

有機農業支援事業・有機農業栽培技術体型化促進対策
有機農業営農ビジョン構築支援事業報告書

有機農業の基礎知識

[土づくりと施肥管理]



平成27年3月

一財財団法人 日本土壌協会

は し が き

(一財)日本土壌協会では、平成26年度に農林水産省から「有機農業営農ビジョン構築支援事業」を受託して事業主体となり、学識経験者からなる協議会を設置して、「有機農業農家研修カリキュラム」や「有機農業営農計画支援マニュアル」の作成を行いました。

この一環として、新規就農者の育成に重要な役割を果たしている有機農業の研修受入農家の拡大と研修内容の充実を図るため、農家研修のためのカリキュラム等について検討を行ってまいりました。

その過程で、農家研修の実情を把握するため、研修受入農家と研修受講農業者に対しアンケート調査を行いました。約120戸にのぼる多数の農家の方々から、非常に貴重なご回答、ご意見を頂き、研修カリキュラム作成の検討に大変役立てることができました。

今回の多くの農家からの意向の一つとして、有機農業の農家研修に役立つ教材の必要性が強く求められており、本事業を検討・推進する協議会の意見でも、「有機農業の基礎知識」に関する資料の作成が必要とされました。

そこで、意向調査の意見の中でも特に要望が多く、また、有機農業技術の中でも最も重視されている「土づくりと施肥管理」の技術にしぼって、有機農業参加者にも分かりやすい形で資料を作成することとしました。

有機農業の技術には奥深いものがありますが、農家研修を受ける方々の多くが、農業の知識、経験がないことを踏まえ、有機農業を学ぶ上で、最低限知っておいた方がよいと考えられる内容にしぼって作成をいたしました。本資料はホームページでも公開しており、有機農業者に限らず広く新規就農者にとっても役立つ基礎知識になると考えております。研修受入農家におかれましても、必要に応じて、座学、研修会、圃場現場での説明の補助資料として役立てて頂ければ幸いです。

本書の執筆は協議会の委員である上野秀人氏（(国)愛媛大学農学部教授）及び猪股敏郎氏（(一財)日本土壌協会専務理事）のお二人が原案を作成し、営農カリキュラム作成の委員の査読・補完を経て作成したものです。関係者に対し、この場を借りて、深く感謝の意を表する次第です。

平成27年3月31日

一般財団法人 日本土壌協会
会 長 松 本 聡

平成 26 年度 有機農業営農ビジョン構築支援事業協議会委員

金子 美登	有機農業営農ビジョン構築支援事業協議会代表 全国有機農業推進協議会理事長 霜里農場代表 有機農業実践家（埼玉県）
根本 久	カリキュラム作成主査 保全生物的防除研究事務所代表、元埼玉県水田農業研究所長
上野 秀人	カリキュラム作成 (国)愛媛大学農学部教授
稲垣 栄洋	カリキュラム作成 (国)静岡大学大学院農学研究科教授
岩石 真嗣	カリキュラム作成 (公財)自然農法国際研究開発センター普及部長
小池 俊吉	営農計画マニュアル作成主査 (元) (独)東北農業研究センター 東北地域活性化研究チーム チーム長
高橋 太一	営農計画マニュアル作成 (独)東北農業研究センター生産基盤研究 領域農業経営グループ長
田中 基晴	営農計画マニュアル作成 (元) (独)九州沖縄農業研究センター 研究管理官
千葉 康伸	営農計画マニュアル作成 NO-R A ～農楽代表 有機農業実践家（神奈川県）
猪股 敏郎	全体調整、(一財)日本土壌協会専務理事

[事務局担当]

(一財)日本土壌協会 専任部長	小松 清明
同 上 専門職	平澤 陽一

目 次

1. 有機栽培における土づくり及び施肥管理	
(1) 土壌と有機農業による食料生産	1
(2) 有機質肥料の肥効特性を把握する	3
(3) 土壌診断と施肥設計に基づいた肥培管理を行う	5
(4) 中長期的展望を持った土づくりと肥培管理を行う	6
2. 土壌についての基礎	
(1) 作物生育と土壌の役割	7
1) 土壌の役割	7
2) 根の働き	8
(2) 土壌の特性と作物生産	11
1) 土壌の種類分布は地域、地形によって異なる	11
2) 土壌粒子の大きさによって排水性、保肥力などが異なる	13
3) 土壌の種類、土性とマッチした作物生産が望ましい	13
(3) 土壌の化学性と作物生産	14
1) 必須元素と有用元素	14
2) 主な土壌の化学性の診断項目	16
①土壌の特性把握に関する項目	17
②pH	19
③EC	21
④土壌養分	22
⑤塩基飽和度と塩基バランス	27
⑥微量元素	29
⑦水田で重視される診断項目	31
(4) 土壌物理性と作物生産	33
1) 土層の深さ関係診断項目	33
2) 土壌の硬さ、通気性等に関する診断項目	34
3) 土層の深さ、土壌の硬さ、通気性等の改善	37
4) 土壌水分関係診断項目	38
5) 土壌排水性等の改善	41
(5) 土壌の生物性と作物生育	42
1) 土壌生物の種類と土壌病害の発生	43
2) 土壌病害、センチュウ害の抑制対策	48
(6) 作物生育にとって好ましい土壌環境と課題	52
1) 水稲	52
2) 野菜、草花、畑作物	56
3) 果樹、茶	59
3. 土づくり対策	
(1) 水田	63
1) 遊休地や有機栽培への転換初期の早期地力向上対策	63
2) 通常期に入ってから土づくり	66
(2) 普通畑・施設栽培地	67
1) 遊休地や有機栽培への転換初期の早期地力向上対策	67
2) 通常期に入ってから土づくり	69
(3) 土壌改良対策	72
1) 有機質資材の種類と特性	72
2) 土壌改良資材	74
3) 堆肥の利用と土づくり	76

①堆肥の特性と利用上の留意点	76
②堆肥の種類と成分特性	78
③堆肥の品質	79
④堆肥利用上の留意点	80
4) 堆肥の製造法と留意点	80
①堆肥化の目的	80
②堆肥化のプロセス	80
③良い堆肥を製造するための留意点	81
5) 水田における稲わら・籾殻・米糠の利用と土づくり	81
①収穫残渣利用の考え方	81
②収穫残渣利用の留意事項	82
6) 緑肥作物の特性と利用	82
①緑肥活用の利点	84
②利用上の注意点	84
③緑肥草種を選択	85
④緑肥の栽培とすき込み	90
⑤マメ科緑肥利用の注意点	93
⑥緑肥の施肥法	94
4. 施肥管理対策	
(1) 作物の養分吸収特性	95
(2) 主要作物の施肥特性と施肥管理	97
1) 穀類 (水稻)	97
2) 葉菜類 (ホウレンソウ)	98
3) 果菜類 (トマト)	100
4) 果樹 (リンゴ)	101
(3) 土壌診断の内容と進め方	103
1) 土壌診断の種類と内容	103
2) 土壌診断の内容	104
3) 土壌診断の進め方	105
4) 土壌分析・調査測定	107
5) 土壌分析結果の診断と改善	110
(4) pH、EC、無機態窒素の管理と対応	111
(5) 主要養分と施肥管理	113
(6) 微量元素の過不足と作物	114
1) 土壌 pH の影響	115
2) リン酸の影響	115
3) 過湿による酸化還元電位の低下の影響	115
4) 土壌乾燥の影響	115
5) 作物により微量元素の吸収量は大きく異なる	115
(7) 有機物の適切な施用	116
1) 堆肥等有機物の肥効	116
2) 作物の地力窒素の吸収	119
3) 有機物の窒素肥効の目安となる C/N 比の見方	119
(8) 有機質肥料の特性と効果的利用	122
1) 有機質肥料の種類別特性	122
2) 有機質肥料の土壌微生物性	125
3) 微生物多様性の低い有機質資材も連用で高まる	126
4) 堆肥施用における留意点	127
引用文献	128

(1) 土壌と有機農業による食料生産

土壌は、日本のみならず世界中の関係研究者から、「ブラックボックス」(中身がよく分からないもの)とよく言われる。それは、土壌を構成する要素(鉱物、粘土、土壌微生物、動植物遺体、腐植等)が多く、さらにそれらの質、量、時空間的変化が大きく、複雑に関係しているからである(図1-1)。それでは全くつかみ所がなく、正体不明なものかという、そういう訳でもなく、植物を育てて食料や木材を提供し、雨水を浄化・涵養し、動植物遺体を分解して養分元素を回収・貯蔵し、多くの土壌生物に住处を与え、湿度や気温、太陽光反射量を適度に保つ等、それ自身が自然物でありながら、自然の営みの基盤を作るという方向性を有する、人間の日常生活においてもなくてはならないものである。

農業における作物生産は、土壌生成や微生物とともに共進化、発達してきた植物を、人間が目的を持って効率的に生産する行為である。したがって、作物生産力は、土壌性能や特

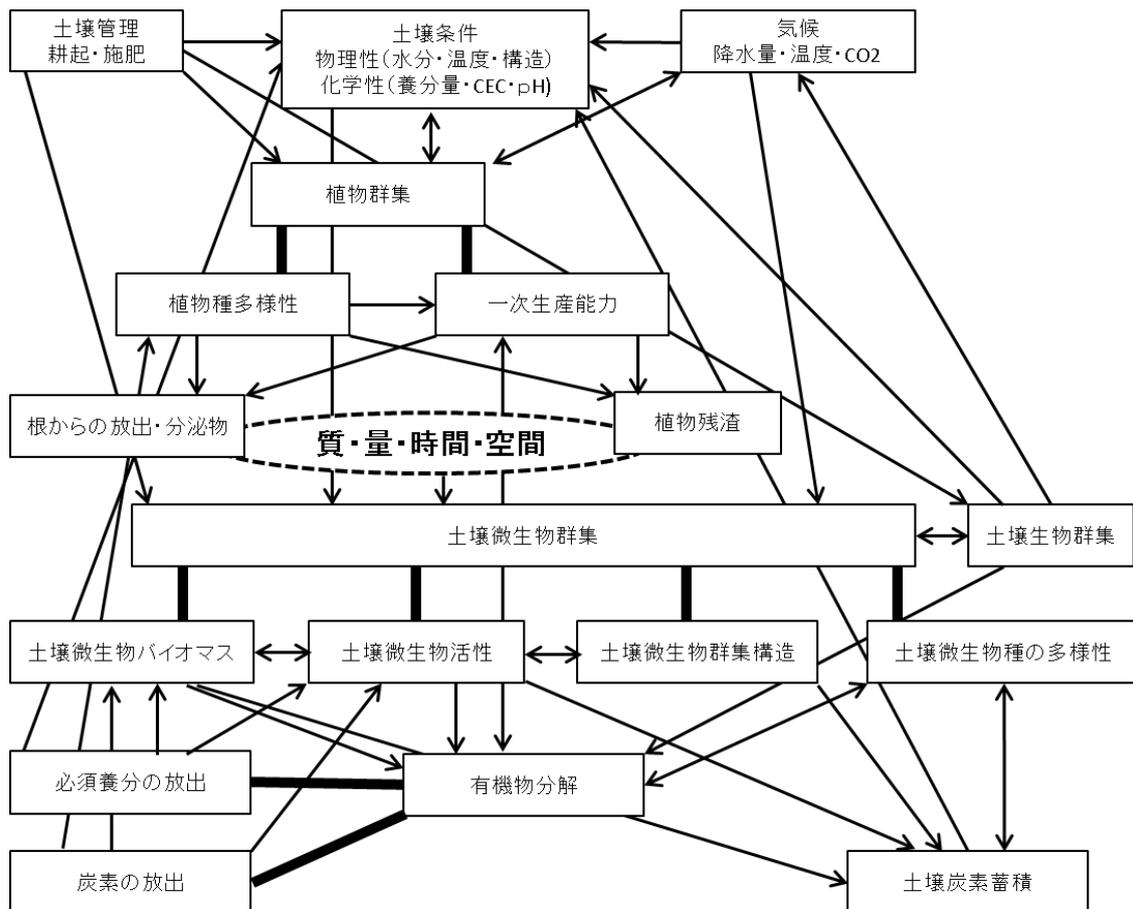


図1-1 土壌及び地上部生態系の相互作用、環境条件と炭素循環

(Condronら(2010)から作図)

性に大きく依存することは上記理由から自明の理である。

人類は科学を発達させる中で、植物栄養生理の解明や化学肥料の発明により、飛躍的に作物生産量を増加させ、地球規模で増え続ける人口を養えるだけの食料供給をほぼ成し遂げてきた。しかし近年、効率や増産を主眼とする多量施肥は、土、水、大気環境に悪影響を与えること、窒素肥料は石油からリンや加里肥料は有限な埋蔵鉱石から生産されることから、人類の未来のために資源利用量を節約し、有効利用することが求められている。特に地下資源に乏しく、肥料資源のほとんどを海外からの輸入に頼っている我が国においては、深刻に考えなければならない喫緊の課題である。

有機農業では、土壤に有機物を施用することにより、土壤機能を向上させて植物の生育環境を最適化させるとともに、有機物に含まれる養分を緩やかに植物へ供給することにより、生育を促進させることが技術の基本となっている。施用される有機物の多くは、農業や食品加工産業などから排出されるもの等の再利用物であるため、資源の有効活用と言える。また廃棄物の集積や処理に伴う環境悪化を防ぎ、コストを削減することもできる。

有機農産物の品質については、依然、論議が分かれるところであるが、有機質肥料を施用した場合は、化学肥料施用に比べて、草型や栄養代謝、生育特性が異なるとともに、機能性成分含量が高まるなど、品質が向上するとする研究成果も出されてきている。

有機農業は、化学肥料が開発されるずっと以前から行われていたと考えることができるかも知れないが、農業技術や科学が発展した今日では、有機農業の技術理論、材料、手法、品種、機械、養水分管理、基盤整備、病害虫・雑草制御技術などが飛躍的に発達しており、化学肥料や農薬を使用した場合と同等かそれ以上の収量をあげる農家も多数存在する。

