川順太 2010. 長崎県農林技術開発センター研究報告, 1, 55.
- 岡紀邦 2009. 圃場と土壌, 41, 10.
- 岡部和広 2008. 東北農業研究, 61, 167.
- 岡部和広・大木 淳 2007. 同上, 60, 205.
- 岡本 保 2008. 神奈川農技セ報, 150, 41.
- 岡室美絵子・根来圭一・大江孝明 2010. 和歌山農林水技セ研報, 11, 59.
- 小野寺政行・中本 洋 2007a. 土肥誌, 78, 611.
- 小野寺政行・中本 洋 2007b. 北農, 74, 27.
- 大森誉紀・松本英樹 2009. 土肥誌, 80, 413.
- 大森誉紀・松本英樹・横田仁子 2009. 愛媛農林水研研報, 1, 35.
- 大森誉紀・山口憲一・松本英樹 2008. 愛媛農試研報, 41, 29.
- 大塚英一・金子文宣・松丸恒夫 2007. 千葉農総研研報, 6, 31.
- 大塚英一・山本幸洋・金子文宣・真行寺孝 2008. 同上, 7, 41.
- 大家理哉・芝 宏子・森次真一・石橋英二 2008. 土肥誌, 79, 380.
- 太田弘志 2007a. 東北農業研究, 60, 195.
- 太田 健 2007b. 農業および園芸, 82, 1161.
- 小柳 渉 2008. 圃場と土壌, 42, 32.
- 小柳 渉・安藤義昭・棚橋寿彦 2007. 土肥誌, 78, 407.
- 小柳 渉・棚橋寿彦 2010. 同上, 81, 144.
- 小柳 渉・棚橋寿彦・村松克久・小橋有里 2010. 同上, 81, 383.
- 三枝正彦 2007. 季刊肥料, 106, 26.
- 斉藤 寛・工藤 篤・熊谷克己 2007a. 東北農業研究, 60, 69.
- 斉藤 寛・森岡幹夫 2010. 畜産技術, 2010年3月号, 6.
- 齋藤匡彦・宮崎成生・大門 繁・田口和久・賀川昌彦・阿部保雄 2008. 栃木県農試研報, 63, 47.
- 斉藤研二・安藤利夫・八槇 敦 2007b. 千葉農総研研報, 6, 1.
- 坂川和也・長澤清孝・谷口弘行 2009. 福井農試研究報告, 46, 38.
- 堺田輝貴・吉岡哲也 2007. 福岡農総試研報, 26, 93.
- 堺田輝貴・吉岡哲也 2008. 同上, 27, 117.
- 坂本 淳・塙 博志・橘 正躬 2007. 土肥誌, 78, 303.
- 坂本 淳・西畑秀次・塙 博志・栗原一博・松本美枝子 2010. 同上, 81, 234.
- 坂本 清 2009. 季刊肥料, 114, 50.
- 坂本 清・蝦名春三・坂本康純 2009. 東北農業研究, 62, 121.
- 崎尾さやか 2007. 埼玉農総研研報, 7, 31.
- 崎尾さやか・小森谷博 2007. 同上, 7, 25.
- Sano, O., Ito, T., and Saigusa, M. 2008. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 54, 769.
- 佐々木あかり・石井友紀子・吉村正久 2007. 東北農業研究, 60, 159.
- 佐藤大和・荒木雅登・川村富輝・石塚明子・福島裕助・井上拓治 2007. 福岡農総試研報, 26, 79.
- 佐藤康司・中津智史・三木直倫・中村隆一・笛木伸彦・志賀弘行 2008. 土肥誌, 79, 45.
- 佐藤正昭 2009a. 東北農業研究, 62, 151.
- 佐藤三佳子・五十嵐俊成・櫻井道彦・鈴木和織・柳原哲司・奥村正敏 2009. 日作紀, 78, 9.
- 佐藤光明 2008a. 季刊肥料, 109, 76.
- 佐藤展之 2009b. 農業および園芸, 84, 91.
- 佐藤紀男 2010. 土肥誌, 81, 557.
- 佐藤 強・吉田清志・重盛 勲 2010a. 同上, 81, 158.
- 佐藤吉昭 2008b. 圃場と土壌, 40, 14.
- 佐藤善政 2008c. 季刊肥料, 109, 80.
- 佐藤康司・中津智史 2010. 北農, 77, 38.
- 佐藤義人・芦田倫子・村田憲昭 2010b. 東北農業研究, 63, 87.
- 佐藤善政・中澤みどり 2007. 同上, 60, 117.
- 関口哲生・小原 洋・新良力也・亀川健一・田淵公清 2008. 同上, 79, 81.
- 関矢博幸 2007. 季刊肥料, 108, 83.
- 関矢博幸・木村勝一・西田瑞彦 2008. 東北農業研究, 61, 25.
- 関矢博幸・土屋一成・大谷隆二・河本英憲 2009. 同上, 62, 35.
- 芝 宏子 2008. 圃場と土壌, 40, 15.
- 柴田 智・佐藤雄幸・佐藤 馨 2010. 東北農業研究, 63, 41.
- 柴田忠裕 2007. 農業および園芸, 82, 585.
- 柴田康志・藤井弘志・森 静香・渡部幸一郎 2007. 山形県農事研報, 39, 27.
- 澁川 洋・森 清文・古江広治 2009. 鹿児島農総セ研報 (耕種), 3, 55.
- 清水知子・矢部和則・山下文秋 2007. 愛知県農業試験報, 39, 33.
- 進藤勇人・三浦恒子・佐藤雄幸 2010a. 東北農業研究, 63, 37.
- 進藤勇人・三浦恒子・佐藤雄幸 2010b. 同上, 63, 39.

- 真行寺孝・松丸恒夫 2007. 土肥誌, 78, 355.  
真行寺孝・松丸恒夫・犬伏和之 2009. 同上, 80, 355.  
塩原 孝 2009. 季刊肥料, 112, 67.  
白井一則 2007. 同上, 106, 47.  
猪部 巖・小野 忠 2007. 大分県農林水産研究センター研究報告(農業編), 1, 1.  
庄司 正・大倉利明・鹿沼信行・戸上和樹・加部 武・畠山雅直・高橋朋子・山田正幸・小柴 守・塚本雅俊・神山和則・中井 信 2007. 群馬県農業技術センター研究報告, 4, 56.  
塩野宏之・森岡幹夫・越智昭彦・齋藤謙二 2010. 東北農業研究, 63, 145.  
曾我部光現 2010. 神奈川農技セ報, 153, 43.  
須田功一 2007. 農業および園芸, 82, 1263.  
末留 昇・土橋 豊・甲谷 潤 2007. 京都府農業研究所研究報告, 27, 25.  
杉本秀樹・杉山久枝・森元めぐみ・山本敦洋 2007. 日作紀, 76, 45.  
杉沼千恵子・佐藤賢一 2007. 埼玉農総研研報, 7, 14.  
杉田麻衣子・国信耕太郎・徳永哲夫 2007. 土肥誌, 78, 597.  
杉山泰之 2009a. 静岡県農林技術研究所特別報告, 2, 41.  
杉山泰之 2009b. 季刊肥料, 114, 64.  
住居丈嗣・徳永哲夫 2009. 山口農試研報, 57, 43.  
須崎徳高 2009. 季刊肥料, 112, 77.  
鈴木一好 2009. 同上, 112, 29.  
鈴木良則・小菅裕明・高崎敏晴 2010a. 東北農業研究, 63, 47.  
鈴木良則・葉上恒寿・多田勝郎 2008. 同上, 61, 155.  
鈴木良則・多田勝郎・小菅裕明 2010b. 同上, 63, 45.  
鈴木幸雄・菊地幹之 2009. 同上, 62, 29.  
高橋 茂・脇門英美・新良力也 2009. 土肥誌, 80, 621.  
高橋彩子・葉上恒寿・尾張利行・小菅裕明 2010a. 東北農業研究, 63, 49.  
高橋浩明・加藤正美・北沢 昭・塩島光洲・浅野岩夫・齋藤満保 2010b. 宮城古川農試報, 8, 23.  
高橋正宏・坂本卓馬 2008. 日畜会報, 79, 413.  
高橋能彦・南雲芳文・大山卓爾 2007. 季刊肥料, 107, 34.  
高橋行継・吉田智彦 2007. 日作紀, 76, 370.  
高橋行継・大島賢一・神沢武男・吉田智彦 2007. 同上, 76, 171.  
高間由美・廣澤美幸 2008. 栃木県農試研報, 63, 35.  
高野幸成・福田 寛・鈴木健司・斉藤研二 2007. 千葉農総研研報, 6, 23.  
建部雅子・岡崎圭毅・岡 紀邦・水落勤美 2009. 土肥誌, 80, 285.  
武田 悟・黒沢雅人・村上 章 2007. 東北農業研究, 60, 203.  
瀧 典明・浅野真澄・熊谷千冬・畑中 篤・斎藤公夫 2008. 土肥誌, 79, 147.  
瀧 典明・熊谷千冬・齋藤公夫 2009. 同上, 80, 575.  
瀧 典明・熊谷千冬・齋藤公夫 2010. 宮城古川農試報, 8, 7.  
棚橋寿彦・小柳 涉 2010. 土肥誌, 81, 336.  
棚橋寿彦・矢野秀治・伊藤 元・小柳 涉 2010. 同上, 81, 329.  
田中章浩 2009. 農業技術, 64, 62.  
田中章浩・荒川祐介 2008. 圃場と土壌, 42, 15.  
田中淳夫 2008b. 農業および園芸, 83, 457.  
種村竜太 2010. 同上, 85, 609.  
Thao, H.T.B., Yamakawa, T., Myint, A.K., and Sarr, P.S. 2008. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 54, 761.  
東條元昭・中山(山田)佳代子・三村(小堀)浩子 2010. 農業および園芸, 85, 183.  
徳田進一 2009. 農業技術, 64, 478.  
徳田進一・田中康男・東尾久雄・村上健二・相澤証子・浦上敦子・國久美由紀 2010. 土肥誌, 81, 105.  
土屋一成 2010. 農業および園芸, 85, 245.  
土屋一成・原 嘉隆・北川 壽・中野恵子・草佳那子 2009a. 日作九支報, 75, 19.  
土屋一成・原 嘉隆・中野恵子・草佳那子 2007. 同上, 73, 16.  
土屋一成・西田瑞彦・吉田光二・関矢博幸・河本英憲 2009b. 東北農業研究, 62, 33.  
土屋一成・住吉 正・古畑昌巳 2008. 日作九支報, 74, 1.  
辻 博之 2010. 農業および園芸, 85, 147.  
辻本涼太・野網よしの・井汲芳夫・鈴木武志・阿江教治 2007. 土肥誌, 78, 245.  
生方雅男 2008. 農業および園芸, 83, 463.  
上原敬義・元木 悟・山田和義・山西久夫 2007. 長野県野菜花き試報, 13, 48.  
上野秀人 2010. 農業および園芸, 85, 136.  
上之蘭茂 2010. 鹿児島農総セ研報(耕種), 4, 33.  
上之蘭茂・長友 誠・高橋 茂・西田瑞彦 2008. 土肥誌, 79, 37.  
上之蘭茂・長友 誠・高橋 茂 2007. 同上, 78, 383.  
植田稔宏・池羽智子・安 東赫・加藤一幾・河野隆・松本英一 2009. 同上, 80, 477.  
上菌一郎・餅田利之 2007. 鹿児島農総セ研報(耕種), 1, 37.  
漆山喜信・岩崎泰永 2007. 東北農業研究, 60, 201.  
白井智彦・多田勝郎 2010. 同上, 63, 43.  
歌野裕子・三牧奈美・郡司掛則昭・凌 祥之 2008. 熊本県農業研究センター研究報告, 14, 104.  
渡辺和彦 2008. 季刊肥料, 110, 17.  
渡邊和洋・新野孝男・村山 徹・南條正巳 2007. 日作紀, 76, 181.  
Watanabe, S., and Yoshikawa, H. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53, 650.  
渡辺卓弘 2007. 山口農試研報, 56, 100.  
渡邊智雄・西澤登志樹 2010. 東北農業研究, 63, 51.  
八木哲生・坂口雅己・日笠祐治 2008. 土肥誌, 79, 203.  
山田和義・上原敬義・齋藤龍司 2007. 長野県野菜花き試報, 13, 55.  
山家一哲・杉山泰之・高橋和彦 2008. 静岡農林研研報, 1, 59.  
八槨 敦 2008. 千葉農総研研報, 7, 35.  
八槨 敦 2009. 土肥誌, 80, 173.  
山本二美・松丸恒夫 2007a. 同上, 78, 179.  
山本二美・松丸恒夫 2007b. 同上, 78, 371.  
山本二美・松丸恒夫 2007c. 同上, 78, 391.  
山本二美 2009. 千葉県農林総合研究センター特別報告, 1, 1.  
山崎基嘉 2009. 農業および園芸, 84, 269.  
山崎修平・竹丘 守・花形敏男・長坂克彦 2007a. 山梨県農セ研報, 1, 33.  
山崎晴民 2008. 農業技術, 63, 84.  
山崎晴民・日高 伸 2007. 埼玉農総研研報, 7, 78.  
山崎敬亮・熊倉裕史・濱本 浩 2007b. 近中四農研報, 7, 35.  
矢野勝也 2010. 農業および園芸, 85, 198.  
矢野 清・池内 洋・河田和利 2010. 香川農試研報, 61, 63.  
横山明敏・川崎佳栄・西原基樹・上田重英・黒木正晶・宮本裕子 2009. 宮崎農試報, 44, 1.  
横山克至・佐藤久実・中場理恵子・三浦信利・中場 勝・水戸部昌樹 2010. 東北農業研究, 63, 27.  
米田祥二・西本登志・前川寛之・矢奥泰章・後藤公美 2008. 奈良農総セ研報, 39, 11.  
吉川公規・中村明弘・竹川幸子 2009. 静岡農林研研報, 2, 59.  
吉川省子・藤井義晴・村上敏文・藤原伸介 2007. 農業および園芸, 82, 463.  
吉永悟志・福田あかり 2007. 同上, 82, 49.  
吉野裕一・太田和也・在原克之・小山 豊 2007. 千葉農総研研報, 6, 95.