土壤への有機物施用は、土づくりの基本であり、土壤の物理性、化学性、生物性の改善はもとより、使用法によっては雑草抑制にも利用可能であり、環境保全にも大きく寄与することができる（表1-1）。このため、土づくりは有機農業に限らず慣行農業においても農業を営む上で重要な技術であり、国策として、地力保全の立場から積極的な有機物施用が推奨されている。

表1-1 有機物施用の土壤、圃場、環境に対する効果

土壤物理性の改善	団粒・土壤構造の発達、通気性・保水性・透水性の改善、土壤流亡・溶脱・侵食の抑制、土壤水分・地温の安定化、土壤膨軟化による作物根系の発達、作土の厚層化
土壤化学性の改善	腐植・土壤有機物の増加、pHの適正化・安定化、養分の供給、過剰塩類の除去、養分保持能力の増加
土壤生物性の改善	生物多様性の向上、土壤生物活性の上昇、有用微生物の定着、有害線虫や病害の抑制
雑草抑制	地表面の遮光による雑草の発生抑制と光合成阻害、アレロパシー効果
地球・地域環境の保全と省資源	未利用有機物利用による養分リサイクル、養分流出の抑制、有限資源の効率的利用

(2) 有機質肥料の肥効特性を把握する

慣行栽培を行ってきた農家が、有機農業に転換する上で問題になるのが肥培管理である。有機栽培では、速効性化学肥料を使用することができないので、土壌中の養分管理を目標の値に近づけることが難しかったり、養分が不足してもすぐに対応することができない等の問題が生じやすい。そのため有機栽培では、地力窒素等の養分が土壌から安定して供給されるように土づくりを徹底するとともに、養分が効率的に吸収されるように、作物や品種、作付けを選択し、無理のない作付体系を作ることが重要と言える。この作付体系は、作物の生態特性に適合する場合が多く、いわゆる旬の作物を栽培することになり、病虫害の影響も比較的少ない。しかし、施設を利用して複数回の作付けを行ったり、果菜類等を長期間栽培する場合は、土壌に保持された可給態養分だけでは不足するので、有機質肥料の追肥を行うことになる。

有機質肥料の追肥は、比較的窒素含量が高く、炭素率（C/N比）が低い、有機質肥料の中では速効性に分類される資材が用いられる場合が多い。したがって、化学肥料で組み立てられた肥培管理法に準じた施用量や施用間隔でも順調な生育を示すことがある。しかしながら、有機質肥料は主成分が有機物であるため、養分を溶出させるには、基本的に微生物による分解が必要であり、それには、水分、温度、酸素条件が揃う必要がある。例えば、追肥として土壌表面に施用した場合は、乾燥しがちであり、分解と養分供給が滞るので、作物に影響を与えない範囲で、灌水を行ったり、土壌表層に混合するなどの有機質肥料を分解促進するための作業が必要である。また、有機質肥料から溶出する成分は、化学肥料のように一様ではない。最初は水溶性の無機成分や低分子有機化合物が溶出する。その後は複数の土壌微生物が有機物分解と増殖、死滅を繰り返し、微生物種も変化しながら分解が進行する。難分解性物質が残存してくると徐々に分解速度が低下し、養分供給も少なくなる。無機成分ではカリウムが初期に溶出し、カルシウムは分解がある程度進行してから溶出する。もちろんこの間も、土づくり資材や基肥からの緩慢な養分供給も行われているので、養分供給はトータルで考える必要がある。

このように有機農業における肥培管理は、土壌特性、各種有機質肥料や資材からの養分溶出量、溶出時期から土壌養分濃度をシミュレーションし、作物の養分吸収パターンに沿った養分供給になるように、肥培管理や施肥設計を行うことが必要である。このため有機農業では、土壌特性、作物の養分吸収特性、有機質肥料の養分含量や溶出特性等の知識や経験を充実させる必要がある。

ポット実験を使った精密実験の事例（愛媛大学，2014）を紹介したい。ポットに同じ土壌を同量充填して、化学肥料（窒素 15kg/10a）と有機質肥料、あるいは鶏糞堆肥を窒素成分で化学肥料の 0.8 倍、1 倍、2 倍施用したものを設けた。収穫時のデータを図 1-1 に示した。有機肥料 1 倍区は 化学肥料と同量の窒素養分を施用したことになるが、草丈は低く、生育は劣った。しかし、有機肥料を 2 倍量施用すると草丈は化学肥料と同等になった。葉色値も同様で、有機肥料を 2 倍施用すると化学肥料と同等の濃さの葉色値を示した。

これに対して、有機肥料1倍区のビタミンCは、化学肥料区より高くなった。有機肥料を2倍施用すると少し低下する傾向が見られた。抗酸化力の指標の一つであるSOD活性は、化学肥料と有機肥料1倍区で同等であり、有機肥料2倍区では増加した。

これらの結果から、化学肥料と同量の窒素分量を有機質肥料で与えると、生育が劣るが、施用量を増加させることにより、生育を化学肥料と同等にさせることが可能である。有機肥料1倍区のビタミンCは化学肥料区より高かったが、有機肥料の施用量が多いと低下する可能性がある。抗酸化力（SOD）は、有機肥料の施用量を増加させて生育を促進させると、化学肥料区より高まる可能性がある。

チンゲンサイの炭素率（C/N比）には、有機肥料と化学肥料では大きな差が現れた。化学肥料で最も低くなり、吸収した窒素に比べて光合成量が相対的に低かったことを示す。これに対して有機肥料区は高く、吸収した窒素を有効的に用いて光合成を行い、生育したと言える。しかし、有機肥料の施用量を増加させると炭素率は低下して、有機質肥料2倍区では、化学肥料に近い値にまで低下した。

食味低下や健康被害が懸念される硝酸は、有機肥料施用により大きく低下していた。しかし、有機肥料の施用量を増加させると硝酸濃度も増加しており、過剰施用には留意する必要がある（図1-2）。

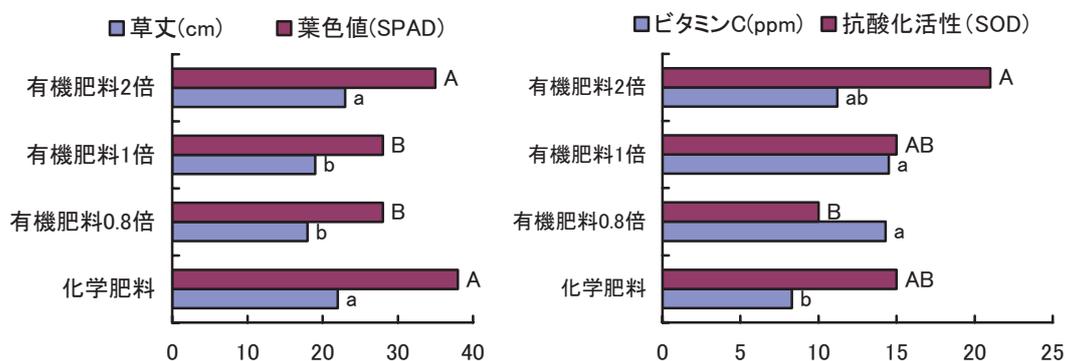


図1-1 チンゲンサイを化学肥料および有機肥料で栽培したときの生育(左)と品質(右)の比較

注：各項目において異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり。

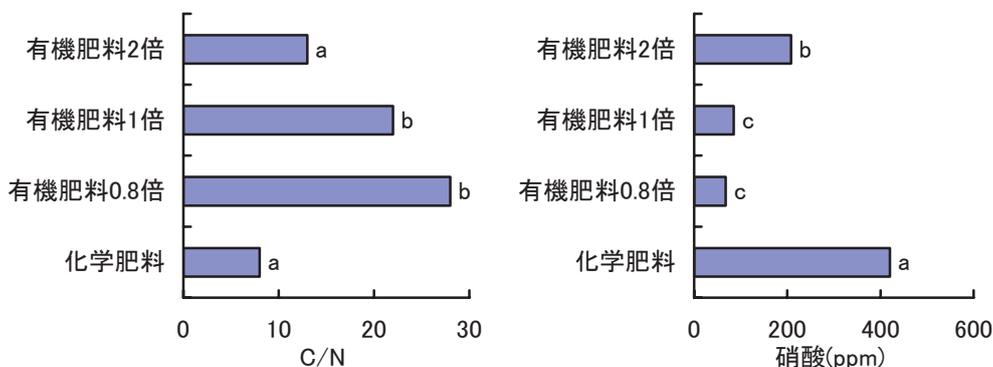


図1-2 チンゲンサイを化学肥料と有機肥料で栽培したときのC/N比(左)と硝酸濃度(右)の比較

注：各項目において異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり。

(3) 土壌診断と施肥設計に基づいた肥培管理を行う

有機質肥料は、肥効が穏やかであるため、農家は作物生育の施肥反応を感知しにくく、多投入になりやすい。また、土づくりのために堆肥等の有機質資材が施用されるが、これらの中にも種々の栄養成分が含まれており、長期間多投入を繰り返すと養分過剰になり、生理障害が生じて生育不良となったり、収量や品質が低下してしまうことになる。特にリンやカリウムは過剰障害が出にくい元素であるため、有機栽培の圃場においては過剰に蓄積している事例が少なくない。このような圃場では養分バランスが崩れるため、カルシウムやマグネシウムの吸収阻害や微量元素の不可給態化による欠乏症、さらに地下水汚染などにも影響が及ぶ可能性がある。有機農業における土づくりでは、土壌の健全化を目指すことを目的として必要な有機物を施用することを推奨しており、無計画な有機物の過剰施用は、かえって土壌を汚染し、作物の生育や品質を低下させる可能性があることを良く理解しておく必要がある。

したがって、有機栽培では土壌診断を定期的に行って、土壌の化学性や物理性の状況をまず把握し、次に作付けに必要となる養分量や使用する有機質資材の養分含量等から施用量を計算して施肥設計を組み立て、総合的にバランスのとれた肥培管理と土づくりを目指すことになる。慣行栽培においても土壌診断に基づいた施肥設計は重要であるが、有機栽培では有機質資材に多くの成分が含まれていること、また施用後の土壌中での反応が複雑であることから、特に土壌診断と施肥設計は重要となる。有機栽培では、化学合成農薬を用いることができないため、慣行栽培以上に健全に育てることが必要であり、土壌の健全化はその第一歩と言える。

表1-2に野菜品質と地下部の栽培条件の関係を示した。土壌養分については、窒素が最も品質や収量に影響を与えることが分かる。土壌物理性については、地温や土壌水分が非常に大きく影響している。また、土壌病害虫は全ての項目について関与しており、土壌を健全に保ち、病害虫濃度を低下させることが重要である。

表1-2 野菜の品質と地下部の栽培条件

野菜分類	品質と収量	窒素	リン酸	カリウム	微量元素	地温	土壌水分	土壌病害虫
果菜類	外観	◎	○			◎	◎	○
	日持ち性			○		◎	○	○
	糖度	◎				○	◎	○
	酸度	◎				○	◎	○
	ビタミン	◎				○	○	○
	収量	◎	○	○	○	◎	◎	○
葉菜類	外観	◎				◎	◎	○
	日持ち性	◎				◎	◎	○
	糖度	◎				○	◎	○
	酸度			○		○	○	○
	ビタミン	◎				○	○	○
	収量	◎	○	○	○	◎	◎	○
根菜類	外観	◎				◎	◎	○
	日持ち性	◎	○		○	◎	◎	○
	糖度	◎	○	○		○	◎	○
	酸度					○	◎	○
	ビタミン	◎				○	◎	○
	収量	◎		○	○	◎	◎	○

◎：深く関係する、○：関係がある、△：はっきりしない
 青木（1995）、中野（2009）

(4) 中長期的展望を持った土づくりと肥培管理を行う

熟練した有機栽培農家からは、「土づくりを行えば、種をまいたり、苗を植えるだけで、あとは作物が勝手に育ってくれる」という言葉をよく耳にする。土づくりを達成した農家には、不耕起栽培を行い、非常に省力化を図った有機栽培農家もいる。しかし土づくりは、一朝一夕に行えるものではない。有機 JAS 法では少なくとも2年以上、化学肥料を使用しないことが基準となっているが、安定した栽培に至るまでには、多くの場合、有機栽培として認証された後も5年、10年と時間を掛けて土づくりを行っていることが多い。もちろん地力が十分高まるまでの年月は、土壌管理はもちろん、土質や気候、乾湿によっても変わってくる。透水性が悪い圃場では、最初に暗渠排水や排水溝を設けたり、客土が必要な場合もある。土づくりの早道としては、最初に土壌診断や土壌調査を行い、土づくりについて中長期的な計画を立てるとともに、透水性や作土層の確保などの土壌物理性の改善を早期に行う方が良い。しかし、コストを掛けられなかったり、遊休地を設けることができない場合もあるので、その場合は、トウモロコシ等の深根性の作物を栽培するなど、経営を成り立たせながら物理性を改善し、地力を高める方策をとる。土づくりの主役は、土壌生物であるので、圃場に住处とエサを増やし、農地生態系の多様性向上と豊化に努めるようにすると良い。

2

土壌についての基礎

(1) 作物生育と土壌の役割

1) 土壌の役割

作物は太陽の光エネルギーを利用し、光合成作用により水と二酸化炭素から炭水化物を合成している。また、根から吸収する窒素、リン酸などの養分を用い炭水化物から様々な有機物を合成し作物体を構成している。根から養分吸収するためのエネルギーは呼吸によって得られ、その呼吸を行うために酸素と炭水化物が消費される。このように作物は根からの養分吸収や光合成作用などによって生育していく（図2-1）。

このようなことを順調に行うための土壌の役割としては、①作物体を支持し受光態勢を整える、②作物が必要とする水や酸素を根から供給する、③作物への窒素、リン酸、加里などの養分を根から供給する、④養水分や土壌微生物相の変化等を和らげ、長く維持しようとする、などである。