## 土壤改良資材

小杉 徹<sup>1</sup>・西田瑞彦<sup>2</sup>・金田吉弘<sup>3</sup>

### 1. 資材の製造と特性

#### 1) 家畜排泄物を主原料とする動植物系資材

実規模で製造・利用されている牛ふん尿堆肥を対象に堆肥化や腐熟化に伴う腐植酸およびフルボ酸の光学的特性や構造特性の変化が報告された(李ら, 2009).

乳牛ふんにバイオディーゼル燃料を製造する際に発生する廃グリセリンを添加して堆肥化すると、無添加区に比べて発酵温度の上昇が早く、一次発酵も早く終わり発酵促進効果が認められた(菅原・日野, 2008). モミガラ混合割合と堆肥化期間が乳牛ふん堆肥の分解性に及ぼす影響が明らかにされた. 畑地施用を前提とした場合、乳牛ふんモミガラ堆肥の堆肥化は1次発酵で十分である可能性が示された(小柳・安藤, 2007b). 養豚場の堆肥化施設で発生するアンモニアガスを反応槽底面から吸引しながら硫酸水溶液中で中和して、高窒素濃度の硫酸液肥を製造し、その硫酸液肥を飼料米多収栽培の追肥に活用する技術が報告された(本田, 2010). 通気量を制御して高温菌に最適な温度域を維持した場合、慣行通気法に比較して堆肥化初期の有機物分解率が高くなることが明らかにされた(伊藤・福重, 2007). 家畜ふん堆肥化の副資材として、青森県のナガイモ圃場から大量に発生するナガイモ茎葉残渣及びネット混合物(収穫残渣)の利用が検討され、ベールカッター等で細断することで副資材としてオガクズと同様に使用できることが明らかにされた(佐藤, 2008).

寒冷地において通気量の制御を主体とした堆肥化促進技術が検討され、家畜ふんの堆肥化では15℃付近までは10 L min<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup>程度の小流量通気、それ以上の温度域では通気量を増加する必要がある(福重・伊藤, 2008). さらに、堆肥温度をセンシングして適正通気量を決定する通気制御法が検討され、発酵中期および後期では本制御法で適正な通気がなされたが、初期及び終了期では無通気状態となるので、改良の必要性が認められた(福重, 2009). 夏季において、乳牛ふんにセルロース誘導体ハイドロゲルを0.2%, オガクズを2.5%混合し堆肥化することで、良好な発酵堆肥が作製できた(高田・山口, 2008).

#### 2) 作物残渣、食品残渣を原料とする動植物系資材

トマト残さに人工ゼオライトを添加することにより、堆肥化が促進され、コマツナ、ハウレンソウ、トマトにおいて、その施用効果が確認された(佐藤ら, 2007a, 2007b). 小ネギ下葉残渣を用いて、通気とネギの切断処理の有無を組み合わせることで4週間堆積して作られた堆肥は、コマツナを用いた発芽試験で障害はなく、小ネギを用いた3作までの施用試験でも、調整重や収穫本数への影響はなかった(安部ら,

2010). 北海道において、ながいも茎葉の堆肥化熱による生分解性ネットの分解が試みられた(鳥越, 2007).

ユズ搾りかすをカンキツ剪定堆積物あるいはシイタケ廃菌床粉碎物に混合し、窒素を添加し堆積することにより、5~6ヶ月で堆肥化が可能となり、この堆肥の施用によってユズ園土壌の化学性が改善された(森, 2007). さらに、カンキツの剪定枝では約6ヶ月、ナシ剪定枝では約7ヶ月で、副資材を入れなくても堆肥化が可能なが示された. 果実搾りかすでは、副資材として柑橘剪定枝や廃菌床を用いた堆肥化が行われ、それぞれ施用試験が行われた(森, 2010). ユズ滓について、牛ふん、オガクズ、炭酸カルシウムを加えることで、晩秋から早春の数ヶ月で堆肥化が可能となった(吉川ら, 2010). 35℃の人工気象室内で、ブドウ、モモの剪定枝を鶏ふん、油かす、ヌカ等でCN比30に調整して7ヶ月堆肥化した結果、鶏ふんでCNを調整した区が最も剪定枝の分解が進んだ(古屋, 2010). 街路樹等からの剪定枝葉を粗破碎後、枝と葉に分離し、枝は、そのままマルチング材、パルプ・木炭などの原料として、葉は3ヶ月間堆積後乾燥することで、有機質肥料として利用できた(邑瀬ら, 2007). その他、機能性成分を吸着させた後の漬け梅等搾汁廃液は、カルシウムを多く含み、コマツナに葉面散布することで、生育促進効果がみられた(磯部, 2007).

砂丘地におけるモミガラ炭化物(Cc)または米ヌカ炭化物(Bc)とそれらの塩化鉄(III)処理物が硝酸態窒素の溶脱と作物の生育に及ぼす影響が調査された. カラム浸透実験では、Ccは硝酸態窒素の溶脱抑制効果が見られず、Bcは溶脱抑制効果が認められた. ポット試験において、BcやBc-Feは無処理区に比較して硝酸態窒素の溶脱を抑制した. ポット試験、ほ場試験において、BcやBc-Fe施用で作物の生育が優れた(伊藤・山崎, 2008).

堆肥化による再利用が難しいオカラとタマネギを炭化し、その再利用の可能性が検討された. 従来から土壤改良資材として利用されている木炭と比べ、窒素、リン、カリウム、カルシウムなどが豊富な炭化物となり、コマツナ栽培で高い施用効果があることが明らかにされた(牧, 2007; 牧ら, 2007). 異なる温度でスギのチップを炭化し、その炭による稲わら滲出水の溶存有機物(DOM)吸着とそのpH依存性が検討された. 高温(850℃以上)で炭化した炭は、稲わら滲出水のDOMを効率的に除去できた(Miura *et al.*, 2007).

生ごみ堆肥の脂質は作物の生育阻害の原因となる可能性があるが、近赤外分光法により前処理を行わずに脂質含量を測定することが可能になり、その値をもとに生ごみ堆肥の施用量を決定することが有効であることが示唆された(Fujiwara *et al.*, 2009). 生ごみ堆肥において、堆積形式によってpHの変化や植物への害作用が異なり、特に有機酸によるpH変化が植物への害作用の要因と示唆された(犬伏, 2008). 食品リサイクル堆肥は、無機態窒素が多く土壤施用後3週間は土壌窒素濃度低下が起こるが、その後は無

<sup>1</sup> 静岡県農林技術研究所 果樹研究センター

<sup>2</sup> 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター

<sup>3</sup> 秋田県立大学生物資源科学部

機化率10%程度になり、土壌養分蓄積を防止するためには、 $1.5\text{ t }10\text{ a}^{-1}$ の施用が望ましいとした(望月ら, 2009)。長崎県では、規格外のバレイシヨやニンジンを混合したバレイシヨ豚ふん堆肥、バレイシヨ牛ふん堆肥、ニンジン牛ふん堆肥、及び家庭内生ごみを混合した生ごみ堆肥を製造し、その特性とバレイシヨ、ニンジンへの施用効果が検討された(大津・石井, 2008)。さらに、生ごみ堆肥の原料と製造、性状と成分、品質基準、およびその施用について解説された(日本土壌協会編, 2008)。

コーンコブを主体とするきのこ廃培地および廃培地堆肥は、緩やかで持続性のある窒素無機化特性を示した。排出後間もない廃培地では、施用後1~数ヶ月は窒素有機化が優先し、窒素飢餓や初期生育遅延を助長する可能性があった。埋設試験から、廃培地堆肥の窒素は、牛ふん堆肥よりかなり速く分解し稲わらと同等かやや速いことが明らかになった。黒ボク土畑での廃培地堆肥の窒素分解は、施用4年以降で安定し、分解率は約70%で推移した。また、廃培地堆肥の単年度の窒素肥効率は20%程度と推定された(山田ら, 2009)。きのこ廃菌床由来カプトムシ堆肥が、野菜類の有機栽培用培地として実用性が高い可能性が見出された(森岡ら, 2009)。

北海道において未利用のカキ殻をカルシウム資材として有効に活用するために、カキ殻粉碎物の粒径が土壌pHの上昇に与える影響が検討された。粒径を1mm未満にすることにより、市販の炭酸カルシウム資材と同等の施用量で、土壌pHの矯正効果が期待できることが明らかになった(細淵・中住, 2007)。山口県内で普及している魚介物加工肥料は、基肥は移植2週間前頃、穂肥は出穂30日前頃の施用が適しており、化学肥料の3割増の窒素施肥量を施用することで、化学肥料と同程度の収量が確保できた(有吉・平田, 2010)。

水蒸気処理した刈芝および処理過程で排出された処理液が芝の生長、透水液の水質および土壌微生物性に及ぼす影響が評価された。水蒸気処理刈芝は微生物活性を促進し、化学肥料の一部を代替できると考えられた。処理液は芝の生長に良い影響を与えず、それは低pHによるものと考えられた(Ushiwata *et al.*, 2007)。高温高压化で処理後急激に大気圧へ戻す蒸煮爆砕処理された木質廃棄物の特徴を明らかにし、水分調整材、育苗培土等の農業利用について考察した(村上, 2008)。

### 3) 汚泥等を主体とする資材

下水汚泥コンポストの炭素と窒素の無機化に及ぼす土壌pHの影響が検討され、初期の土壌pHは下水汚泥コンポストの炭素分解、アンモニア化成、および硝酸化成に大きく影響することが示された(Huang, and Chen, 2009)。低肥沃度土壌に施用された下水汚泥窒素のコマツナによる利用率は、間接的 $^{15}\text{N}$ 法により12.1%と評価され、化学肥料に対する肥効率は61.5%であった(Asagi and Ueno 2008)。

農業集落排水汚泥の連用により、土壌の全窒素の増加が認められ、ハクサイやソルガムについては増収し、窒素吸

収量が増加すること、汚泥由来重金属のうち作物吸収が0.1~14.7%、溶脱量は0.1%以下で、ほとんどが土壌に蓄積することが明らかにされた(三浦ら, 2009)。乳牛ふん、生ごみ、カールチップ、剪定枝の組合わせによる融合下水汚泥コンポストの野菜栽培における3年間の連用試験が行われ、降水量が多いと化学肥料区よりも収量が高く、降水量が少ないと化学肥料区との差が小さいことが認められた(五十嵐ら, 2007)。山梨県で生産された下水汚泥・生ごみ堆肥は、成分の季節変動が小さく、石灰系凝集剤の影響で石灰含量が非常に高く、 $500\text{ kg }10\text{ a}^{-1}$ 施用により、 $3\text{ kg }10\text{ a}^{-1}$ の窒素が無機態として供給された(山崎ら, 2009)。

下水処理場の余剰汚泥を原料とする人工リン鉱石の野菜への施用効果は、酸性土壌で高かった。人工リン鉱石施用直後に菜豆を播種すると、プロピオン酸などが関与するとみられる有機酸発芽不良や生育障害は、播種の2週前に人工リン鉱石を施用することにより防げること、人工リン鉱石を熱水処理すると初期生育抑制が生じないこと等が明らかにされた(古畑ら, 2007a, 2007b)。下水処理方式(分流式・合流式)が異なる下水処理場から排出された焼却灰のアルカリ添加量の相違が肥効に及ぼす影響について報告され、コマツナへの肥効は原料となる焼却灰の種類で異なり、リン酸含有量の低い焼却灰でもアルカリ添加比率を高めることでリン酸肥効率が高まった(久保山ら, 2009)。下水汚泥の熱化学処理によるリンおよび窒素、リン、カリ三要素肥料化における化学反応が検討された(Vogel *et al.*, 2010)。

クロレラ生産工場汚泥とマグネシウム系土壌固材の混合資材をコマツナに施用すると、多量施用しない限り植害は認められず、資材添加量が増加するにつれて、跡地土壌のpHとECが上昇することが認められた(中尾ら, 2008)。未熟な汚泥堆肥に $^{15}\text{N}$ -硫酸アンモニウムで培養した大腸菌の菌体を混和して発酵させて製造した $^{15}\text{N}$ 標識堆肥を用いてイタリアンライグラスを栽培したところ、堆肥水溶性窒素の利用率は不溶性窒素の利用率よりも高く、堆肥窒素は一様に吸収されることはなかった(松田ら, 2007)。北海道の水稲に対する石灰系汚泥コンポスト施用において、施用量が $1\text{ Mg ha}^{-1}$ 以下、かつコンポスト $1\text{ Mg}$ あたりの化学肥料窒素・リン酸の減肥量が $5\text{ kg}$ 程度であれば、慣行栽培と同程度の収量・品質が得られ、白米及び土壌に重金属の集積は見られないことが報告された(杉川ら, 2009)。

### 4) 鉱物質系資材、ポリマー、浄水ケーキ等を主体とする資材

電力産業副産物の石灰灰から製造される人工ゼオライトによる土壌改良により、団粒構造が形成され芝等の生育が促進された(逸見, 2009)。バーミキュライト、ピートモス、日向ボラ細粒を一定割合で混合する培地を用いた熊本県の開発のイチゴ高設栽培システムは、培地の更新を行わず8年間のイチゴ安定生産が持続できるシステムであることが実証された(田中ら, 2008)。使用済み野菜栽培用ロックウールの水稲施用により、ロックウール中のケイ酸が徐々

に溶出し、1 tの施用量で4年程度の残効があることが認められたが、土壤物理性の改善はみられなかった(山崎ら, 2007)。石川県において、地震で生じた田面亀裂による漏水対策にはベントナイトの施用が効果的であった(北田, 2009)。

高分子凝集剤(PAM)による塩類土壌及びソーダ質土壌において、PAMと石膏添加の有無が、塩水降雨によって生じる土壤流亡に及ぼす抑制効果が検討された。その結果、PAM添加により土壤の損失量は抑制され、石膏の添加または塩水を用いた降雨条件下において表面流出水量が減少した。PAMと石膏または塩を混合した場合、降雨の衝撃によって土壤剥離が増加する傾向があった(Yamamoto *et al.*, 2008)

高吸収性ポリマー(架橋ポリアクリル酸塩)を、トマトの育苗用配合土に保水材として混和すると、トマト茎葉重が増加するなどの生育促進効果がみられ、混和量を10 g L<sup>-1</sup>とすると、灌水量を無混和の1/2としても同等以上の生育量が得られた(龍ら, 2008)。浄水ケーキに牛ふん堆肥を混合して作成した低分解性のアルミニウム型牛ふんコンポスト(AICMC)は、下層土が強酸性非アロフェン質黒ボク土で非腐植質の北上土壌に施用した場合に土壤物理性改善効果が高かった。また、実栽培条件に近い環境で行った円筒試験から、降雨や灌水の影響を受ける条件では、AICMCの分解がさらに低減されることが示唆された(熊谷・三枝, 2008)。

鉄と高分子の重合ケイ酸を成分とするポリシリカ鉄凝集剤を使用した浄水ケーキ(PSI浄水ケーキ)施用により土壤の2価鉄生成量が増加し、土壤溶液ケイ素濃度が上昇し、水稻のケイ素濃度、ケイ素吸収量が増加した。さらに、窒素吸収量が増加したため、収量は増加する傾向がみられた。メタン放出量は、PSI浄水ケーキにより増加した(堀川ら, 2007)。ポリシリカ鉄凝集剤(PSI)を用いた浄水ケーキを水田に施用したところ、土壌中の二価鉄、アンモニア態窒素、ケイ素濃度が増加した(伊藤, 2009)。

風乾した浄水ケーキのフッ素吸着率は浄水ケーキ1 g当たり1.4 mgと推定され、フッ素汚染土壌に添加・混和処理することで、フッ素溶出を低減した(吉田ら, 2008)。加圧脱水処理法により製造される湿式造粒脱水ケーキは、イチゴ育苗土として用いると苗の生育、収量が劣るので、園芸培土を12.5%より多く混合する必要があることが示唆された(太田ら, 2009)。浄水土を硫酸で洗浄し水酸化ナトリウムで中和して造粒した硫酸洗浄培土でコマツナを栽培すると、アルミニウムによるリン吸着が低減し、可給態リン酸含量が増加したが、リン酸施肥量を減らす効果は明確でなかった(竹中・伊藤, 2010)。

ジメチロールジヒドロキシエチレン尿素(DMDHEU)で木材多糖の水酸基を架橋、保護して、木材パルプそのものを微生物の分解を受けにくい構造にした化学改質紙紙筒のテンサイ紙筒移植栽培に及ぼす影響を調査した。化学改質紙の紙筒は、育苗中に紙筒や育苗土への微生物繁殖を抑

制し根の障害を軽減するため、移植時の苗生育を増加させ、移植後6月中旬の生育を向上させた。化学改質紙紙筒の収穫時の根重と糖量は、混抄紙紙筒と有意な差は認められなかった(寺澤・大崎, 2009)。

Mg-Alの層状複水酸化物の塩化物であるLDHの、硝酸イオン交換体としての可能性を検討したところ、交換容量の低下なしに15回可逆的に硝酸イオンを交換することができた(TORRES-DORANTE Luis Omar *et al.*, 2008)。沖縄地域に分布する酸性の国頭マージに石炭灰、古紙および澱粉などの廃棄物質を混合して製造した人工造粒体について、植栽用土としての特徴および利用可能性が検討された。コマツナとダイズでは、20%の石炭灰を混合した場合に最も高い生育と収量を示した(Jayasinghe *et al.*, 2008)。

硫酸酸性土壌における水稻収量改善に対する塩基性スラグとそのサイズの効果が検討され、養分吸収量や収量増加に適切な条件が明らかにされた(Khan, *et al.*, 2008)。寒冷地でも導入可能な水稻種子鉄コーティング技術として、密封式鉄コーティングによる水田湛水直播技術が開発され、出芽速度を速め、鳥害を軽減し、資材コストも低減した(今川, 2009)。湛水直播に利用できる水稻鉄コーティング種子の大量生産技術を開発し、室温で1年以上保存が可能となった(山内, 2010)。最近の土壤改良資材の現状と課題について解説された(坂本, 2009)。

## 2. 資材の品質と評価手法

コマツナの発芽試験に茎長を加味した発芽インデックス法は、堆肥腐熟度に関する生物学的・化学的判定法と有意な相関があり、酸素消費量やアンモニア態窒素含量を指標としたときの判定精度が根長測定試験法に比べて高く、特に未熟な堆肥の判定に優れていた(池田・小山, 2007)。易分解性有機物が土壤微生物により分解を受ける際に、消費される酸素量を利用した有機質資材中易分解性有機物の簡易推定法が開発された(小柳・安藤, 2007a)。