土壌の役割の中では、根が地上部へ養水分を供給する役割を十分行える土壌構造であるかどうか特に重要で、この良し悪しが作物の生育に大きく影響する。

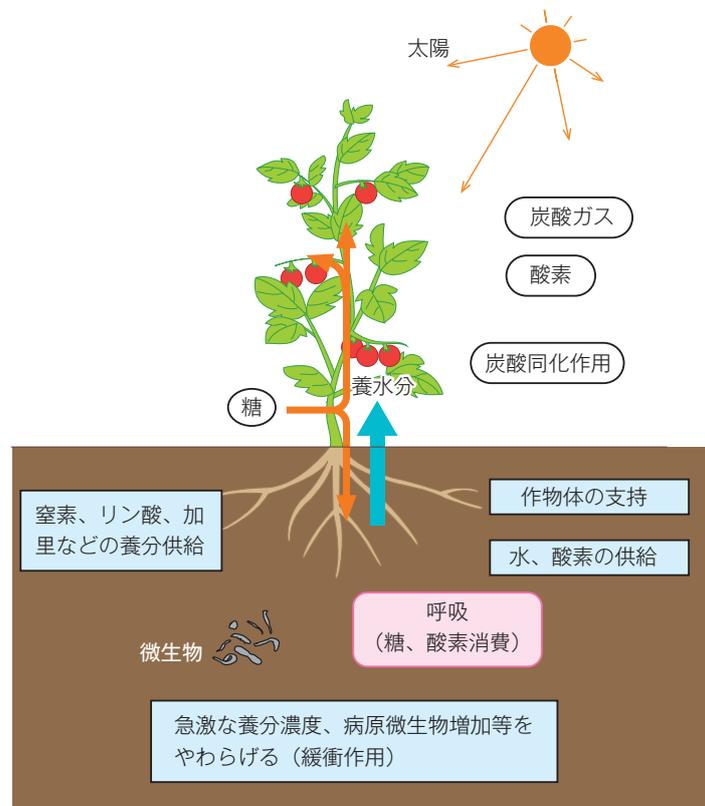


図2-1 土壌の役割

◆土壌は水、酸素を供給

土壌は、鉱物粒子、土壌有機物などの大小多数の粒子からなり、その粒子の隙間に水と空気を保持している。土の粒子の隙間にある水と空気は作物に利用される。

土壌の粒子間に適度な水分と空気が保持され、排水性も良いことが根に水、酸素を十分供給していくために重要である。

◆土壌は養分を供給

土壌は作物に必要な養分を含んでおり、そうした養分をイオン結合で保持し雨などによって流亡しにくくする能力を持っている。そうした養分を保持し根に供給していく上で重要な働きをしているのが粘土鉱物や腐植である。

土壌中に含まれる土壌有機物のうち、まだ明確な形が残る新鮮な動植物遺体（粗大有機物）を除いた無定形の褐色ないし黒色の有機物を、一般に腐植と言っている。腐植は土壌中で粘土鉱物と結合して粘土腐植複合体となり、無機養分を保持したり土壌を団粒化したりして、土壌の機能を高める重要な働きをしている。

粘土や腐植は粒径が小さいので、同じ体積の砂などに比べると表面積が非常に大きく、大量の養分を貯えることができる。窒素や加里などの養分は粘土や腐植の粒子表面に一時貯えられ、徐々に作物に供給される。粘土や腐植の多い土で肥料成分が流亡しにくく、砂の多い土で流亡しやすいのはこのためである。

◆土壌は環境の変化を和らげる

土壌には①土壌の地温の温度変化の幅を小さくする物理的緩衝能、②養分や pH などが急激に変化しない化学的緩衝能、③多様な土壌微生物によって病原菌の急激な増加を抑える生物的緩衝能などがある。作物が健全に生育していくためには土壌の緩衝能を高めることが大切である。

2) 根の働き

作物体を支持するとともに、水や養分吸収を行う働きを持つのが根であり、根の発達は作物生育に大きく影響する。こうしたことから、根の働きを良くする土壌にしていくことは大変重要である。

根の働きとしては、呼吸により発生したエネルギーを活用した①養水分の吸収、②アミノ酸等窒素化合物や生育調節物質（サイトカイニン*など）を合成することなどがあげられる。もちろん③植物体を支えて光合成や成長を安定化させている。

このほか、根毛などから根酸を分泌してリン酸の吸収を良くしたり、土壌微生物のエサとなる糖、アミノ酸等を分泌し、根の周り（根圏）の微生物相を豊かにするなどの働きがある。

*サイトカイニン(の合成)……植物ホルモンの一種で主に根で合成され、導管を通して地上部に輸送され細胞分裂促進、側芽の成長促進等の働きがある。

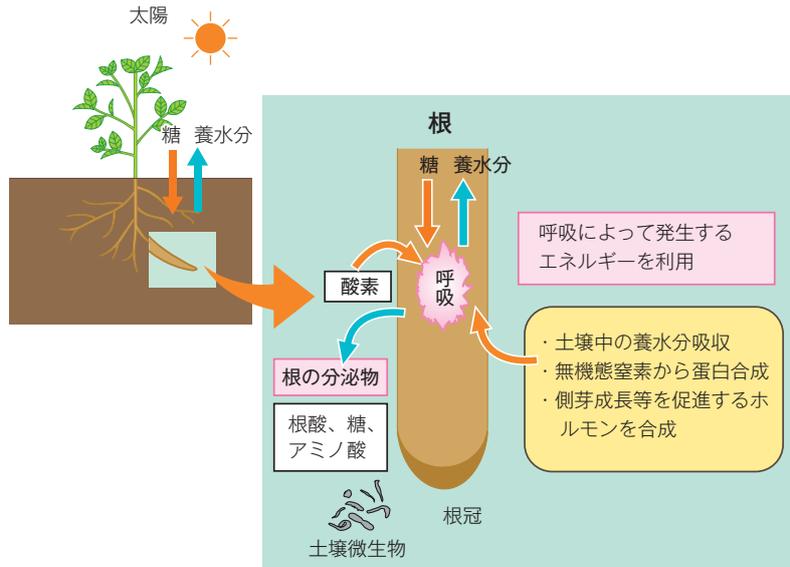


図2-2 根の働き

また、根の糖、アミノ酸等の物質分泌を通じ根粒、菌根菌などの微生物との共生関係ができて、窒素、リン酸の養分が確保できる作物もある。

また、根が養水分の供給以外に養分の貯蔵庫としての役割を持つ作物もある。サツマイモ、ダイコンなどの作物は根に養分を蓄積する。永年性作物である果樹も根に養分を蓄え、翌年春の芽出し、開花等の養分となっている（図2-2）。

◆根の発達にとって良いのは団粒構造の土壌

根が深く広く伸びて地上部に適度の養水分を供給できる土壌環境にしていくことは、作物の生育を良くしていくために必要である。

このための条件として次のようなことがあげられる。

- ① 通気性、排水性、保水性が良く、柔らかい土壌であること。
- ② 肥料成分のバランスが良く、pH が適正な土壌であること。
- ③ 有用微生物のエサとなる有機物が含まれ、土壌生物が豊富な土壌であること。

通気性、排水性が良く、しかも保水性も良いという相反する条件を満たしていくためには、土壌を団粒構造にしていく必要がある。土壌粒子に結びつきがなくバラバラの状態にある単粒構造の土壌であると、通気性、排水性、保水性が悪く、根の生長が悪い。団粒構造のように適度な隙間があって有効な水分と適切な空気を含んでいると、根の生育は良くなる。土壌粒子同士が結びつき固まりとなったものを団粒と言い、団粒同士が結びついた状態を団粒構造という。団粒構造が発達すると団粒間に孔隙が広がり、この孔隙に液相、気相が形成され、水と空気が通りやすく、かつ必要な水と空気が保てるようになる。

団粒構造を形成するには有機物を混入すると良い。土壌団粒は主に土壌生物の働きによって形成される。油粕など有機物を加えると、それを分解する微生物の働きが活発となり、微生物の菌糸や微生物の出すのり状の分泌物質の接着作用により団粒が形成される。

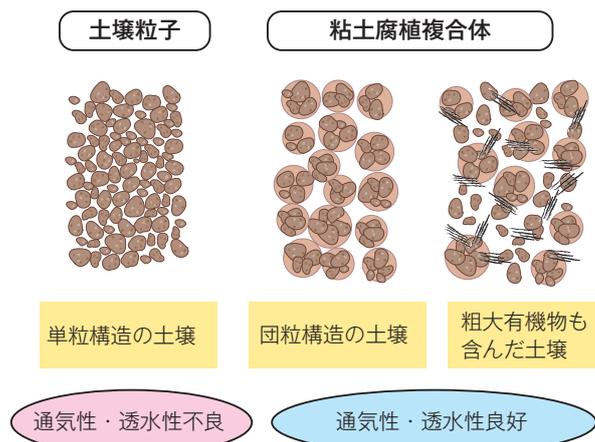


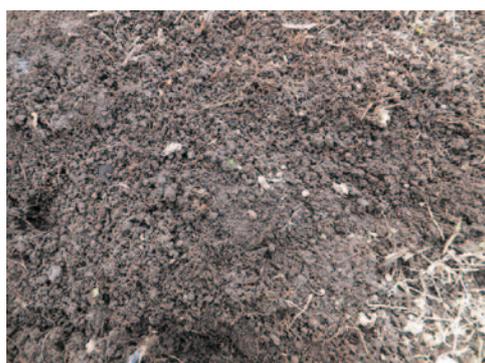
図2-3 単粒構造(左)、団粒構造(中)、有機物混入(右)

団粒構造が形成されて土壌の通気性が良くなると、有機物を分解する土壌微生物や小動物が多くなって土壌の団粒構造がさらに発達する。

なお、単粒構造の土壌に稲わら、青刈りトウモロコシ等緑肥作物を鋤き込むなど粗大有機物を混入しても、団粒構造に近い性質を示すようになり、団粒構造ほどではないが、空気および水分含有率がやや多くなり根の生育は良好となる。

下の写真2-1は、ある有機栽培農家の圃場で団粒構造が形成されている土壌を撮影したものである。団粒構造が形成されている圃場（写真左）では堆肥等有機物を10年ほど毎年施用してきていて、野菜の生育も良い。団粒構造となっている圃場と隣接する未耕作の区画は有機農業を開始する前の状態の土壌であるが、土壌は固く透水性が悪い。

土壌の団粒構造形成の主役は、有機物分解に関わっている土壌微生物や小動物であることから、団粒構造を維持していくためには、土壌微生物の数が減らないよう有機物を補給していく必要がある。



(有機栽培農家の圃場)



(隣接する未耕作地)

写真2-1 団粒構造の土壌(左)と単粒構造に近い土壌(右)

(2) 土壌の特性と作物生産

作物が栽培されている土壌には様々な種類や特性のものがある。

土壌の種類には畑に多い黒色で柔らかい火山灰土壌がある一方、水田に多い灰色で粘質な土壌などが存在する。一方、栽培作物についても排水の良い土壌を好む多くの葉菜類などととも、湛水を好む水稲などがあり、根の発達や生育に好適な土壌環境は作物の種類によって異なる。こうしたことから、野菜や果樹産地の多くはその作物特性に合った土壌条件の地域で形成されている。

したがって、作物栽培を容易に行うためには、土壌の種類、土性等に極力マッチした作物を導入することがまず第一に必要なことである。

こうしたことから、土壌の種類や土性の特徴を把握することが重要である。

1) 土壌の種類は地域、地形によって異なる

土壌は長い年月をかけて岩石が風雨により浸食や太陽光等により風化されるとともに、風雨により運搬・堆積したものに有機物が分解してできた腐植が加わって形成される。

また、土壌は母材（岩石）、気候条件、地形、生物の種類、生成年代の相違によって特徴のあるものが形成されている。

したがって、土壌は母材（岩石）が風化されたものだけで形成されているわけではなく、河川の氾濫などによって上流の土が低地に堆積してできたもの（沖積土^{*1}とも言う。）や河川、湖沼、海底に土砂が堆積し、その後隆起し台地を形成したままのもの（洪積土^{*2}とも言う。）などがある。このようにして農耕地の土壌は多様に形成されてきたことから、地域、地形によって特色ある土壌が分布している。農耕地土壌は、母材、堆積様式、性状などにより黒ボク土、灰色低地土、グライ土、褐色森林土、褐色低地土、赤色土、黄色土などいくつかの種類に分類されている。

我が国に分布している農耕地の土壌の種類は、分布面積の多い順に①灰色低地土、②黒ボク土、③グライ土、④褐色森林土と褐色低地土、⑤黄色土等となっている。

土壌の種類を西日本と東・北日本に分けて見た場合、山地は、どちらも未分解の枯葉などが堆積する褐色森林土が多い。台地丘陵地では、西日本では、黄色土、赤色土といった粘土が多く、緻密な土壌がよく見られるのに対して北海道、東北、関東、九州地方では、火山灰により生成される黒ボク土が多い。低地では湿った環境でできるグライ土、水はけの良い所に見られる褐色低地土およびこれらの中間の灰色低地土が多く見られる（図2-4）。

*1 沖積土……地質学でいう沖積世（約1万年前）から現在までの間に河川の氾濫などにより土砂が堆積してできた土で、扇状地の地形などに分布している。土壌の種類では主に灰色低地土が該当する。

*2 洪積土……地質学でいう洪積世（約200万年前～1万年前）に河川、湖沼、海底に堆積した土砂が、その後隆起して台地を形成したままで、その後余り変化を受けていない土壌を言う。（洪積世に降り積もった火山灰土は除かれる。）土壌の種類としては黄色土、赤色土、灰色台地土が該当する。

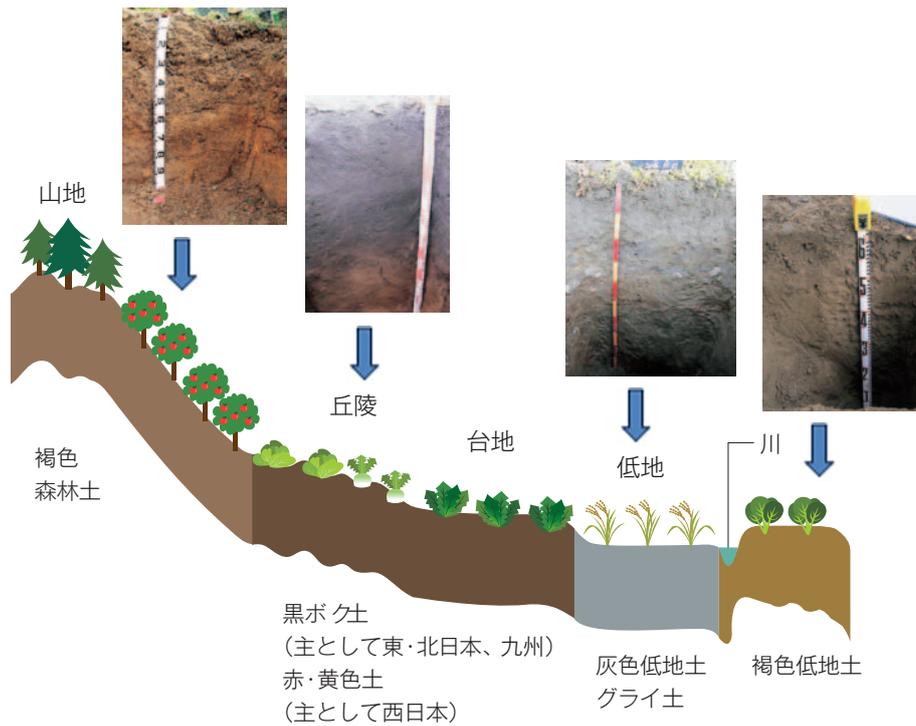


図2-4 日本の地形別土壌の種類分布

灰色低地土、褐色低地土、グライ土^{*3}などは河川が上流地域の岩石や土壌を浸食し運んできた土壌で、沖積土とも呼ばれている。

我が国では灰色低地土の土壌が最も多く分布しており、こうした土壌の圃場は水田利用が多い。次いで分布の多い黒ボク土壌については野菜・畑作利用が多い。

土壌の種類等の分布状況は土壌図によって見ることができる。土壌図は現在、デジタル化されており、必要な地域を拡大し取り出して見ることができる（農業環境技術研究所土壌情報閲覧システム http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/）。

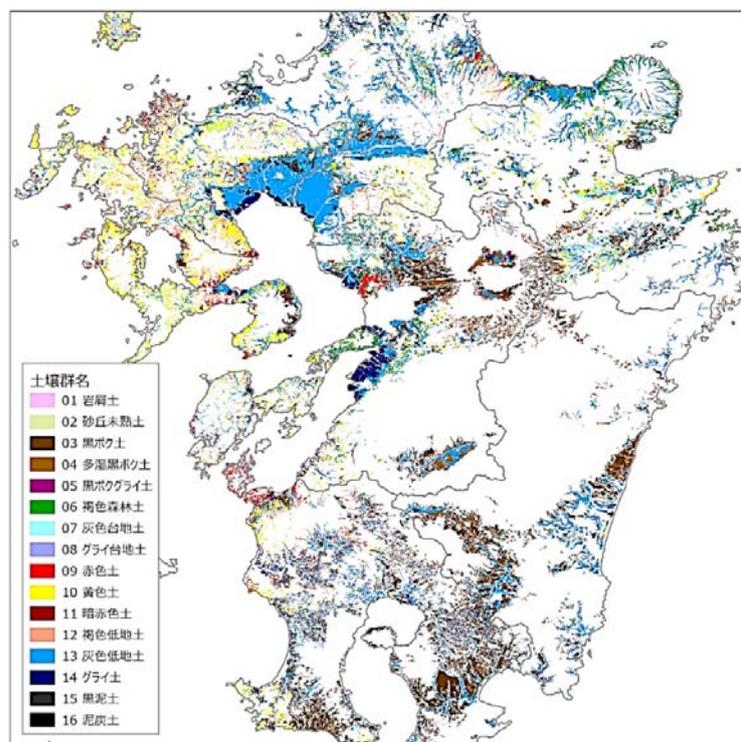


図2-5 九州地方の農耕地土壌図

*3 グライ土 …… 地下水や停滞水により土壌が還元状態（酸素の少ない状況）にあると、土壌中に多く含まれる鉄は還元されて二価の鉄化合物となり、土壌が青色を呈するようになる。また、酸素が多くある場合には三価の鉄化合物となり、褐色か赤系統の色を示す。

図2-5は九州地方の土壌の種類分布を示した土壌図である。有明海に面した平野部は河川によって運ばれてきて堆積した土による灰色低地土が多く、熊本県の阿蘇山周辺では火山灰によって生成された黒ボク土が多く分布している。

2) 土壌粒子の大きさによって排水性、保肥力などが異なる

母材（岩石）の風化や堆積等土壌の生成過程で土壌粒子の大きさなどに違いが生じる。作物の生育は土壌の種類とともに、土壌の粒子の大きさや形態によっても影響を受ける。

例えば砂の多い土壌では、肥料を保持する力が弱く、降雨などによって流亡しやすく、粘質な土壌では排水性は劣るが肥料を保持する力が強い。

こうしたことから、土壌は土壌の種類とともに土性によっても分類されている（表2-1）。

土壌は粒径の大きさによる区分で砂、微砂（シルト）、粘土からなっており、これらの混ざり具合で大きくは砂質、壤質、粘質に分かれる。2mmを超えるものは礫（れき）と呼んでいる。

土性は、一般的には粘土含量の少ない順に砂土（さど）、砂壤土（さじょうど）、壤土（じょうど）、埴壤土（しよくじょうど）、埴土（しよくど）に分けられる。

粘土の割合が多くなると、養分や水を保つ力は大きくなるが、排水や通気性は悪くなる。粘土の割合が少なく砂の割合が多くなると、養分や水分を保つ力が小さくなる。

表2-1 主な土性と粘土含量 (土性分類：日本農学会法)

土性	粘土含量	指先の触感など
砂土	12.5%未満	ザラザラとほとんど砂だけの感じで、ねばり気を全く感じない
砂壤土	12.5～24.9%	大部分砂の感じでわずかに粘土を感じる
壤土	25.0～37.4%	砂と粘土が同じ位に感じられる
埴壤土	37.5～49.9%	わずかに砂を感じるが、大部分粘土でかなりねばる
埴土	50.0%以上	ほとんど砂を感じないでヌルヌルした粘土の感じが強い

3) 土壌の種類、土性とマッチした作物生産が望ましい

土壌の種類や土性は作物栽培の適地を診断する場合の重要な要素となる。

土壌特性と作物の生育特性がマッチした場合に収量、品質の良いものが収穫できる。

例えば、黒ボク土の多くは表層の腐植含量が高く、作土層が深くて柔らかい。しかも地下水位が低いので、地中で生産物が肥大するダイコン等根菜類、サツマイモ等イモ類、落花生などが栽培しやすい。また、こうした特色からこれらの作物の産地は黒ボク土地帯に多く形成されている。

灰色低地土やグライ土は低地にあることから地下水位が高く、特にグライ土は湛水状態にあることが多いため土壌が還元状態にあり、土色がグライ色（鉄が二価鉄となり青灰色）を呈している。こうしたことからこのような土壌では水稻が多く栽培されている。

また、砂土では耐干性の強いラッキョウ、サツマイモ等が多く栽培されている。

特に、果樹のような永年性作物は一度植栽すると長期間収穫するものだけに、果樹の生育特性に合った土壌の種類、土性の圃場を選択することが重要である。

表2-2 土壌の特性を生かした作物生産

土壌の種類・土性	特 色	適作物の例
灰色低地土、グライ土	地下水位が高い	水稻
黒ボク土	地下水位が低い	ダイコン、ニンジン
土性(砂土)	乾燥しやすい	サツマイモ、ラッキョウ
土性(砂壤土)	排水が良い	モモ、ブドウ

土性の相違によってナシ、モモ、ブドウの生育が異なり、梨は壤土（粘土 34%）が最も生育が良く、モモ、ブドウは砂壤土付近（粘土 17%）が最も良い。

日本梨は、モモ、ミカン、ブドウと比較して水分要求度が高く、また、過湿、過乾を嫌うので、比較的粘土分の多い、重く保水性の高い土壌で生育が優れている。

モモ、ブドウは通気性の良い土壌を好み、モモの根は過湿状態になると根腐れを起こしやすい。モモ産地である岡山県が行ったモモ園の土壌調査結果からは、土壌の透水性が低くなるほど、また、土壌硬度が高くなるほど糖度の低い園地の割合が増加する傾向にあるとしている。

土壌の種類と土性は狭い地域の範囲でも異なることが多く、多くの場合、作物の生育に適した土壌環境に改良する必要がある（表2-2）。

(3) 土壌の化学性と作物生産

土壌に起因した作物の生育異常は、①土壌養分過不足等化学性、②土壌の排水性、通気性等物理性、③土壌病害等生物性の問題によって生じる。現地では土壌養分の過不足による生育異常障害が多く見られるので、土壌の化学性と作物生育の関係を知っておく必要がある。

1) 必須元素と有用元素

植物の生育に不可欠で、欠乏すると生育が抑制され、あるいは停止する元素を必須元素と言う。植物が必要とする量から便宜上多量要素と微量元素に大別されている。必須多量要素は炭素、水素、酸素、窒素、カリウム、カルシウム、マグネシウム、リン、硫黄の9元素である。必須微量元素はマンガン、ホウ素、鉄、銅、亜鉛、モリブデン、塩素、ニッケルの8元素である。必須元素は以前 16 種類であったが、近年、ニッケルが加わり現在 17 種類となっている。

植物が必要とする元素のうち炭素、水素、酸素は大気中の二酸化炭素、あるいは水から供給されるため、通常は肥料として施用されることはない。窒素、リン酸、カリウムは土壌中で不足することが多く、肥料として施用したときの効果が現れやすいので肥料3要素と言う。また、マグネシウム、カルシウム、硫黄も多く必要とされ、窒素、リン酸、カリウムと合わせ多量要素と言われる。これに対してマンガン、ホウ素、鉄、銅、亜鉛、モリブデン、塩素、ニッケルの8元素は植物生育には不可欠であるが、ごく微量あればよいので微量元素と言われる。

また、必須元素以外にも特定の植物にとって生育に必要な元素があり、それを有用元素と

言い、水稲にとってケイ素は有用元素となっている。

必須多量要素、必須微量元素の植物体内での主な働きや有用元素の内容は表2-3、4のとおりである。

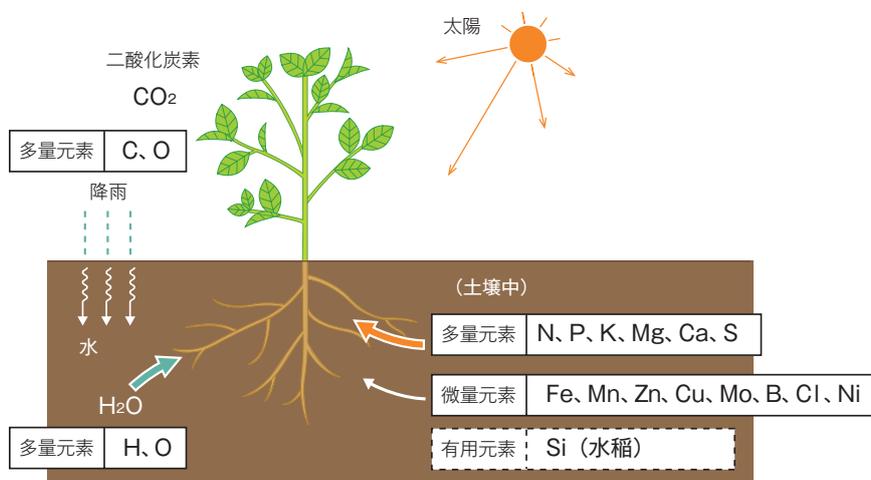


図2-6 植物に必要な元素と吸収

表2-3 多量元素と植物体内での主な働き

元 素	植物体内での主な働き
①炭素 C	植物体の全ての有機化合物〈炭水化物、タンパク質、脂肪など〉の構成元素である。
②水素 H	同上
③酸素 O	同上。呼吸作用上不可欠である。
④窒素 N (肥料三要素)	タンパク質構成要素などで、植物の生育・収量に最も大きく影響する。
⑤リン P (肥料三要素)	核酸やリン脂質の構成元素で、植物の分けつ、根の伸長、開花、結実を促進する。
⑥カリウム K (肥料三要素)	多くの酵素の活性化等に関与しており、デンプンの蓄積、ショ糖の転流を促進する。
⑦カルシウム Ca	ペクチン酸と結合し植物細胞膜の生成と強化に関与している。
⑧マグネシウム Mg	葉緑素の構成要素である。リン酸の吸収、移動に関与している。
⑨硫黄 S	タンパク質、アミノ酸などの生理上重要な化合物の構成元素である。

表2-4 微量元素と植物体内での主な働き

元 素	植物体内での主な働き
①鉄 Fe	葉緑素の生成に関与している。欠乏すると葉が黄白化 (クロロシス) する。
②マンガン Mn	葉緑素の生成、光合成、ビタミンCの合成に関与している。
③亜鉛 Zn	植物ホルモンであるオーキシンの代謝、タンパク質の合成に関与している。
④銅 Cu	葉緑体中に多く、光合成や呼吸に関与する酵素に含まれる。
⑤モリブデン Mo	硝酸還元酵素の構成金属として根での窒素代謝に役立つ。
⑥ホウ素 B	細胞壁生成に重要な役割を持ち、カルシウムの吸収、転流に関与している。
⑦塩素 Cl	酵素発生に関与する他デンプン、リグニン、セルロース合成に関与している。
⑧ニッケル Ni	体内の尿素をアンモニアに分解する酵素であるウレアーゼの構成元素である。