粗脂肪、乳酸、酢酸が低下するとpHが上昇するため、粗脂肪が生ごみ堆肥の腐熟度の目安となりうることが示された(古畑, 2009)。乾式灰化-塩酸抽出法により土壤全リン酸含量が簡易にかつ精度良く測定できることを明らかにした。また、蛍光X線(XRF)による土壤全リン酸含量測定は化学分析に比べると精度は低い、今後精度を向上させる可能性はあると示唆された(小宮山ら, 2009)。

## 3. 資材の施用影響

### 1) 施用土壌の理化学性への影響

有機栽培圃場3年目の土壌化学性の調査が行われ、施設野菜土壌については、有機栽培で塩類やリン酸等の養分蓄積が軽減されることが明らかにされた。また、露地野菜土壌については、有機栽培で下層の塩類、硝酸、硫酸イオン濃度が低い傾向であり、硝酸イオンの下層への溶脱が小さい可能性があることが明らかにされた(三浦ら, 2007a)。同じく、畑地への有機物の連用や中断による土壌の化学性に及ぼす影響が調査された。畑地における有機物連用により全炭素、全窒素は経時的な増加傾向がみられ、下水汚泥

区において重金属の増加がみられた。有機物連用区での約3年間の有機物施用の中断により、全炭素では50%~30%、全窒素では40~20%減少が認められた(三浦・中山, 2008)。

八郎瀉干拓地水田に施用された有機質資材の分解率と窒素無機化特性の経年変化が検討され、水田に施用された有機質資材の施用1年後、2年後の窒素無機化特性値は単純型で推定可能であった(伊藤ら, 2008)。また、八郎瀉干拓地水田における長期要素欠除および有機物施用の影響についても検討され、土壌からの窒素とカリの供給量が多く、収量レベルが高い一方で、堆肥施用による増収効果は明瞭ではなかった(伊藤ら, 2009a)。八郎瀉干拓地水田における稲わら持ち出しが、土壌の化学性と水稲収量に及ぼす影響が検討され、長期間の稲わら持ち出しによっても水稲収量にはほとんど影響が生じないのは、土壌の窒素、カリ、ケイ酸の供給能が高いことが要因と考えられた。また、土壌の交換態カリ、可給態窒素、可給態ケイ酸はわら施用区に比べて低水準となっていた(伊藤ら, 2009b)。八郎瀉干拓地水田における堆肥連用試験の結果から、堆肥の連用当初は土壌中の残存窒素は生育初期にやや少ないことから、水稲の初期生育はやや抑制され、生育中期以降に窒素吸収量が増大する傾向が認められた。近年は生育初期から土壌の残存窒素が多く、茎数の確保が容易になっていることが認められた(伊藤ら, 2010)。

秋田県においてダイズ栽培における窒素収支が検討され、前作まで堆肥が施用された圃場では、施用歴がない圃場よりも収支のマイナス小さかった。また、3年間連作したダイズ及びハトムギの異なるタイプの土壌において、ハトムギと比較してダイズ後での可給態窒素の減少量が多いことが認められた(金田, 2009)。秋田県の田畑輪換における土壌窒素肥沃度の低下実態と堆肥を用いた窒素肥沃度維持法が示された(西田, 2010)。宮城県の灰色低地土水田での有機物連用による水稲生育と土壌化学性の変化について、牛ふん堆肥及び豚ふん堆肥  $10 \text{ kg-N } 10 \text{ a}^{-1}$  相当を7年間連用しても、対照区に比べて可給態窒素の増加は見られなかった。水稲の収量には増収傾向が見られ、堆肥からのみかけの窒素吸収量は牛ふん堆肥が  $0.2\sim 1.8 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 、豚ふん堆肥が  $0.9\sim 3.3 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$  であった(瀧ら, 2009)。

不耕起継続水田に籾殻牛糞堆肥、鶏糞ペレット堆肥を連用し、飼料用水稲とイタリアンライグラスを輪作した場合、6作目期間中のリン酸溶脱量には、1~5作間および1~6作間のリン酸投入量、表層と作土層の可給態および水溶性リン酸含量の寄与が大きいことが示された。また、リン酸は水の縦浸透に伴い下層に移行しやすく、土壌中のリン酸含量が同程度であっても耕起区は不耕起区に比べてリン酸溶脱量が少なく、リン酸溶脱には土壌孔隙の発達程度が大きく関与することが示唆された(大家ら, 2007)。

非アロフェン質黒ボク土野菜畑における畜種混合堆肥(牛・豚・鶏ふん)、豚ふん堆肥及び鶏ふん堆肥の連用効果が解析され、いずれの堆肥についても連用効果が認められ

たが、連用年数の経過とともに交換性塩基や可給態リン酸が蓄積する傾向があることが示された(葉上ら, 2009)。雨よけハウレンソウに牛ふん堆肥を連用すると、しおれ低減効果が認められ、土壌物理性改善の効果が大きいとことが示唆された(今野・稲生, 2009)。タイにおいて1980年から行われている有機物連用による土壌特性及びトウモロコシの収量への影響が解析された(Sangtong and Katoh, 2010)。

熔成微量要素複合肥料(FTE)の長期連用試験を実施し、その施肥効果が検討された。FTE無施用区では、試験開始から2~4年目以降、ほとんどの作物でホウ素欠乏症状が発生したのに対して、FTE区では作物が健全に生育し、ホウ素の過不足とみられる症状は発現せず、収量は無施用区をつねに上回った。また、FTE区では、施肥ホウ素が土壌中に過剰蓄積する傾向は認められなかった。FTEを16年間連用した場合の施肥ホウ素利用率は、淡色黒ボク土で9.9%、普通黒ボク土で10.6%、陸成未熟土で8.2%、20年間連用の普通黒ボク土では13.5%であった(秋友ら, 2007)。

1999~2007年の定点調査の結果から、福岡県の果樹園地では有機質資材の施用により可給態リン酸が過剰となり、一部の地点で交換性カリウムの過剰傾向がみられた(藤富・黒柳, 2009)。ウレアーゼ活性の異なる堆肥と尿素または硫酸を組み合わせて施用し、土壌からのアンモニア揮散への堆肥と化学肥料の複合効果が検討された。堆肥と化学肥料の組合わせに加えて、堆肥と化学肥料の施用時期の違いがアンモニア揮散を減少させるために重要であることが明らかとなった(Matsushima *et al.*, 2009b)。

水田の田面水は、灌漑水と比較して難溶性の溶存有機物(DOM)濃度が高く、浸出水は同程度であった(人見ら, 2007)。滋賀県の水稲土壌における微生物バイオマスは、炭素で平均  $742 \text{ mg-C kg}^{-1}$ 、窒素で平均  $86.5 \text{ mg-N kg}^{-1}$  であり、土壌タイプと肥培管理方法の影響が認められた(西堀ら, 2009)。

宮城県の施設栽培における籾殻施用は、塩類集積土壌の無機態窒素低減に有効であり、褐色森林土では  $1.6 \text{ t } 10 \text{ a}^{-1}$  程度が全面施用量として適当であることが明らかにされた(今野・宍戸, 2007)。ネギ栽培において、籾殻と酸素供給剤の施用が湿害軽減に有効であることが示され、さらに局所施用により全面散布よりも少ない資材量で湿害軽減効果が認められた(村永, 2009)。

高級脂肪酸(以下、顆粒状脂肪酸)を混合した土耕ポットに $^{15}\text{N}$ でラベルした硝酸カリウムまたは硫酸アンモニウムを施用し、茶(1年生挿し木苗)を約1ヵ月間栽培した。顆粒状脂肪酸を5%添加した場合、溶脱水中の硝酸態窒素濃度とアンモニア態窒素濃度が大きく低下し、施用窒素の溶脱量は無添加(0%区)の場合と比べて、硝酸カリウム施用の場合約6割減、硫酸アンモニウム施用の場合約8割減となり、窒素の有機化が要因と考えられた。顆粒状脂肪酸を5%添加した場合、茶の生育は無添加より旺盛で、茶

の窒素吸収量も増加した (森田ら, 2009)。

牧草マルチがポプラ根圏の酵素活性と可給性土壌養分に及ぼす影響が検討され、牧草マルチは、ウレアーゼと酸性ホスファターゼ活性と窒素、リン、およびカリウムの増加に効果が高いことが示された (Fang *et al.*, 2010)。北海道のハウス栽培における下層土診断法の有効性が検討された。いずれの作物のハウスでも作土や下層土での硝酸態窒素の残存が認められ、窒素投入量が窒素持出量を大きく上回っている土壌が多かった。また、多くのハウス土壌で堆肥の連用に起因して土壌の可給態窒素が高まっていた。雨や雪による溶脱の少ない条件で深根性の果菜類を栽培する場合には、下層土の硝酸態窒素を評価すること、寒冷地においては作土の可給態窒素を評価することが、適正な施肥量を決定する上で重要であることが明らかとなった (林ら, 2009)。

寒冷地の黒ボク土において、堆肥施用ポットでは地温が高くなり蒸発量が減少した。圃場試験の結果、堆肥の種類に関わらず、施用量が多いほど地温が高くなり、施用した堆肥の乾物量と地温の上昇程度には有意な相関関係が認められた。また、堆肥の化学的な性質に関わらず、堆肥の施用量が多いほど地温が大きく上昇することが明らかとなった (Amkha *et al.*, 2009)。

諫早湾干拓地の畑地圃場初期営農確立のための緑肥作物の栽培と堆肥の施用は、初期干拓の除塩やほ場の乾燥を助長し、土壌理化学性の改善に有効であり、早期熟畑化が図られた (山田ら, 2007)。有機物資材施用によるマージ土壌の硬化の影響について、埋め込み試験で経時的に調査した結果、鶏ふん堆肥や豚ふん堆肥の施用で、pH やカルシウム含量が増加したことによる土壌の硬化促進が一時的にみられたが、施用1年後には硬化の影響は認められなかった (久保寺, 2008)。インドネシアのパイナップル農園において、籾殻とキャッサバ残渣を用いた土壌の物理性と生物的特性に与える影響が検討され、籾殻マルチ区では土壌物理性の持続的改善効果が認められた。キャッサバの絞りかすや表皮を利用した試験区では、雨季においてミミズの個体数を増加させ、大間隙や耐水性団粒を増加させた (Komariah *et al.*, 2008)。

土壌還元消毒において、ふすまを利用した場合の土壌中の無機態窒素の消長や作物の生育から、土壌還元消毒に用いる資材中の窒素の肥効を考慮した減肥の可能性が報告された (岡本ら, 2009)。焼酎蒸留粕を原料とした紙状の成型ポット (エコポット) の肥料効果について、施用40日以降に、エコポット原料のエコ紙の窒素成分は硝酸態窒素として土壌中に放出されてからコマツナに吸収され、生育を促進させることが<sup>15</sup>Nトレーサーにより明らかになった (山内ら, 2008)。裁断稲わらまたは木質混合牛ふんコンポストによる被覆が、裸地表土の降雨下における地表面流出、土壌流亡発生に及ぼす影響が検討された。全被覆条件では無被覆よりも侵食量は抑制されたが、被覆の有無や程度の差による表面流出量の違いは認められなかった (Onishi *et*