(有用元素)

有用元素として代表的なものとして稲、麦など単子葉植物の耐倒伏性、病害虫に対する抵抗性などに効果が認められているケイ素がある。ケイ素は、肥料としての施用効果があることから、肥料取締法でも普通肥料（けい酸質肥料）として取り扱われている。

2) 主な土壌の化学性の診断項目

必須元素の土壌中での過不足は作物の生育に大きく影響する。しかし、作物に必要な元素が十分土壌に供給されていても、根から吸収される量は、土壌の保肥力（塩基置換容量）、pHの変化、塩基バランスなどによって異なり、過不足が生じる場合がある。

例えば、保肥力（塩基置換容量）の小さい砂土と保肥力の高い埴壌土では同一養分量を施用しても、保肥力の小さい砂土では流亡しやすく、根が吸収できる養分量は少なくなるが、保肥力の高い埴壌土では養分が比較的長時間保持されるので、根が吸収できる養分量は多くなり、溶脱量は少なくなる。

作物の生育との関係で土壌診断をする場合は、根から吸収できる養分の過不足を把握することが重要で、そのためには根からの養分吸収に影響を与える土壌の特性や塩類濃度や塩基バランスなどを診断する必要がある。

表2-5 主な土壌の化学性診断項目と内容

区 分	診 断 項 目
土壌の特性把握	<ul style="list-style-type: none"> ◆塩基置換容量（CEC）…土壌の保肥力の目安となる指標。 ◆リン酸吸収係数…リン酸が土壌中で固定される割合を把握する指標。 ◆腐植含量…土壌中の有機物の蓄積量を表すもので、地力窒素発現の目安となる指標。
土壌の酸性・アルカリ性	pH…pH7.0は中性で、それより小さい値は酸性、それより大きい値はアルカリ性。
土壌の塩類濃度	◆電気伝導度（EC）…養分や塩類濃度、根の濃度障害の目安となる指標。
土壌養分の過不足	<ul style="list-style-type: none"> ◆窒素（全窒素、可給態窒素、無機態窒素（アンモニア態窒素、硝酸態窒素）） ◆有効態リン酸（または可給態リン酸）、 ◆硫黄 ◆塩基類（交換性カリウム、交換性マグネシウム、交換性カルシウム） ◆微量元素（マンガン、ホウ素等8元素）
塩基飽和度と塩基バランス	<ul style="list-style-type: none"> ◆塩基飽和度、石灰飽和度、苦土飽和度、加里飽和度…塩基飽和度は土壌の塩基置換容量（CEC）の何%がカリウム、マグネシウム、カルシウムで満たされているかを示す指標であり、作物によって適正な値がある。 ◆苦土/加里比、石灰/苦土比…カリウム、マグネシウム、カルシウム間に拮抗作用がある。苦土/加里比（当量比）は一般に2～6が適正、石灰/苦土比（当量比）は一般に4～8が適正。
水田で重視される診断項目	<ul style="list-style-type: none"> ◆有効態ケイ酸…水稻の受光態勢の改善等により米の品質や収量向上に効果がある。近年、水稻の高温障害軽減効果で注目。 ◆遊離酸化鉄…土壌中で発生する硫化水素、有機酸等による水稻根への障害を守る働きがある。近年、砂壤土水田では不足気味。

① 土壌の特性把握に関する項目

塩基置換容量 (CEC)

土壌中の粘土と腐植によって構成されている土壌コロイドは、通常電氣的にマイナスの性質を示し、陽イオンのカルシウム、マグネシウム、カリウム、アンモニウム、水素などを保持する。土壌が陽イオンを保持できる最大量が塩基置換容量 (CEC, Cation Exchange Capacity の略) (または陽イオン交換容量と言う) である。単位は通常乾土 100g 当たりのミリグラム当量 (meq または me) で示し、値の大きい土壌ほど多量の塩基類を保持することができる。

塩基置換容量 (CEC) は土壌の種類、土性、腐植含量によって異なり、その大きい土壌は塩基類を保持する力が大きい。いわば、保肥力の目安となる指標である。

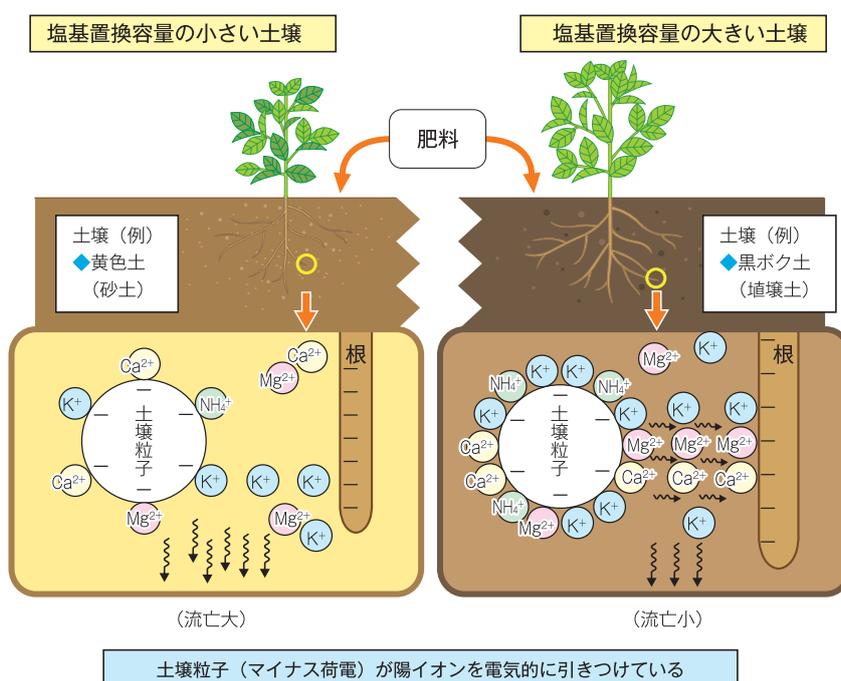


図2-7 塩基置換容量 (CEC) の大きい土壌と小さい土壌との保肥力の相違

肥料を与えて塩類濃度が急激に上昇するのは、いわゆる緩衝力の小さい土壌で見られ、作物は根傷みを起こしやすい。土壌の緩衝能は作物栽培にとって重要であるが、その緩衝能に大きく影響を及ぼすのが土壌の持つ塩基置換容量 (CEC) や保水力である。

塩基置換容量 (CEC) が小さい土壌 (砂土等) では、養分過剰の場合、根が濃度障害を受けやすいため、施肥をする場合には、一回の施肥量を少なくし、追肥で補給するような対応が必要となる。また、養分保持力が弱いため慣行栽培では、ゆっくり肥料養分が溶け出す緩効性肥料を用いたり、根が養分吸収しやすいよう作土を深くする必要がある。

一方、塩基置換容量 (CEC) の大きい土壌では、根の濃度障害のリスクは低くなり、作物も特に深くしなくても根は持続的に養分吸収することができる (図2-7)。

◆リン酸吸収係数

施肥したリン酸はマイナスに荷電しているため、その大部分は土壌中でアルミニウム、鉄、カルシウムなどのプラスのイオンと結びつく。酸性土壌では鉄やアルミニウムと結びつき、塩基性土壌ではカルシウムと主に結合し、水に溶けにくい難溶性のリン酸に変わっているため、作物に吸収されにくくなる。また、リン酸は土壌の種類によって施用リン酸の固定化割合が大きく相違し、特に黒ボク土（火山灰土壌）はリン酸の固定化割合が高い。

このようなことから、リン酸肥料の施用量や肥効の評価に当たっては、リン酸の固定される割合を把握する必要があり、そのための指標としてリン酸吸収係数が設定されている。

なお、リン酸吸収係数は、土壌 100g が吸収固定するリン酸の量を mg で表わしたものであるが、通常 mg /100g の単位はつけない。

◆腐植含量

腐植は、一般に土壌中に存在する有機物のうち、まだ明確な形が残る新鮮な動植物遺体（粗大有機物）を除いた無定形の褐色ないし黒色の有機物を言う。

土壌中における腐植の存在形態としては、有機物粒子として単独で存在するものもあるが、多くは土壌の粘土粒子等と有機・無機複合体を形成して存在している。

（腐植の役割について作物生育との関係）

① 土壌の塩基置換容量（CEC）の拡大による保肥力の増大

腐植物質はカルボキシル基（-COOH）が多いため、塩基置換容量（CEC）は、一般に粘土鉱物よりはるかに大きく、腐植含量を高めると塩基置換容量が高まる。

② 作物に供給する養分の貯蔵庫

有機物の形態で蓄えられた窒素やリンなどが、微生物の働きによって無機化されて作物に吸収・利用されるようになる。

③ 土壌団粒の形成

腐植物質を餌とする微生物が生産する多糖類や糸状菌の菌糸の働きで、土壌粒子を結合し団粒構造を形成する。

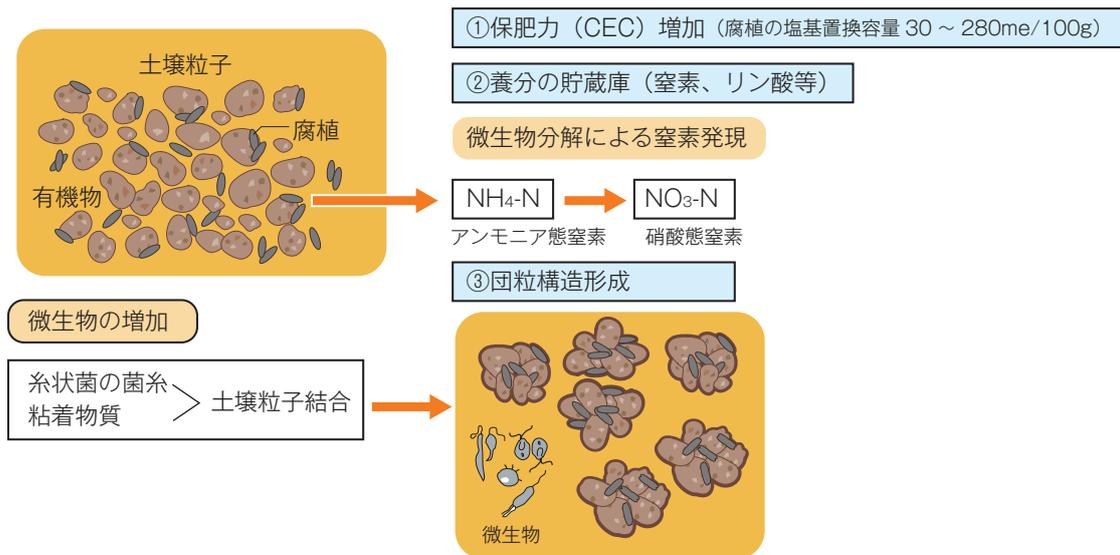


図2-8 腐植の土壌中での働き

② pH

pHは土壌溶液の水素イオン濃度と水酸イオン濃度の割合を示し、pH7.0が中性であり、それより小さい値は酸性を、大きな値はアルカリ性を示す。また、pHは作物の生育に適したpHがあるとともに、養分吸収、微生物の活性等作物生育に大きな影響を与えるので、土壌診断をする場合の基本となる項目である。

（pHと作物生育との関係）

i. 作物の生育に適したpHがあり、作物の種類によって異なる（表2-6）。

多くの作物はpH6.0～pH6.5の微酸性域で生育が良い。ホウレンソウ等はpH6.5～pH7.0の中性域で生育が良く（写真2-2）、ブルーベリー等はpH5.0程度の酸性域で生育が良い。

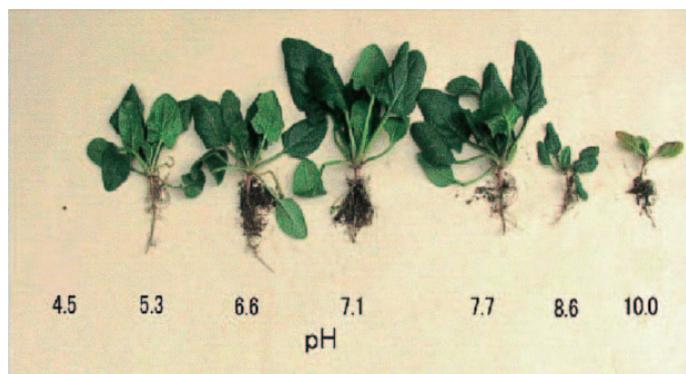


写真2-2 ホウレンソウの生育とpH

表2-6 各作物の好適pH

pH 領域	穀類, 工芸作物, 牧草	野菜			花卉	花木 植木	果樹
		葉菜	果菜	根菜			
6.5 ~ 7.0 微酸性~中 性領域で生 育	アルファル ファ サトウキビ ビート	エンドウ ホウレンソウ		テンサイ	ガーベラ カスミノウ スイートピー トルコギキョ ウ	ハイドランジ ア (レッド)	ブドウ
6.0 ~ 6.5 微酸性領域 で生育	アズキ オオムギ コムギ ソルゴー ダイズ タバコ トウモロコシ ハトムギ ホウ イ トク ローバー ライムギ レンゲ イタリ アンラ イグラス レッドクロー バー	アスパラガス ウド カリフラワー サニーレタス シュンギク セルリー タカナ ナバナ ニラ ネギ ハクサイ パセリ ハナヤサイ ブロッコリー ミツバ ミョウガ モロヘイヤ レタス キャベツ	インゲン エダマメ オクラ カボチャ カンピョウ キュウリ ササゲ スイカ スイートコー ン ソラマメ トウガラシ トマト ナス ピーマン メロン ラッカセイ	コンニャク サトイモ ヤマノイモ ダイコン	カーネーショ ン キク グラジオラス サイネリア シクラメン スイセン スターチス ストック ゼラニウム パンジー フリージア ポインセチア マダガスカル ジャスミン ユリ	バラ	オウトウ キウイ モモ アンズ 日本ナシ カキ
5.5 ~ 6.5 微~弱酸性 の広い領域 で生育	イネ エンバク チモシー ヒエ ソルゴー クワ	コマツナ サラダナ チンゲンサイ フキ	イチゴ	コカブ ゴボウ タマネギ ニンジン レンコン	アンズリウム コスモス マリーゴー ルド		イチジク ウメ カキ ナシ ミカン リンゴ
5.5 ~ 6.0 弱 酸性領域で 生育	オーチャー ドグラス ソバ トールフェス ク			サツマイモ ショウガ ニンニク ジャガイモ ラッキョウ	セントポーリ ア プリムラ		クリ パインアップ ル ブルーベ リー
5.0 ~ 5.5 酸性領域で 生育	チャ				アナナス シダ 洋ラン ベゴニア リンドウ	アザレヤ サザンカ サツキ シャクナゲ ツバキ ツツジ ハイドランジ ア (ブルー)	

安田 (1998) を一部改変

- ii. pH によって養分の溶解性が変わり、作物の欠乏症や過剰症が発生する場合がある。
 pH6.0～pH7.0 で多くの養分の溶解性が良好であるが、pH がアルカリ性になるとマンガン、ホウ素などが根から吸収されにくくなり、欠乏症が発生しやすくなる。また、酸性になると作物に有害なアルミニウムなどの溶解性が増し生育に障害を与える。
- iii. pH は土壤微生物の活動に大きな影響を与える。
 アブラナ科作物で大きな問題となる根こぶ病は酸性域で多発し、ジャガイモで大きな問題となるそうか病はアルカリ域で発病が激しくなる（図2-9）。

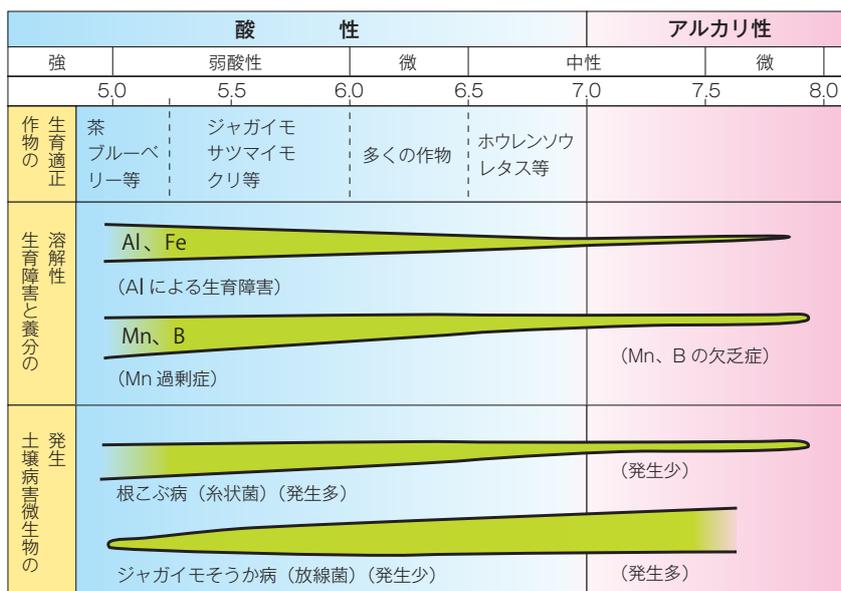


図2-9 pHと作物生育、養分溶解性、土壤微生物の発生との関係

(pH の改善)

土壤分析の結果 pH が低い場合、それを向上させる資材として炭カル、苦土石灰、消石灰、生石灰等がある。酸性中和力の最も高いのは、生石灰で次いで消石灰、苦土石灰、炭酸石灰の順となる。pH 向上のための石灰の必要量は土性や腐植含量によって異なり、砂土では少なくて良いが、腐植含量の多い土壌では石灰の必要量は多くなる。

目標 pH に改善するための資材量を把握するためには、早見表を都道府県等によって HP で発表しているので活用すると便利である。

また、pH が高い場合は石灰類を無施用とするが、特に高い場合には、ピートモス、硫黄華、硫酸第一鉄のように pH を低下させる資材を施用する。

③ EC (電気伝導度)

EC は電気伝導度とも言い、土壌中の栄養分等の塩類濃度の目安となるものである。塩類濃度が高いと根からの水分吸収が妨げられ、作物が枯れることもある（写真2-3）。

塩類濃度障害が起こる原因としては、過剰な肥料や堆肥の施用による硝酸イオンやカリ等の蓄積などがあげられる。

また、施設栽培では、降雨による養分の地下への浸透が少ないため、塩類集積が起こりやすい。

(EC と作物生育との関係)

i. 作物の種類によって濃度障害の受けやすさが異なる。

イチゴなどは濃度障害を受けやすく、ハクサイ、トマトなどは受けにくい傾向がある。

ii. 土壌の種類や土性によって濃度障害の受けやすさが異なる。

保肥力の低い砂質土壌で EC が高まりやすく、作物の枯死限界点も低くなる。

iii. 施用する肥料の種類によって濃度障害の受けやすさが異なる。

同一成分の施用量が同じである場合は、有機質肥料より無機質肥料が EC を高めやすい。

pH 矯正のために用いることが多い石灰質肥料の場合、溶けやすい生石灰は EC を急激に高めやすく、消石灰や炭カル、貝化石肥料、サンゴ化石肥料は溶けにくいので EC を高めにくい。



(EC が 1.2mS/cm (ミリジーメンズパーセンチメートル) 程度から生育が劣ってきている。)

写真2-3 EC とキュウリの生育

(EC の改善)

EC が高い場合は、施肥量を減らすとともに、特に EC を高める塩化物や硫化物の無機質肥料の施用を控えることが大切である。また、ハウスでは EC が高まりやすいので、高い場合には吸肥力の高いソルガムなどクリーニングクロップを栽培して塩類を吸収させ刈り取ることで、塩類濃度を下げていくことが大切である。

④土壌養分

◆窒素

窒素は作物体の構成成分であるタンパク質を作るのに必要で、作物の収量・品質に最も影響する。土壌中の窒素は、有機態窒素と無機態窒素に大別され、化学肥料を施用した場合、作物によって直接利用されるのはアンモニア態窒素や硝酸態窒素のような無機態窒素が殆どである。有機栽培においては、有機物分解によって生じた無機態窒素の他に、アミノ酸やペプチドなどの低分子有機化合物も吸収されると考えられるが、どの程度の割合で吸収しているかなどの科学的な解明はあまり進んでいない。

土壌中の有機態窒素は土壌微生物によって徐々に分解され、無機態窒素に変化して作物に利用される。この有機態窒素のうち無機態窒素に変化してくる窒素を地力窒素という。

畑作物の多くは硝酸態窒素を好んで吸収する。畑圃場では有機質肥料はアンモニア態窒素に分解され、さらに硝化菌の働きで速やかに硝酸態窒素になる（図2-10）。

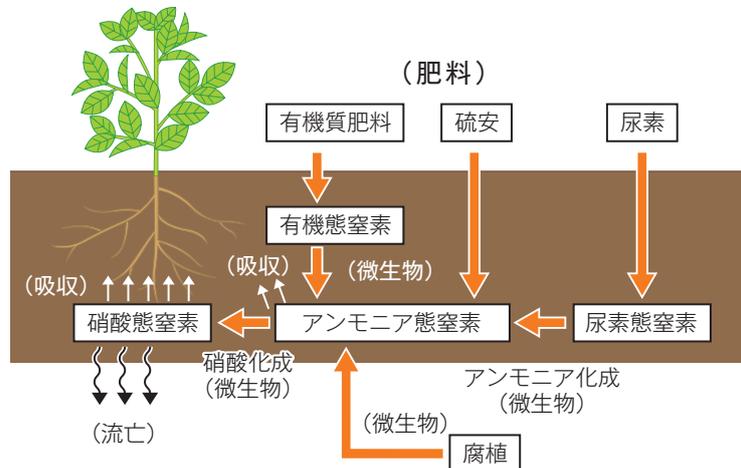


図2-10 土壌中での窒素発現と根からの吸収

(窒素と作物生育との関係)

- i 作物の生育、収量にとって窒素の適正含量があり、作物の種類によって異なる。
窒素は作物の生育等に最も影響するが、窒素が多すぎると、生育、収量が低下する。適正な窒素含量は作物の種類によって異なり、キャベツ等は窒素を多く必要とする。
窒素施用量が多いと、米の蛋白含量を多くし食味値を低下させる。ホウレンソウでは人の健康面で良くない硝酸態窒素含量が増加するとともに、総ビタミンCが低下する（図2-11）。
- ii 窒素過剰により生育に障害が起きることがある。
果菜類の窒素過剰障害としては、トマトやナスの落蕾、トマトの乱形果、スイカのつるぼけ、イチゴの花芽分化の遅延などがあげられる。
- iii 窒素が多すぎると病害虫に罹りやすくなる。
窒素が多すぎると軟弱徒長気味に生育し病害虫に罹りやすくなるとともに、過繁茂となることによって風通しが悪くなり、病気に罹りやすくなる。

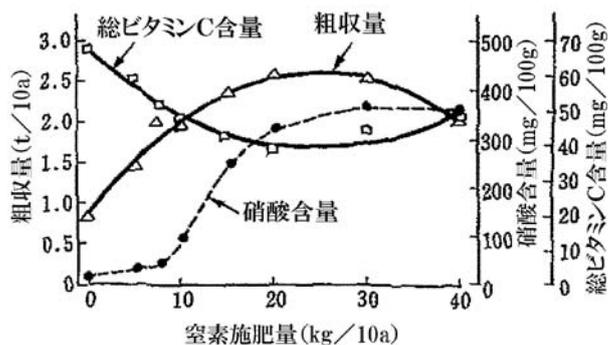


図2-11 窒素施肥量とホウレンソウの収量および硝酸、ビタミンC含量との関係

資料：北海道立農試 目黒一部改変

(窒素施肥改善)

窒素過剰の場合は窒素施肥量を減らすことが最も重要で、過剰の場合はクリーニングクロープを作付けし、窒素を吸収させたり、ハウス栽培の場合には作付け期間以外に雨をあてたり、灌水除塩等を行う。灌水除塩等は周辺の水質環境に影響がない場合に行う。

◆リン酸

リン酸は根の発達や分げつ等に必要な養分であることから、一般に作物の生育初期に多く必要とされる。リン酸は一般に窒素に次いで生育に影響することが多い。

リン酸は土壤中で石灰やアルミニウム、鉄と結合しやすく、結合したリン酸は作物に利用されにくい。土壌の種類で最も多くリン酸を固定するのは黒ボク土である。また、リン酸の吸収は、地温の影響を受け、低温では吸収されにくくなる。

(リン酸と作物生育との関係)

- i 作物の生育、収量が最大となるリン酸含量があり、それは作物の種類によって異なる。

リン酸施用に対する反応は野菜の種類によって異なり、リン酸施用効果の高い野菜としてはタマネギ、レタスなどがあり、低い野菜としてはコマツナ、ダイコンなどがある(図2-12)。

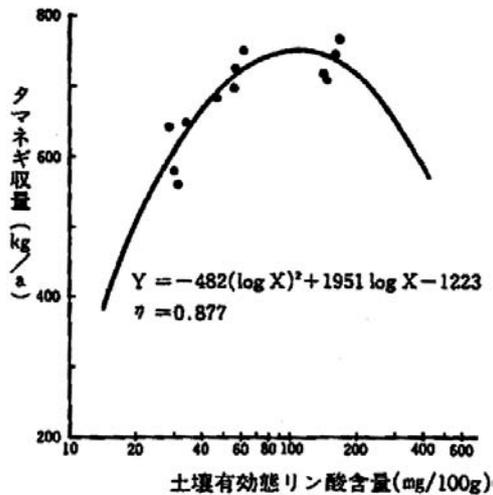


図2-12 有効態リン酸含量とタマネギ収量との関係
(資料：兵庫県農試)



写真2-4 スイートピーの葉の白化症状
(写真：神奈川県農業技術センター)

- ii リン酸過剰により生育に障害が起きることがある。

リン酸の過剰障害はこれまで発生しにくいとされてきたが、最近いくつかリン酸の過剰障害が報告されている。施設栽培のスイートピーでは葉の白化症状が見られている(写真2-4)。

(リン酸施肥改善)

リン酸不足の圃場ではリン酸を多めに施用するが、特にリン酸吸収係数の高い土壌では

多めに施用する必要がある。また、土壌中のリン酸含量を低下させるには、流亡しにくいことから施肥量を減らすことが基本となる。

◆カリウム

カリウムは同化産物の転流を促進する働きがあることから、同化産物を貯蔵する果実やサツマイモ等の肥大に影響する。

(カリウムと作物生育との関係)

- i 作物の収量、品質が最大となるカリ含量があるが、必要量はさほど多くはない。

一般に果菜類、いも類、豆類はカリウムの要求度が高く、葉菜類は要求度が低い。

カリウムは贅沢吸収をされると言われており、一般に根からの吸収量ほど生育に必要ではない。多くの作物では土壌中の交換性カリウム（根から吸収されやすい形態のもの）で20～50mg/乾土100g程度あれば十分とされている。

- ii カリウム適正含量では病害を抑制するが、過剰では病害の発生を促すこともある。

カリウムはリグニン等繊維質を増加させ作物の病害抵抗性を増すとされているが、過剰にあると病気の発生を招くことがある。ブロッコリーでベト病に罹りやすくなる（花蕾黒変症）ことが知られている（写真2-5）。