*al.*, 2008)。

鶏ふんおよび牛糞による有機質肥料を連用した場合の耕地からのリン流出を軽減させる目的で、有機質肥料へのアルミニウム、鉄、カルシウムの添加が試みられ、作物の生育とリンの溶解性に及ぼす影響が検討された (Wilson *et al.*, 2008)。火山灰土において、鶏肉残渣が飼料トウモロコシの生育と土壌に及ぼす影響が検討された (Hirzrl *et al.*, 2007)。

殺菌剤であるクロロタロニルとチウラムが、土壌中のアンモニア酸化を阻害することが確認された (山本, 2008)。通常より少ないセメント添加量であっても、セメント混合比の増加に伴い、支持力比、一軸圧縮強度、変形係数及び透水係数は増加することが明らかとなった (Hossain and Sasaki 2008)。

## 2) 作物生育への影響

<sup>13</sup>C と <sup>15</sup>N で標識されたトウモロコシ残渣堆肥 (MRC) を供試して、3連作中の野菜による堆肥由来炭素と窒素の吸収量が明らかにされた。コマツナとチンゲンサイのMRC由来窒素利用率はそれぞれ1作目が7.3%、6.6%、2作目が2.7%、1.8%、3作目が2.3%、1.7%で、MRC炭素の吸収は、各作物で1作目と2作目ではある程度吸収されたが、3作目ではほとんど認められなかった (Ebid *et al.*, 2008)。

9種類の<sup>15</sup>N標識緑肥が表面および全層施用され、水稲による窒素利用率はヘアリーベッチと白クローバーで高く、窒素源として有効であった。表面施用よりも全層施用の方が水稲による利用、土壌への残存が多く、全層施用の方が窒素の消失が少なかった (Asagi and Ueno, 2009)。<sup>15</sup>N標識窒素を用いて、キュウリ栽培における窒素の吸収と移行を調査したところ、収穫果実に含まれる窒素の約50%が開花後に吸収された窒素であることが明らかとなった (種村, 2010)。重窒素を用いたてんさい茎葉由来窒素の後作による回収率は、アズキの8~12%と比べ、バレイショでは11~22%と比較的高かった (中本, 2007)。

有機栽培圃場3年目の作物体可食部や土壌等の安定同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) が調査され、水稲玄米については、有機的肥培管理による明瞭な上昇傾向が認められたが、ブロッコリー、シュンギクについては、玄米ほど明確ではなかった。跡地土壌については作物体の同位体比の傾向を裏付ける大きな違いは認められなかった (三浦ら, 2007b)。供試した有機米では、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が高まり、有機白米からは農薬成分 (447種) は検出されなかった (中野・宮本, 2009)。有機質肥料と化学肥料で栽培されたコマツナ、キュウリの $\delta^{15}\text{N}$ 値が調査され、作物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は使用した肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値を反映することが示された (佐藤・三浦, 2008)。

施設内チンゲンサイ栽培における植物体硝酸イオン濃度は、窒素形態や有機物の種類、肥効調節型肥料の育苗培土への混合等により低減できた (松本ら, 2007)。また、植物体硝酸イオン濃度は、外葉 (旧葉) が最も高く、内葉 (新葉) になるに従い急激に低くなり、栽培期間の延長により葉色



は淡くならず硝酸イオン濃度は低下し、アスコルビン酸及び糖濃度は増加した(大場ら, 2007)。チンゲンサイ土耕栽培において、地上部硝酸イオン含量を低減させる方法として、収穫期前にスクロースなどの水溶性糖類を施用することが有効と考えられた(藤田・植田, 2010)。

コマツナ、ハクサイ、ハウレンソウ、レタスにおいて、塩化リン安を施用することで、作物体硝酸濃度の低減が確認された(長坂・加藤, 2008)。キョウナ(ミズナ)に1%ブドウ糖溶液と亜リン酸溶液を同時に葉面散布することにより、可食部硝酸イオン濃度は低減し、収穫2日前が適切な処理時期であることが明らかになった(加藤ら, 2008)。ニンジンの硝酸態窒素濃度は、堆肥の有無では有意差は認められなかったものの、根と葉に含まれる硝酸イオンの間に高い正の相関が認められた(横山ら, 2009)。冬どりダイコンの根部硝酸イオン濃度は、追肥の窒素施用量を少なくすることで低下し、基肥の種類(ぼかし、化成肥料)や収穫の時間帯(朝・昼・晩)への影響は認められなかった(岡本, 2009)。

長崎県のレタス産地でのレタス結球部の硝酸含量は、年内どりで平均1366 ppm、年明けどりレタスで1103 ppmであった。硝化抑制剤入り肥料を用いた場合、肥料成分を40%減肥しても収量は慣行並みに維持でき、結球部の硝酸含量も低下し、さらに慣行比20%窒素減肥し、その25~50%を鶏ふん堆肥で代替しても、収量は慣行並みに維持でき、結球部の硝酸含量も低下した(大井ら, 2008)。鹿児島県の慣行ハクサイ栽培において、最終追肥の遅れと早すぎる収穫は、収穫物の硝酸イオン濃度を高めることが明らかとなった(上菌・餅田, 2007)。

成熟期の水稻のケイ酸吸収量は、移植後25日の土壤溶液中のケイ酸濃度と正の相関が認められた(荒巻ら, 2009)。

ハウレンソウについて、早生品種は晩生品種より常に硝酸性濃度が高いがシュウ酸塩濃度は低く、拮抗的な生理機能を果たしていることが示唆された(北ら, 2010)。追肥なし基肥のみによる雨よけハウスのハウレンソウ土耕栽培において、硝酸塩・シュウ酸塩を両方低減するには、シュウ酸塩濃度の低い早生品種を用い、窒素施用量を減らすか栽培後期に十分な灌水を行うことが有効であった(上西, 2010)。

牛ふん堆肥の連用によって雨よけハウレンソウの収穫後のしおれが低減されることが明らかにされた(今野・稲生, 2008)。ブロッコリーセル成形苗に定植1週間前から0.3%の塩水をかん水すると、苗の耐干性が高まり、高温乾燥条件下で定植した際の活着や定植後の生育、収穫の斉一性が向上することが明らかにされた(常盤, 2008, 2009)。

温州ミカンの生産安定のために、葉中無機成分の推移、及び隔年結果と根中ゲンブ含有率との関係を検討し、窒素とゲンブを現場で短時間に精度よく分析できる簡易法を考案した(杉山, 2009)。加温施設栽培の'不知火'において、生育期間中に葉が黄化・落葉する症状が発生するホウ素過剰症が発生し、その原因は高濃度にホウ素を含ん

だ灌漑水を使用したためと考えられた(上村ら, 2009)。ウンシュウミカン'石地'を、樹皮堆肥と粉碎もみ殻を容積比で1:1に混合した培地で育てると、慣行の約30%の袋重量となり、2年生苗を袋ごと運搬する作業で作業時間を30%低減でき、労働負担も強労働から中労働へ軽減できた(中元ら, 2009)。

植物の窒素源としてのアミノ酸吸収について、イネ幼植物体に安定同位体元素を標識したグルタミンを吸収させることで、地上部及び根部に標識グルタミンが確認されたことから、直接吸収したと判断した(二瓶, 2010)。また、作物によるアミノ酸の直接吸収に関する研究が紹介された(二瓶, 2008)。

水稻栽培において、強アルカリ性電解水を、移植1ヶ月後から出穂直前まで7~8回、一週間5tを散布することで、植物体の生育と収量が増加した(上田ら, 2007b)。パンジーにおいて、オゾン水の散布は、0.2~5 ppmで発芽促進効果が認められ、10 ppmでは処理時間が長くなると発芽抑制がみられた(磯部ら, 2007)。

### 3) 重金属動態

牛ふん堆肥などの有機質資材施用による農作物のカドミウム濃度の低減効果が検討された。その結果、資材施用による土壤全炭素増加により交換態カドミウム濃度が低下し、農作物のカドミウム濃度が低下することが示された(吉川・瀧, 2009)。カドミウムは、根の吸収範囲1mm範囲内からしか吸収されないため、ファイトレメディエーション法でカドミウムを除去する場合、土壤中の根の密度が高くなる植物を用いるのが有効であった(服部・田中, 2007)。塩化第2鉄を用いた水田の化学洗浄によるカドミウム汚染土壌の修復技術が開発された(荒尾ら, 2010)。

1 mol L<sup>-1</sup>塩酸抽出プロセス定量分析によって、水稻中のカドミウム濃度を検討した結果、出穂約20日後の茎・葉鞘中カドミウム濃度から、立毛段階において出荷事前検査対象の玄米中濃度が推定できた(中島, 2007)。1M酢酸アンモニウム抽出による土壤中カドミウム濃度は、早期落水栽培したときの玄米中カドミウム濃度と相関が高く、農業生産現場での定量分析法で利用できる精度があると推察された(中島ら, 2010)。水田土壌中のカドミウムを浄化する植物として、乾物生産量が大きいケナフとカドミウム含有率が高いアフリカンマリーゴールドが有望であった(大森, 2008)。水稻、ダイズ栽培において、廃棄瓦粉末の施用による重金属の影響を調査したところ、収穫物中および跡地土壌中のカドミウム、銅、ヒ素含有量に差は認められず、生育にも重金属の影響は認められなかった(長谷川ら, 2009)。

静岡県内の水田土壌において、出穂前後の酸化還元電位を低く保つことにより、カドミウム含量を低減することができ、灰色低地土とグライ土の酸化還元電位は、土壤表面の硬度から推測できた(中村ら, 2007)。カドミウム汚染リスクの高い滋賀県水稻圃場において収穫前段階で玄米カドミウム濃度をモニタリングし汚染リスクを予測する方法を

検討したところ、収穫1, 2週間前と収穫時の玄米カドミウム濃度、及び収穫1, 2週間前の茎・葉鞘部カドミウム濃度と収穫時の玄米カドミウム濃度の間に相関が認められた。さらに圃場を代表する試料が簡単・効率的に得られる調査法を考案した(今井ら, 2009)。愛媛県の玄米中カドミウム濃度を $0.4 \text{ mg kg}^{-1}$ に抑えるためには、出穂前後各3週間の湛水率を50%以上とすることが必要であり、土壌pHを上げるために投入する石灰質資材の量は、改良作土深を考慮し施用量を決定することで、3年以上の効果の持続性が期待できた(大森, 2009)。