- iii カリウム過剰により品質、食味が低下する作物がある。

カリウム過剰であるとミカン、モモ等の糖度が低下するとともに、ミカンでは酸味が増す等食味が低下することが知られている。

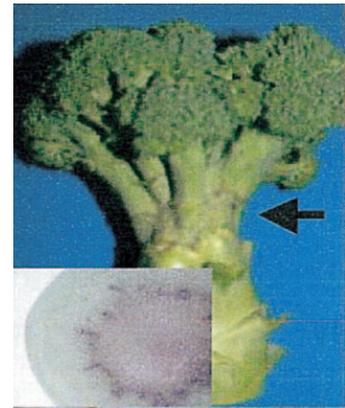


写真2-5 花蕾黒変症
(写真：埼玉県農林総合研究センター 一部改変)

(カリウムの施肥改善)

交換性カリウムを低減する方法としては、①加里施用量を減らすことが原則であるが、②クリーニングクロップの栽培も有効である。

◆マグネシウム

マグネシウムは葉緑素の構成元素であり、マグネシウムの不足は葉緑素の減少をもたらし、一般に葉の葉脈間の緑色が退色するクロロシス症状を起こす。同じ塩基類のカリウム、カルシウムとマグネシウムは拮抗関係にあり、マグネシウムが多いとカリウム、カルシウムの吸収が抑制される。マグネシウムの過剰障害は一般に起こりにくいが、他養分との拮抗作用による生育障害がみられる。一方、マグネシウムはリン酸の吸収を良くする働きがある。

(マグネシウムと作物生育との関係)

i 作物の収量、品質にとってマグネシウムの適正含量がある。

作物の種類によってマグネシウムの要求性の高い作物がある。一般に大豆等油脂作物や果実のなる果菜類、ブドウなど果実類の要求度が高い。土壤中の交換性マグネシウムは通常 10mg/100g 以下になると、多くの作物に欠乏症が発生する。

ii マグネシウム欠乏症は塩基バランスの崩れ等によっても発生する。

塩基間のバランスでは特にマグネシウムとカリウムのバランスが重視されており、一定以上にマグネシウムの比率が低下すると欠乏症が発生しやすい。マグネシウムの欠乏症は、栽培管理の方法によって発生することがあり、土壤消毒後に発生しやすい。また、果菜類では台木や整枝の影響を受けることが知られている(写真2-6)。



写真2-6 キュウリのマグネシウム欠乏症
(提供：HP 埼玉県の農作物病害虫写真集)

◆カルシウム

カルシウムは作物に必要な必須元素として

細胞内各種膜構造体構成材料の働きとともに、土壤 pH を調節する働きがある。カルシウムが欠乏すると、生長の最も盛んな頂芽、根の生育が抑制される。このため、その欠乏症状は農作物の生育・品質に大きな影響を与える。

カルシウムは作物体内では難移動性である。このため、カルシウム欠乏は急激に生育が進んだ場合に生育の盛んな部位(ハクサイの心葉等)にカルシウムが移動しにくいことから、その部位に障害が発生することがある。また、土壤水分不足、アンモニア態窒素が多い、塩類濃度が高い、塩基バランスが崩れているなどの場合には欠乏症が発生することがある。このように、カルシウムは土壤中の交換性カルシウム含量が低い場合のみならず、土壤中に交換性カルシウム含量が十分にあっても欠乏症が起きることがある。

交換性カルシウムの必要量については、一般に土壤 pH が適正域に維持されていれば作物に必要な量がある場合が多い。

(カルシウムと作物生育との関係)

i カルシウム欠乏症はカルシウムの吸収・移動が阻害された場合に発生することが多い。

カルシウム欠乏症は土壤水分不足、土壤 EC の高まり、他の塩基類とのバランスの問題で発生することが多い。節水栽培により糖度の向上を図るトマトでは、水分不足などにより尻腐れ症が発生しやすい(写真2-7)。

ハクサイ、キャベツ、レタス、セルリー等の葉茎菜類では、土壤水分不足等により株の中心に近い若い葉が褐変壊死する縁ぐされ症、心腐れ症が発生しやすい。リンゴでは

果実の尻の部分に黒くへこんだ斑点状の症状が見られるビターピットが発生することがある（写真2-8）。

- ii カルシウムは pH を高める働きがあり、カルシウム過剰の影響は pH の変化によって生じる。

カルシウムは土壌 pH を適正域に引き上げるために重要である。カルシウム過剰で問題となるのは、多くの場合、交換性カルシウム濃度の高まりによる影響ではなく pH がアルカリになることによるマンガ、ホウ素等の欠乏症が発生しやすくなることである。



写真2-7 トマト尻腐れ症



写真2-8 リンゴビターピット症（石灰欠乏）

（写真：工藤農園による）

⑤塩基飽和度と塩基バランス

土壌の塩基置換容量（CEC）の何％が交換性陽イオン（カルシウム、カリウム、マグネシウム）で満たされているかを示したものを塩基飽和度という。自然状態では全ての土壌粒子等のマイナス荷電が塩基類で満たされていることはなく、一部は水素イオンによって占められている。一般的には、塩基飽和度の高い土壌ほど pH が高く、低い土壌ほど pH が低い。塩基飽和度が 100％を超える状態では、土壌に吸着されず土壌養液に溶け出している塩基が多くなるので、当然 EC（電気伝導度）も高まり、塩類濃度障害が出やすくなる。塩基飽和度が 100％以内なら、土壌として土壌溶液中の塩基を吸着保持できる可能性が高く、濃度障害が発生しにくいこととなる（図2-13）。

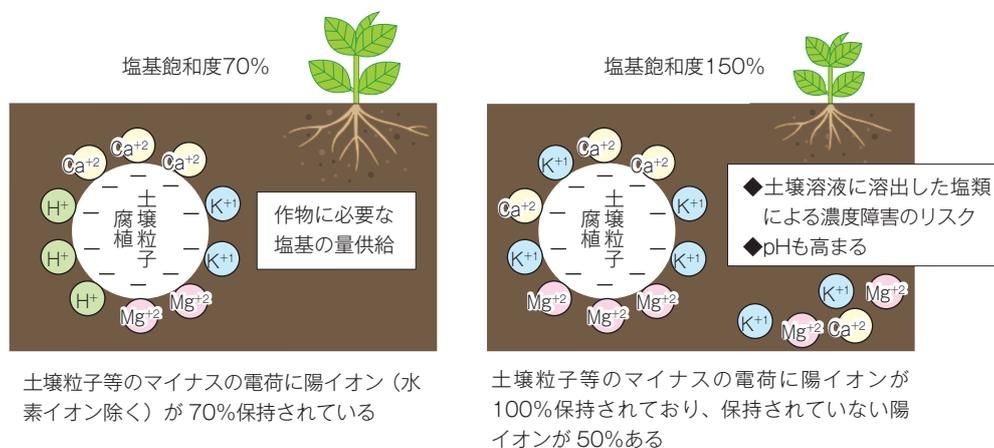


図2-13 塩基置換容量(CEC)と土壌の養分供給

こうした塩基類の集積による土壌中の養分濃度の高まりや塩基類のバランスの崩れは作物生育に影響することから、土壌診断では塩基飽和度や塩基類のバランスの崩れを診断する項目としている（図2-14）。

土壌中の養分濃度の高まり等は、土壌の持つ塩基置換容量（CEC）によって大きく左右される。塩基置換容量（CEC）の大きい土壌であれば、塩基類を保持する力が大きく、養分濃度が高まりにくい。したがって、塩基類の蓄積による生育障害の問題は、土壌の塩基置換容量（CEC）との関係で見ていく必要がある。

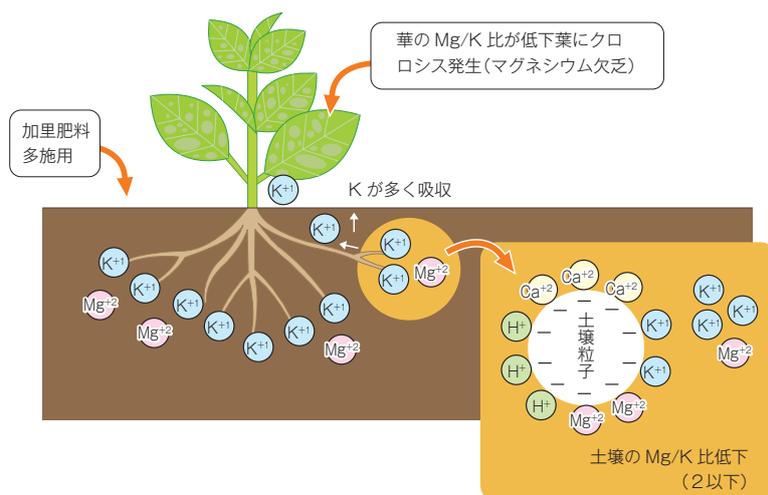


図2-14 塩基類の量のバランスが崩れた場合の影響（カリウム過剰の例）

塩基バランス（塩基相互間の比率）は、一般に苦土 / 加里比（当量比）や石灰 / 苦土比（当量比）が診断項目として用いられている。

（塩基飽和度や塩基バランス（塩基相互間の比率）と作物生育との関係）

i 作物の生育にとって適正な塩基飽和度は塩基置換容量(CEC)等の大小によって異なる。

塩基飽和度の適正範囲は作物の種類によって異なり、ホウレンソウでは高く、サツマイモ、サトイモ、ダイコンなど根菜類の適正範囲は比較的低い傾向が見られる。

また、土壌との関係では一般的な塩基置換容量の場合(15meq)には塩基飽和度は60～90%程度で望ましい生育をする作物が多く、塩基置換容量が小さい土壌(5meq)では作物に必要な養分が供給できないことから150%程度が望ましいとされている（表2-7）。

表2-7 土壌の塩基置換容量別適正塩基飽和度と塩基別適正飽和度

塩基置換容量 (me/100g)	塩基飽和度 (%)	カルシウム 飽和度 (%)	マグネシウム 飽和度 (%)	カリウム 飽和度 (%)
10以下	100～170	80～150	16	6
10～20	80～100	60～80	16	6
20以上	75～80	50～60	16	6

資料：細谷、山口 1988 一部改変

ii 作物の生育にとって望ましい塩基バランス（塩基相互間の比率）がある。

作物の生育との関係では特に、マグネシウムとカリウムの比率が問題となる場合が多く、作物体のカリウム含量が高くなるとマグネシウム含量が低くなるといった関係がある。苦土 / 加里のミリグラム当量比（1ミリグラム当量の重量は加里（ K_2O ）47mg で苦土（ MgO ）20mg である。）は、一般に2～6が望ましいとされており、2以下では苦土欠乏症が発生することがある。また、石灰 / 苦土比（当量比）については一般に4～8が望ましいとされている。

（塩基飽和度、塩基バランスの改善）

塩基飽和度が高すぎる場合には、加里、苦土、石灰質肥料を減らしていくことが重要である。また、塩基バランスが崩れている場合には、バランスを補正するよう塩基の肥料を施用する。例えば苦土 / 加里比が2未満で塩基飽和度が低い場合には、苦土肥料を施用するが、塩基飽和度が適正範囲以上の場合には塩基肥料の施用は飽和度を高めるので、加里肥料を減らしていくのが良い。

⑥微量要素

微量要素は、乾物当たりおよそ0.01%以下で正常に生育する養分であり、作物にとってごくわずかしかな必要としないが、作物体の構成元素、酵素の活性化因子等として重要で、その過不足は作物の生育に影響を与える。

微量要素の中で特に欠乏症や過剰症の発生割合が多く、現地診断で問題になることの多いのはマンガンとホウ素である。ホウ素は適正範囲が狭く、過剰障害も起こりやすい。

近年、欠乏症が発生するようになった原因としては次のようなことがあげられている。

①養分バランスの崩れとともに、pHのアルカリ化などによって土壤中に養分が十分あっても、根から吸収されにくい形態となって不足するケースが多い。

②アブラナ科野菜はホウ素の要求量が多いが、これらの作物を中心として周年栽培するようになって欠乏症が発生するようになった例も見られる。

この中で特に微量要素の欠乏症や過剰症が発生する要因としては単に土壤中の存在量の問題よりもpHや養分バランスの崩れ、圃場の乾湿条件などによるところが多い。

中でもpHの影響が大きい。pHが7.0を超えてアルカリ性になると鉄、マンガン、ホウ素、亜鉛、銅は根から吸収されにくくなる。pHが5.0以下の強酸性になると、これらの溶解度が増し、過剰障害が発生しやすくなる。モリブデンについては酸性土壌で不可給態化し溶出しにくくなり、アルカリ側で溶解度を増す。マンガン、ホウ素などの欠乏症は、石灰質資材の投入過ぎによりpHが高くなった場合に発生しやすい。

◆マンガン

マンガンは葉緑体の形成に関与しているので、欠乏すると葉脈間黄化などのクロロシス症状を生じる。

マンガン欠乏症が発生しやすい条件としては pH のアルカリ化などがあげられ、pH が 6.5 以上になると、不可給態化し、根から吸われにくくなる。特に土壌が乾燥しているところの変化が現れやすく、果樹に欠乏例が多い。野菜ではホウレンソウなどに多い（写真2-9）。

一方、マンガン過剰症は pH の酸性化や土壌が排水不良で還元状態になったときが多い。以前にカンキツでは酸性化の進んだ圃場でマンガン過剰による常落葉の発生が問題となったことがある（写真2-10）。



写真2-9 ホウレンソウマンガン欠乏症
(葉の葉脈に黄緑色の斑が発生)



写真2-10 ミカンマンガン過剰症
(葉先や葉の縁に褐色の小斑点が生じる)
(写真：清水武氏提供)

(マンガン欠乏症、過剰症の改善)

マンガンの欠乏症、過剰症の対策としては pH を適正值に矯正していくことが重要である。pH のアルカリ化が要因のときは、石灰を多く含む資材の施用を中止するとともに、硫酸等酸性化する肥料を用いるなどにより土壌 pH を下げる。また、欠乏症のときは応急的にはマンガン質肥料を施用すると良い。