アルカリ資材のうね内部分施用によるダイズのカドミウム吸収抑制効果は、全面施用と同程度以上で、資材施用量が4割削減できた(三浦ら, 2008)。また、部分施用の幅20 cmが最も効率的に子実カドミウム濃度を低減できることが明らかにされた(三浦ら, 2009)。さらに、ブロッコリーとレタスについてもカドミウム吸収抑制に対する部分施用の効果が検討され、ブロッコリーでその効果が認められた(工藤ら, 2009)。栃木県産のオオムギのカドミウム吸収品種間差を調査したところ、調査したすべての品種・系統で $0.1 \text{ mg kg}^{-1}$ を下回り、Apam, カシマムギはカドミウム含有率が高く、Spartn, 2727 (GRIN)等は低い傾向だった(中山ら, 2008)。

高カドミウム土壌でポット栽培したコマツナ、ハウレンソウ、シュンギクでは、カドミウム濃度が基準値を超える値を示したが、天地返しをすることで、未対策区の50%以下となり、ハウレンソウにおいては、40%客土することにより低カドミウム区と同程度まで低下し、遮根シートを敷いてもカドミウム抑制効果が認められた(菊池ら, 2008)。ハウレンソウは土壌中の交換態カドミウムを主体に、無機結合態カドミウムなどを吸収するが、可食部のカドミウム含量には品種間差があり、土壌pHを高くすることで可食部カドミウムが減少する品種もあった(砂川ら, 2008)。牛ふん、豚ふんなどの家畜ふん堆肥の連用により、ハウレンソウ、カブ中のカドミウムなどの濃度低下が認められた。これは、土壌pHが高まり土壌への重金属の溶出が抑制されるためと推察した(内藤・佐藤, 2007)。

異常穂が発生した水稲では、マンガン含量が低く推移し、マンガン施用により改善効果が認められた。また、異常穂の症状が激しい土壌は麦わら添加による土壌溶液中の鉄含量の増加が大きいことが認められた(六本木, 2008)。秋田県における堆肥由来の垂鉛負荷量は $66.03 \text{ t Zn 年}^{-1}$  ( $0.54 \text{ kg-Zn ha}^{-1} \text{ 年}^{-1}$ )と推定され、中でも豚堆肥由来が60.92%と高かった(佐藤ら, 2007)。都市ゴミ炭化物の施用により、ハウレンソウ、コマツナの収量は増加したが、可食部での重金属増加は認められなかった(山下ら, 2007)。非晶質鉄水酸化物の施用が、ヒ素汚染水を灌漑した水稲によるヒ素吸収と土壌中でのヒ素の有効性に及ぼす影響が検討され、非晶質鉄酸化物を0.1%添加した区では、生育向上、ヒ素含有率の低下、根表面での班鉄形成の増加が観察された(Ultra *et al.*, 2009)。

#### 4) 病虫害, 雑草抑制, 微生物など

タマネギ残渣炭化物を圃場に施用することにより、タマネギの肥大促進、ハクサイの収量増加、ハクサイの根こぶ病抑制が認められた(小林, 2009)。1年2作(春作: スイートコーン, 秋作: ハクサイ)の作付体系下で食品排水汚泥コンポストを $5 \text{ t } 10\text{a}^{-1}$ 施用して19作~26作連作すると収量が増加し、ハクサイ根こぶ病は発生せずハクサイの植物微量必須元素、重金属が高まった(吉田ら, 2007)。転炉スラグの多量施用によるアブラナ科野菜の根こぶ病防除のメカニズム、防除技術とその注意点が解説された(村上・後藤, 2009)。密閉縦型発酵装置から製造された牛ふん堆肥 $1 \text{ t } 10\text{a}^{-1}$ 施用は、根こぶ病発生抑制に効果が認められた(村上ら, 2010)。リン酸を過剰施肥することにより、根こぶ病が発生しやすくなることを示した。この現象は、土壌中の陽電荷が減少して土壌コロイドに吸着されていた休眠胞子が離脱し、土壌中に遊離しやすくなるためと考察した(村上・後藤, 2007)。

牛ふん堆肥中からリパーゼ活性のある菌を単離し、トマト根腐萎凋病菌を抑制する微生物の存在が明らかになった(鈴木ら, 2008)。ミミズにより土壌微生物活性は高まり、ミミズ堆肥は、植物の生育促進効果並びに、トマト萎ちょう病、イチゴ Botrytis 病が軽減するという報告が紹介された(豊田, 2009)。

シリカゲルを施用したイネの葉の表皮細胞へのいもち病菌の付着器侵入について検討され、イネ葉の表皮中のケイ酸層が、いもち病菌の付着器侵入への物理的障壁として関与していることが示唆された(早坂・藤井, 2010)。緑肥をすき込むことにより、一時的に病原性ピシウム菌による苗立枯れが発生するが、その後3週間程度経過すると発生が抑制され、その効果は温室内で明らかに認められた(東條ら, 2010)。罹病した作物の茎葉残渣と家畜ふんとの混合堆肥化には、高い植物病原菌の殺菌効果があることが明らかにされた(石崎・岡崎, 2008)。強力な殺菌資材であるオゾン水を利用することで、養液栽培における培養液伝染性病害の被害を阻止できることが紹介された(草刈, 2008)。

水稲栽培において、ノビエ2葉期までに学校給食残さ由来発酵乾物、スギおがくずを施用すると、除草効果が得られた(上田ら, 2007a)。水稲栽培において、アブラナ収穫残さをチップ化しすき込むことにより、高い雑草抑制効果が得られた(佐野ら, 2009)。米ぬかの施用は、水稲生育初期の雑草抑制に効果があり、急激な酸化還元電位の変化によるものと推測された(中山, 2010)。

ヘアリーベッチと比較して、ミズヒマワリ、ガーベラ、トマト、カヤツリグサ、スカビオサ、米ぬかは同等の、リュウノヒゲ、ギニアは有意に高いアレロパシー活性が認められた。また、ミズヒマワリとリュウノヒゲではヘアリーベッチと同等の水田雑草防除効果が認められた(石塚ら, 2008)。ジャガイモ栽培時、畝間に植えたヘアリーベッチを中耕することで、化学肥料の削減と雑草の抑制が確認された(吉川ら, 2007)。沖縄では、冬の被覆作物として、へ

アリーベッチ利用により雑草抑制効果が認められ、夏の被覆作物としてハッシュウマメ（ムクナ）を栽培することで、土壌流亡が抑制された（鬼頭, 2010）。

露地圃場に雑草をすき込み太陽熱消毒をした後では、雑草発生が抑制されるとともに土壌物理性の改善も認められ、その後のコマツナ栽培試験でも、雑草は発生したが個体重は小さくコマツナの生育や収穫作業への影響は認められなかった（堀, 2010）。ナシ剪定枝チップ化物を都市街路樹マルチ資材として施用することにより、雑草防止効果、土壌生物による土壌団粒化が認められた（入倉・市原, 2009）。サツマイモ焼酎蒸留粕濃縮液施用により、夏蒔きトウモロコシ栽培の雑草発生が抑制されるとともに減化学肥料栽培が可能になることが示された（小林・奥野, 2010）。水膨張性の被覆顆粒を用いることにより、除草剤（Kimoto *et al.*, 2007a）および殺虫剤（Kimoto *et al.*, 2007b）の新しい持続的放出技術が開発された。

水田圃場条件下での *Azospirillum sp. Strain B510* 接種がイネの生育に及ぼす影響が検討され、イネの生育、特に生育ステージ初期の分げつにおける接種効果は、窒素施肥レベルとイネの遺伝子型に依存することが示唆された（Sasaki *et al.*, 2010）。選抜されたエンドファイト *Enterbacter cloacae SM10* 株は、高土壌水分条件下におけるハウレンソウの発芽効率を高めたが、IAAが原因と推測される根伸張抑制効果も認められた（津田・小坂, 2009）。また、アジアにおける微生物資材の利用状況が解説された（大山ら, 2009）。

645の堆肥について、サルモネラ及び志賀毒素産生性大腸菌（STEC）O157の調査が行われ、サルモネラが検出された堆肥は1.2%で、STEC O157は検出されなかった。堆肥からサルモネラが検出された原因は、堆肥生産の際の低い処理温度もしくは堆肥化後の原料の混入が考えられた（長峰ら, 2007）。家畜排泄物処理における大腸菌の制御に関する研究がとりまとめられ、堆肥については高温処理の徹底、十分な腐熟期間の保持が重要で、液肥については、温度以外の生物的、物理化学的要因による大腸菌低減のメカニズムの解明が重要であることが示された（花島, 2009）。

##### 5) 溶出モデル、温室効果ガスなど

統計データにより窒素負荷の全体像が解説され、堆肥施用を考慮した窒素溶脱モデルが紹介された（前田, 2007）。吸着実験に基づく吸着速度モデルを用いて、異なる温度で炭化されたスギ間伐材（thinned wood from cedar）と活性炭素（activated carbon）（GAC）による溶存有機物（DOM）の吸着過程が定量的に評価された。最も高温の1050℃で炭化処理された炭（C1050）はGACと同様にDOMの吸着に用いられることが示された。また吸着速度式と実測値はよく一致していた（Miura *et al.*, 2008）。宮城県のとちぎ土壌において、13種類の原料や処理法の異なる家畜ふん堆肥の窒素分解経過が圃場埋設法により評価され、クラスト分析により供試堆肥は3つに大別でき、内田のモ

デル式により様々な家畜ふん堆肥連用による窒素集積量と放出量が予測可能であることが示された（瀧ら, 2010）。

静岡県の茶園が集積した台地とその周縁部を調査したところ、22河川中17河川で有意な硝酸性窒素濃度の減少が認められたが、硝酸性窒素流出量には減少傾向は認められなかった（高橋ら, 2009）。静岡県佐鳴湖周辺の農耕地の変遷と窒素成分収支を調査したところ、農耕地を含めた窒素排出量は平成13年から減少傾向を示していた（堀江ら, 2009）。日本全体および国内の特徴的な地域、タイ国東北地方を対象として農業生産にかかわる窒素循環が解析された（松本, 2008）。硝酸化成作用制御の意義と植物の硝酸化成抑制機能による環境負荷低減への可能性が紹介された（伊藤ら, 2008）。

八郎潟干拓地水田において、有機質資材を3年間連用し、温室効果ガス発生量に及ぼす影響が検討された。炭素分解率が高く、次年度以降の蓄積量への影響が少ない資材がメタン発生量に与える影響は小さいことが明らかにされた（林ら, 2010）。山形県において、種類の異なる家畜ふん堆肥（牛堆肥、豚堆肥、鶏堆肥）を稲わらに代えて水田へ施用したときのメタン発生量が明らかにされた。また、施用された有機物の熱水可溶有機物含量とメタン発生量に関係が認められた（熊谷ら, 2010）。塩分濃度と有機質肥料が塩性天水田からのメタン発生に及ぼす影響が調査され、塩分によるメタン発生抑制効果は、移植後の湛水開始の時期と湛水終了時期に認められた。また、有機質肥料を施用した初年目では、特にメタン発生量は増加しなかった（Supparattanapan *et al.*, 2009）。

3種類の緩効性窒素肥料（CDU、CDUに溶出制御剤を添加したUBER-four（UBF）、UBER-micro2（UBM2））のコマツナの窒素吸収量、硝酸態窒素の溶脱、N<sub>2</sub>O放出に与える影響が明らかにされた（Amkha *et al.*, 2007）。また、コマツナ2連作への無機化速度調節型アセトアルデヒド縮合尿素（CM-CDU）肥料の基肥1回施用による作物生育と窒素吸収、硝酸溶脱、N<sub>2</sub>O放出を調査した結果、CM-CDU-4がコマツナ2作への1回施用に適していた（Amkha *et al.*, 2009）。

キャベツ栽培黒ボク土畑において、牛ふん堆肥と発酵豚ふんを用いるブレンド施用と肥効調節型肥料の全量基肥施肥が、亜酸化窒素発生削減に有効であった（水上・郡司掛, 2008）。トマトの栽培期間全体を通した施肥窒素量に対するN<sub>2</sub>O放出量の比率は、養液土耕によっては低下しないことが示された（細野, 2008）。ミカン園黒ボク土壌の層別別に硝化抑制剤ジシアンジアミド（DCD）の添加のN<sub>2</sub>O発生への影響が検討された。DCDの添加により硝化およびN<sub>2</sub>O発生が抑制された。また、作土よりは少ないものの、下層土からも相当量のN<sub>2</sub>O発生が認められた（Matsushima *et al.*, 2009a）。

## 文 献

安部貞昭・椎原誠一・奈良絵美 2010. 農業および園芸, 85, 533

- 秋友 勝・本名俊正・増永二之・藤山英保 2007. 土肥誌, 78, 269.
- Amkha, S., Inubushi, K., and Takagaki, M. 2007. *Jpn. J. Trop. Agr.*, 51, 152.
- Amkha, S., Sakamoto, A., Tachibana, M., and Inubushi, K. 2009. *Soil. Sci. Plant Nutr.*, 55, 772.
- 荒巻幸一郎・荒木雅登・兼子 明・満田幸恵 2009. 福岡農総試研報, 28, 31.
- 荒尾知人・牧野知之・村上政治・石川 覚・阿部 薫 2010. 農業技術, 65, 205.
- 有吉真知子・平田俊昭 2010. 山口農技セ研報, 1, 11.
- Asagi, N., and Ueno, H., 2008. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 1928.
- Asagi, N., and Ueno, H. 2009. *Plant Soil*, DOI 10.1007/s11104-009-9913-4.
- Amkha, S., Sakamoto, A., Tachibana, M., and Inubushi, K. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 778.
- Ebid, A., Ueno, H., Ghoneim, A., and Asagi, N. 2008. *Plant Soil*, 304, 241.
- Fang, S., Liu, J., Liu, D., and Xie, B. 2010. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 56, 483.
- 藤田 裕・植田稔宏 2010. 茨城県農業総合センター園芸研究所研究報告, 17, 23.
- 藤富慎一・黒柳直彦 2009. 福岡農総試研報, 28, 23.
- Fujiwara, T., Murakami, K., Yoshida, E., and Takahashi, I. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 309.
- 福重直輝 2009. 東北農業研究, 62, 91.
- 福重直輝・伊藤信雄 2008. 東北農業研究, 61, 99.
- 古畑 哲 2009. 農業および園芸, 84, 159.
- 古畑 哲・五十嵐孝典・柏倉文夫 2007a. 季刊肥料, 107, 88.
- 古畑 哲・五十嵐孝典・柏倉文夫 2007b. 季刊肥料, 107, 96.
- 古屋 栄 2010. 農業および園芸, 85, 258.
- 葉上恒寿・高橋良学・佐藤 喬・中野亜弓・佐藤千秋・小田島ルミ子・新毛晴夫・小野剛志・多田勝郎 2009. 岩手農研セ研報, 9, 1.
- 花島 大 2009. 畜草研報, 9, 71.
- 長谷川和久・伊東志穂・松本 (宮本) 絵美・平場由美 2009. 農業および園芸, 84, 357.
- 服部浩之・田中美穂 2007. 農業および園芸, 82, 419.
- 早坂 剛・藤井弘志 2010. 山形農業研報, 2, 41.
- 林 雅史・小林ひとみ・渋谷 岳・伊藤千春 2010. 東北農業研究, 63, 15.
- 林 哲央・日笠祐治・坂本宣崇 2009. 土肥誌, 80, 14.
- 逸見彰男 2009. 農業および園芸, 84, 128.
- Hirzrl, J., Walter, L., Undurraga, P., and Cartagena, M. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53, 480.
- 人見忠良・吉永育生・三浦 麻・濱田康治・白谷栄作・高木強治 2007. 農業および園芸, 82, 505.
- 本田善文 2010. 農業技術, 65, 403.
- 堀 兼明 2010. 農業および園芸, 85, 60.
- 堀江優子・鈴木則夫・小杉 徹・神谷徑明・中村仁美・中島雅弥・堀内正美・大石直記・竹内淑子・松浦英之・吉川公規・中村明弘 2009. 静岡農林研報, 2, 35.
- 堀川拓未・伊藤豊彰・長谷川孝雄・増田 靖・新井忠男・三枝正彦 2007. 土肥誌, 78, 261.
- 細淵幸雄・中住晴彦 2007. 土肥誌, 78, 199.
- 細野達夫 2008. 季刊肥料, 110, 35.
- Hossain, M.Z., and Sasaki, T. 2008. 土壌の物理性, 110, 25.
- Huang, C.C., and Chen, Z.S. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 715.
- 五十嵐孝典・古畑 哲・柏倉文夫 2007. 季刊肥料, 108, 112.
- 池田加江・小山 太 2007. 福岡農総試研報, 26, 75.
- 今川彰教 2009. 農業および園芸, 84, 888.
- 今井清之・柴原藤善・堀田 悟・小野信一 2009. 滋賀農技セ研報, 48, 23.
- 犬伏和之 2008. 農業および園芸, 83, 545.
- 入倉敏広・市原裕子 2009. 農業および園芸, 84, 711.
- 石塚明子・福島裕助・大隈光善 2008. 福岡農総試研報, 27, 93.
- 石崎重信・岡崎好子 2008. 圃場と土壌, 40, 13.
- 磯部武志 2007. 農業および園芸, 82, 696.
- 磯部武志・草刈真一・岡田清嗣・岡田和久 2007. 大阪食とみどり技研報, 43, 1.
- 伊藤政憲・山崎紀子 2008. 土肥誌, 79, 155.
- 伊藤信雄・福重直輝 2007. 東北農業研究, 60, 103.
- 伊藤 治・グントゥール・スバラオ・渡辺 武・河野尚由 2008. 季刊肥料, 110, 28.
- 伊藤豊彰 2009. 農業および園芸, 84, 139.
- 伊藤千春・渋谷 岳・林 雅史 2010. 東北農業研究, 63, 13.
- 伊藤千春・渋谷 岳・小林ひとみ 2009a. 東北農業研究, 62, 41.
- 伊藤千春・渋谷 岳・小林ひとみ 2009b. 東北農業研究, 62, 43.
- 伊藤千春・進藤勇人・原田久富美・渋谷 岳・小林ひとみ 2008. 東北農業研究, 61, 27.
- Jayasinghe, G.Y., Tokashiki, Y., and Kitou, M. 2008. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 54, 264.
- 上西愛子 2010. 神奈川農技セ報, 152, 1.
- 金田吉弘 2009. 季刊肥料, 114, 21.
- 加藤一幾・植田稔宏・河野 隆・松本英一 2008. 茨城県農業総合センター園芸研究所研究報告, 16, 13.
- Khan, M.H.R., Kabir, S.M., Bhuiyan, M.M.A., Blume, H.P., Oki, Y., and Adachi, T. 2008. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 54, 574.
- 菊池 直・山崎浩道・木村 武・宮地直道・村上弘治 2008. 農業および園芸, 83, 280.
- Kimoto, N., Kutsuzawa, Y., and Inubushi, K. 2007a. *J. Pestic. Sci.*, 32, 243.
- Kimoto, N., Takahashi, A., and Inubushi, K. 2007b. *J. Pestic. Sci.*, 32, 402.
- 北 宣裕・上西愛子・曾我綾香・吉田 誠・北浦健生 2010. 神奈川農技セ報, 153, 49.
- 北田敬宇 2009. 土肥誌, 80, 545.
- 鬼頭 誠 2010. 農業および園芸, 85, 190.
- 小林尚司 2009. 農業および園芸, 84, 1199.
- 小林 透・奥野成倫 2010. 農業および園芸, 85, 235.
- Komariah., Ito, K., Senge, M., Adomako, J.T., and Afandi. 2008. 土壌の物理性, 108, 81.
- 小宮山鉄兵・新妻成一・藤澤英司・森国博全 2009. 土肥誌, 79, 616.
- 今野知佐子・稲生栄子 2008. 圃場と土壌, 41, 43.
- 今野知佐子・稲生栄子 2009. 農業および園芸, 84, 444.
- 今野知佐子・宍戸 修 2007. 東北農業研究, 60, 197.
- 久保寺秀夫 2008. 農業および園芸, 83, 1091.
- 久保山周子・久保田喜子・小松貴司・後藤逸男 2009. 土肥誌, 79, 168.
- 工藤一晃・三浦憲蔵・戸上和樹・吉住佳与・青木和彦 2009. 東北農業研究, 62, 183.
- 熊谷千冬・三枝正彦 2008. 土肥誌, 79, 491.
- 熊谷勝巳・塩野宏之・森岡幹夫・長沢和弘・中川文彦 2010. 山形農業研報, 2, 1.
- 草刈真一 2008. 農業技術, 63, 337.
- 李 香珍・谷 昌幸・相内大吾・小池正徳・倉持勝久 2009. 土肥誌, 80, 335.
- 前田守弘 2007. 圃場と土壌, 39, 22.
- 牧 浩之 2007. 圃場と土壌, 39, 33.
- 牧 浩之・永井耕介・小林尚司・河野 哲 2007. 土肥誌, 78, 519.
- 松田 晃・大野佳織・長久保有之・間藤 徹 2007. 土肥誌, 78, 317.

- 松本昌直・大須賀隆司・大場聖司・高橋和彦 2007. 静岡農試研報, 51, 26.
- 松本成夫 2008. 季刊肥料, 109, 44.
- Matsushima, M., Choi, W.J., and Inubushi, K., 2009a. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.*, 40, 3194.
- Matsushima, M., Lim, S.S., Kwak, J.H., Park, H.J., Lee, S.I., Lee, D.S., and Choi, W.J. 2009b. *Plant Soil*, 325, 187.
- Miura, A., Shiratani, E., Yoshinaga, I., Hitomi, T., Hamada, K., and Takaki, K. 2007. *JARQ*, 41, 211.
- Miura, A., Shiratani, E., Yoshinaga, I., Hitomi, T., Hamada, K., and Takaki, K. 2008. *JARQ*, 42, 49.
- 三浦憲蔵・戸上和樹・吉住佳与・工藤一晃・青木和彦・屋代幹雄・松尾健太郎 2009. 東北農業研究, 62, 181.
- 三浦憲蔵・吉住佳与・青木和彦・屋代幹雄 2008. 東北農業研究, 61, 59.
- 三浦吉則・荒井義光・渡邊敏弘 2007a. 東北農業研究, 60, 193.
- 三浦吉則・荒井義光・渡邊敏弘 2007b. 東北農業研究, 60, 39.
- 三浦吉則・中山秀貴 2008. 東北農業研究, 61, 49.
- 三浦吉則・尾形 正・半澤勝拓・野木照修 2009. 東北農業研究, 62, 185.
- 水上浩之・郡司掛則昭 2008. 熊本県農業研究センター研究報告, 15, 62.
- 望月 証・青山喜典・三好昭宏 2009. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 [農業編], 57, 1.
- 森 聡 2007. 徳島農研報, 4, 17.
- 森 聡 2010. 農業および園芸, 85, 617.
- 森岡幹夫・越智昭彦・齊藤 寛 2009. 東北農業研究, 62, 201.
- 森田明雄・中山彰一郎・中村孔秋・廣野祐平・野中邦彦 2009. 土肥誌, 80, 566.
- 村上圭一 2008. 農業および園芸, 83, 770.
- 村上圭一・後藤逸男 2007. 農業および園芸, 82, 1290.
- 村上圭一・後藤逸男 2009. 圃場と土壌, 41, 22.
- 村上圭一・鈴木啓史・黒田克利・加藤直人 2010. 関西病虫害研究会報, 52, 93.
- 村永順一郎 2009. 農業技術, 64, 456.
- 邑瀬章文・米林甲陽・内山知二・橋本 晋・安井宏昭 2007. 日本緑化工学会誌, 33, 281.
- 長峰孝文・中澤宗生・古谷 修・伊藤 稔・小堤恭平 2007. 日畜会報, 78, 331.
- 長坂克彦・加藤知美 2008. 山梨県農七研報, 2, 13.
- 内藤健二・佐藤賢一 2007. 埼玉農総研研報, 7, 6.
- 中島秀治 2007. 農業および園芸, 82, 1068.
- 中島秀治・福田陽子・市川泰之 2010. 農業および園芸, 85, 76.
- 中本 洋 2007. 農業および園芸, 82, 482.
- 中元勝彦・宮脇尚久・長谷川美穂子 2009. 広島総研農七研報, 84, 19.
- 中村仁美・高橋和彦・神谷径明・小杉 徹 2007. 静岡農試研報, 51, 1.
- 中野明正・宮本晋吾 2009. 農業および園芸, 84, 435.
- 中尾宏人・安藤洋太郎・吉田重方 2008. 農業および園芸, 83, 775.
- 中山 恵・亀和田國彦・京島理恵 2008. 栃木県農試研報, 63, 17.
- 中山幸則 2010. 農業および園芸, 85, 252.
- 二瓶直登 2008. 季刊肥料, 110, 40.
- 二瓶直登 2010. 農業および園芸, 85, 367.
- 日本土壌協会編 2008. 圃場と土壌, 40, 88.
- 西堀康士・柴原藤善・武久邦彦・北川靖夫・久馬一剛 2009. 滋賀農七研報, 48, 35.
- 西田瑞彦 2010. 圃場と土壌, 42, 35.
- 大場聖司・松本昌直・大須賀隆司・荒川 博・高橋和彦 2007. 静岡農試研報, 51, 33.
- 大井義弘・大津善雄・芳野 豊・寺田光明 2008. 長崎県総合農林試験場研究報告 (農業部門), 34, 53.
- 大田和宏・北浦健生・伊藤喜誠 2009. 神奈川農七報, 151, 17.
- 大津善雄・石井研至 2008. 長崎県総合農林試験場研究報告 (農業部門), 34, 39.
- 大山卓爾・横山 正・安藤象太郎 2009. 農業および園芸, 84, 203.
- 岡本昌広・植草秀敏・伊藤喜誠 2009. 土肥誌, 80, 526.
- 岡本 保 2008. 神奈川農七報, 150, 41.
- Onishi, T., Kato, M., and Nishimura, T. 2008. 土壌の物理性, 108, 53.
- 大森誉紀 2008. 愛媛農試研報, 41, 41.
- 大森誉紀 2009. 愛媛農林水研研報, 1, 27.
- 大家理哉・山本章吾・久山弘巳 2007. 土肥誌, 78, 237.
- 小柳 渉・安藤義昭 2007a. 新潟畜七研報, 16, 3.
- 小柳 渉・安藤義昭 2007b. 新潟畜七研報, 16, 28.
- 六本木和夫 2008. 季刊肥料, 111, 77.
- 龍 勝利・井手 治・森山友幸・奥幸一郎 2008. 福岡農総試研報, 27, 59.
- 坂本一憲 2009. 農業および園芸, 84, 124.
- Sangtong P., and Katoh K. 2010. *JARQ*, 44, 133
- 佐野修司・内山知二・上田知弘・植田正浩・深井正清・柴原藤善 2009. 大阪環農水研報, 2, 33
- Sasaki, K., Ikeda, S., Eda, S., Mitsui, H., Hanzawa, E., Kisara, C., Kazama, Y., Kushida, A., Shinano, T., Minamisawa, K., and Sato, T. 2010. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 56, 636
- 佐藤信仁・宮下 徹・畑中康孝 2007a. 福井農試研究報告, 44, 21.
- 佐藤信仁・宮下 徹・畑中康孝 2007b. 農業および園芸, 82, 285.
- 佐藤紀男・三浦吉則 2008. 圃場と土壌, 40, 15.
- 佐藤雄太・谷口吉光・中野芳雄・尾崎保夫 2007. 農業および園芸, 82, 489.
- 佐藤義人 2008. 東北農業研究, 61, 105.
- 菅原賢一・日野義彦 2008. 東北農業研究, 61, 103.
- 杉川陽一・後藤英次・安積大治 2009. 土肥誌, 80, 530.
- 杉山泰之 2009. 静岡県農林技術研究所特別報告, 2, 41.
- 砂川 匡・袖垣一也・安田雅晴・沢野定憲 2008. 岐阜農七報, 8, 26.
- Supparattanapan, S., Saenjan, P., Quantin, C., Maeght, J.L., and Grunberger, O. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 142.
- 鈴木啓史・村上圭一・黒田克利 2008. 関西病虫害研究会報, 50, 95.
- 高橋智紀・新良力也・宮地直道・戸田任重・村中康秀・廣野祐平・渥美和彦・福島 務・杉浦秀治 2009. 静岡農林研報, 2, 23.
- 高田 修・山口悦司 2008. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 [畜産編], 44, 6.
- 竹中賢司・伊藤純樹 2010. 広島総研農七研報, 87, 15.
- 瀧 典明・熊谷千冬・齋藤公夫 2010. 宮城古川農試報, 8, 7.
- 瀧 典明・若嶋惇子・高橋浩明・畑中 篤 2009. 東北農業研究, 62, 37.
- 田中修作・歌野裕子・石田豊明・森田敏雅 2008. 熊本県農業研究センター研究報告, 14, 61.
- 種村竜太 2010. 農業および園芸, 85, 609.
- 寺澤秀和・大崎 満 2009. 土肥誌, 80, 561.
- 東條元昭・中山 (山田) 佳代子・三村 (小堀) 浩子 2010. 農業および園芸, 85, 183.
- 常盤秀夫 2008. 東北農業研究, 61, 183.
- 常盤秀夫 2009. 農業および園芸, 84, 96.
- 鳥越昌隆 2007. 農業および園芸, 82, 25.
- TORRES-DORANTE Luis Omar, LAMMEL Joachim, KUHLMANN Hermann, OLFS Hans-Werner 2008. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171, 777.
- 豊田剛己 2009. 農業および園芸, 84, 213.
- 津田和久・小坂能尚 2009. 農業および園芸, 84, 449.

- 上田知弘・藤岡 一・佐能正剛 2007a. 大阪食とみどり技研報, **43**, 31.
- 上田知弘・佐能正剛・藤岡 一・草刈眞一・河野元信・三上隆司・越智龍彦・片寄政彦・吉田恭一郎・齋藤洋介・阿知波信夫・阿部一博 2007b. 大阪食とみどり技研報, **43**, 29.
- 上村浩憲・城 秀信・榊 英雄・大崎伸一・田中雅晃・土田通彦 2009. 熊本県農業研究センター研究報告, **16**, 69.
- 上藺一郎・餅田利之 2007. 鹿児島農総セ研報 (耕種), **1**, 37.
- Ultra, Jr V.U., Nakayama, A., Tanaka, S., Kang, Y., Sakurai, K., and Iwasaki, K. 2009. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **55**, 160.
- Ushiwata, S., Y., Sasa, H., and Inubushi, K. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 489.
- Vogel, C., Adam, C., Peplinski, B., and Wellendorf, S. 2010. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **56**, 627.
- Wilson, J.D., Zheljzkov, V.D., Rathgeber, B., Caldwell, C.D., and Burton, D.L. 2008. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **54**, 600.
- 山田和義・上原敬義・齋藤龍司・小松和彦・吉田清志 2009. 土肥誌, **80**, 280.
- 山田寧直・寺井利久・大津善雄・宮寄朋浩・飯野慎也・山崎和之・黒川陽治・小林雅昭 2007. 長崎県総合農林試験場研究報告 (農業部門), **33**, 27.
- Yamamoto, T., Shimura, Y., Nishimura, T., Andry, H., Moritani, S., and Al-Busaidi, A. 2008. 土壌の物理性, **110**, 53.
- 山本幸洋 2008. 農業技術, **63**, 149.
- 山崎修平・長坂克彦・加藤知美・望月久美子・花形敏男 2009. 山梨県農セ研報, **3**, 15.
- 山崎幸重・安岡由紀・岩崎昭雄・松岡俊二 2007. 高知農技セ研報, **16**, 71.
- 山下浩一・平浩一郎・竹中 勲・藤田奈都 2007. 奈良農総セ研報, **38**, 1.
- 山内正仁・樗木直也・山田真義・増田純雄・米田真美・稲永醇二 2008. 土肥誌, **79**, 299.
- 山内 稔 2010. 農業および園芸, **85**, 70.
- 横山明敏・西原基樹・上田重英・川崎佳栄 2009. 宮崎総農試報, **44**, 14.
- 吉田重方・藤田守幸・藤田守宏 2008. 農業および園芸, **83**, 892.
- 吉田重方・角谷弘雅・門野 稔 2007. 農業および園芸, **82**, 563.
- 吉川那々子・瀧 勝俊 2009. 愛知県農業試験報, **41**, 29.
- 吉川省子・藤井義晴・村上敏文・藤原伸介 2007. 農業および園芸, **82**, 463.
- 吉川省子・村上敏文・藤原伸介 2010. 農業および園芸, **85**, 626.