◆ホウ素

ホウ素は作物体内において細胞壁の構造維持に必要な元素で、ホウ素が欠乏すると、細胞壁の形成がとどこおり、枝や根の先端、形成層、果実などの生長点で細胞分裂、組織の形成が進まなくなる。ホウ素の過剰障害は、葉のクロロシス、落葉などの症状を示すが、目に見える症状がなくても生育が低下し減収することも多い。

ホウ素欠乏症が発生しやすい条件としては、pH のアルカリ化があり、pH が 7.0 以上とアルカリ化すると根から吸収されにくくなり欠乏しやすくなる。その他、高温、乾燥状態でもホウ素は吸収されにくく、欠乏しやすくなる。

また、一般にダイコン、キャベツ等アブラナ科野菜などでホウ素の要求性が高く、これらの作物を毎年作付けするところではホウ素欠乏が発生する例が多い。

一方、ホウ素過剰症は、ホウ素の作物の要求量の適正範囲が狭いため、ホウ素入り肥料の過剰連用で発生しやすい。

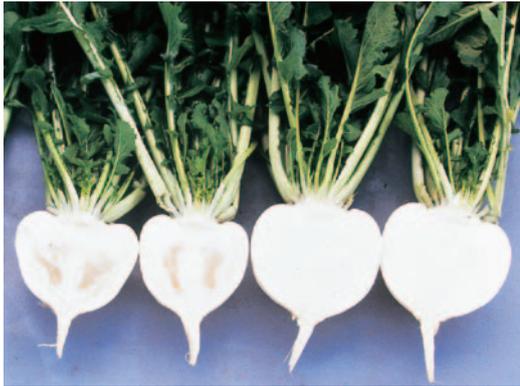


写真2-11 カブのホウ素欠乏症
(左：ホウ素欠乏、右：健全)

(根部の肥大が悪く、肌つや、形が悪くなって内部が部分的に淡褐色化)

(写真：東罐マテリアル・テクノロジー(株)提供)

(ホウ素欠乏症、過剰症の改善)

ホウ素の欠乏症対策としては pH を適正にしていくことが重要である。また、ホウ素欠乏症の発生は水分不足と結びつくことが多いので、根張りを深くするとともに、土壌が乾燥し過ぎないように灌水することが重要である。ホウ素欠乏した場合の応急対策としてはホウ素質肥料を施用すると良い。また、過剰な場合はホウ素を含む資材の施用を中止する。

⑦水田で重視される診断項目

水稲の品質向上、安定生産が求められてきている中で、ケイ酸や鉄が注目されてきている。ケイ酸はイネ科作物にとっては必須養分で、耐倒伏性の向上、受光態勢の向上による光合成の促進効果とともに、耐病虫害抵抗性の向上効果等が知られている。

また、遊離酸化鉄については、土壌還元条件下で硫化水素などが発生して根の活性低下を起こすが、それによる収量低下を防ぐ効果が知られている。

しかし、近年、これらの資材については、米価低迷、労力不足の中で施用されなくなってきており、不足している圃場が多くなってきている。

◆ケイ酸

水稲は、一作で 10a 当たり 100kg 前後のケイ酸を吸収するが、その供給源で最も多いのが土壌(稲わら鋤込みによるケイ酸供給含む)で約5割程度を占め、残りがケイ酸質資材投入と灌漑水からの供給に頼っている。近年、灌漑水からの供給量が大幅に減少してきているが明らかになってきており、それとあいまってケイ酸質資材の施用量が減少してきているので、ケイ酸が不足している水田が目立つようになっている。

(ケイ酸と水稲の収量、品質との関係)

i ケイ酸不足水田ではケイ酸施用によりコメの収量、品質向上が期待できる。

水稲はケイ酸を施用することによって葉が直立し、下葉の枯れ上がりが少なくなり、光合成能が向上し、光合成産物が増加して収量の向上が期待できる。

良食味米は米粒中の蛋白含量が少ないが、水稲のケイ酸含有率が高まると米粒中の蛋白含量が低下する傾向が見られる。

ii 高温障害が軽減することが期待できる。

ケイ酸を施用した水田では高温障害による乳白米の発生率が低いことが明らかにされてきている。ケイ酸質肥料を施用すると水稻の葉温が低下し、葉の消耗を防ぐことが可能となるため高温障害が軽減されると考えられている。

iii 病害抵抗性の向上が期待できる。

寒冷地で大きな被害をもたらす、いもち病に対する抵抗性が増すとともに、ごま葉枯れ病、紋枯病に対しても抵抗性が増すことが知られている。

(ケイ酸の施肥改善)

一般に、遊離酸化鉄が強度に溶脱されている老朽化水田（一般に砂壤土）などでは、ケイ酸も欠乏している水田が多く、ケイ酸の施用効果が高い。土壌診断により不足している水田にはケイ酸石灰やけい酸加里等、ケイ酸質肥料を施用していくと良い。

◆遊離酸化鉄

老朽化水田などでは水田土壌が還元状態になると、硫化水素が発生し、根に障害を与えることがある。発生した硫化水素は通常、土壌中の鉄、マンガンなどと結合して不溶化して無害となるが、鉄やマンガンが溶脱して不足している水田では、根の呼吸や養分吸収が阻害される。秋落ち現象は、砂質土等の水田に多い老朽化水田で多く見られ、こうした水田は全国的に見ると中国地方や四国地方に最も多い。しかし、近年では秋落ち現象が発生しやすい老朽化水田でも含鉄資材を施用する例が少なくなってきた。

水田の還元状態での根腐れ発生要因は、硫化水素のみならず、稲わら施用の分解過程で生成される有害な有機酸などの影響もあげられている。水田では収穫後に稲わらを鋤き込むことが多く行われているが、寒冷地ではわらの分解が遅れるため、春先に土壌が還元状態となり、ガスや有害な有機酸等が発生し水稻の根に影響を与える。含鉄資材施用による遊離酸化鉄含量の増加は有機酸の濃度の低下に有効であることが明らかにされている。

(遊離酸化鉄と水稻の生育、収量との関係)

i 水稻の秋落ち現象を改善する働きがある。

含鉄資材施用による遊離酸化鉄含量の増加により、根の活性が維持され、水稻収量の向上につながる。

ii 寒冷地の水田で特に問題となっている稲わら分解による有害物質による水稻の根傷みを軽減する働きがある。

遊離酸化鉄濃度の高まりにより有害な有機酸濃度が低下し、水稻の根重は増加するとともに茎数も確保されて収量が向上することが認められている。

(遊離酸化鉄の施肥改善)

秋落ち水田の改善対策としては、硫化水素の発生の原因となる硫酸根肥料の施用を控

えるとともに含鉄資材（転炉さい、電気炉さい）を施用するのが良い。

また、遊離酸化鉄と有効態ケイ酸は相乗的効果があるので、ケイ酸資材も合わせて施用すると効果的である。

（４） 土壌の物理性と作物生産

土壌に起因した作物の異常の要因で土壌の化学性とともに多いのは、土の硬さ、排水性等土壌の物理性である。土壌物理性についても作物の生育に特に影響を与える項目があり、それに基づき診断し、改善していく必要がある。その主な診断項目は、大きく分けて、①土層の深さ関係、②土壌の硬さ、通気性等の関係、③土壌水分関係がある。

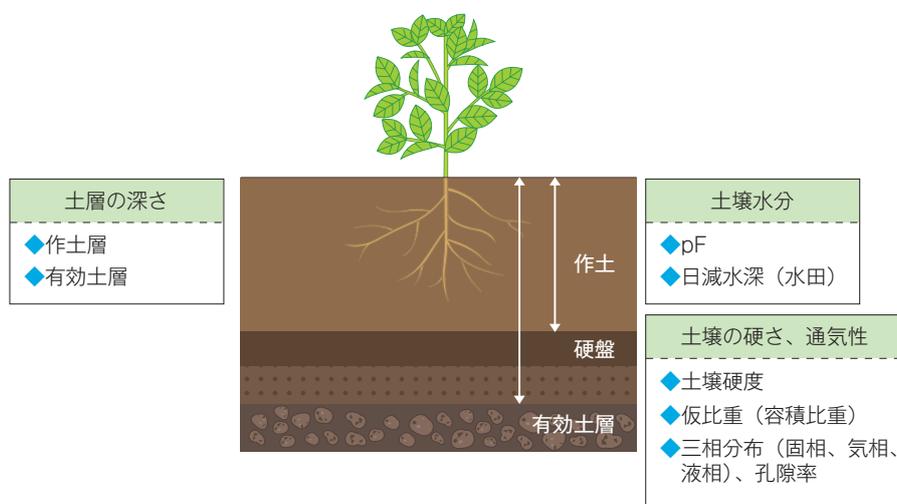


図2-15 土壌の物理性についての診断項目

1) 土層の深さ関係診断項目

有効土層とは、作物の根がかなり自由に貫入しうると認められる物理状態の土層を意味する。有効土層は作物の根が十分に伸長する可能性のある全土層を指しており、作土層とは区別される。有効土層は特に根の深く入る果樹などでは生育・収量に影響してくる。

◆作土層

作土とは作物の根が水分や養分吸収のために容易に伸長できる土層のことで、人為的な耕耘の影響を直接受けた膨軟な部分を言う。

作土の深さ（厚さ）は耕耘に使う農具あるいは機械によって異なる。一般にくわでは10～12cm、ロータリーでは12～15cm、ディスクプラウ^{*1}では20～25cm、ボトムプラウ^{*2}では15～

*1 ディスクプラウ …… 土を耕すための作業機の一つで、ディスク(円板)が自転するので土の摩擦抵抗は少ない。土が付着して完全な耕耘作用をしない土質にも適する。土の反転についてはボトムプラウと比較して劣る。

*2 ボトムプラウ …… 土を耕すための作業機の一つで、上層と下層の土を入れ替える反転耕を行う。地表面にある有機物を埋没させたり、雑草やその種子は埋没され、雑草の発生を抑制する効果がある。

30cm 耕起されるので、その深さが作土の厚さとなる。

作土は人為的につくられる土層なので、作物の種類、耕耘方法、利用する農業機械の種類、土壌管理の方法などによって厚さが変化しやすい。作土の深さは作物の生育・収量に影響し、その影響は作物の種類によって異なる。

（作土深と作物の生育との関係）

①水稲では保肥力との関係があるが作土深が 15～20cm あることが望ましい。

水稲では土の保肥力との関係もあり、単純に作土が深ければ収量が向上するものではないが、一般に作土が 20cm 程度までは深ければ収量が向上した例が多い。福井県の調査では作土深 10cm と 15cm の圃場の比較で、作土深が 15cm の水田の水稲収量が約 30% 増となっている。一般的な保肥力（塩基置換容量）の圃場では作土深が 15～20cm あることが望ましい。

②野菜・畑作では特に根菜類では作土が深くないと収量・品質が向上しない。

畑土壌における作土について、北海道での調査結果で見ると、主な畑作物については作土深が深くなるとともに収量が増加し、25cm 程度までは増加する傾向が見られている（図2-16）。

一般の野菜・畑作物では作土が 25cm 以上あれば十分であるが、ダイコン等の根菜類では作土深が 30cm 以上、ゴボウでは 60cm 以上あることが望ましい。

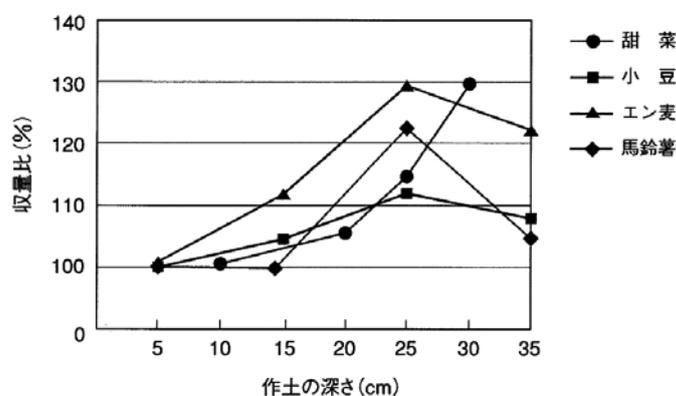


図2-16 作土の深さと作物収量指数

（資料：北海道農協「土づくり」推進本部「やさしい土づくり」より）

2) 土壌の硬さ、通気性等に関する診断項目

◆土壌硬度（緻密度）

土壌の硬さ（緻密度）は、根の発達に影響を与える。土壌硬度が増大すると、根の伸長は著しく阻害されるので、土壌硬度は根の伸長の難易の判定に利用される。

その硬さを測定するため、山中式硬度計が広く使用されている（写真2-12、13）。山中式硬度計は土に挿入しその硬さに応じてバネが押し戻される距離（mm）を測定するものである。その硬度計の読みで 18～20mm 前後までは細根が容易に発達しうるが、25mm 以上になると

根の分布を認めることが困難な例が多い。一般には作土の硬さは山中式硬度計で 22mm 以下であることが望ましいとされている。

土壌硬度は測定された土壌硬度から土壌の通気性や透水性の大小、硬盤層（こうばんそう）の存在位置やその硬さの程度を把握することができる。



写真2-12 山中式土壌硬度計での硬度測定



写真2-13 山中式土壌硬度計

（土壌硬度と作物の生育との関係）

- i 土壌硬度が増大し一定硬度以上になると根群の発達は著しく阻害される。

多くの作物で山中式硬度計の読みで 20mm 前後から根量は急激に減少する。ナシ園の場合、山中式硬度計で火山灰土において 20~23mm、非火山灰土では 20~22mm を境にして根群の分布が激減しており、おおむね 20mm 未満でよく発達する（図2-17）。

- ii 土層の浅い位置に硬盤層があると、深く根が発達しにくくなり作物の生育が劣る。

土壌の深さ別の土壌硬度を測定することによって、硬盤層の存在する位置や硬さの程度が把握でき根の発達阻害要因がわかる。特にダイコンのように根が深く入るものでは、浅い位置にできる硬盤層の影響が大きい。セルリー圃場の例では硬盤層のある圃場とない圃場では収量に格差が見られている（図2-18）。

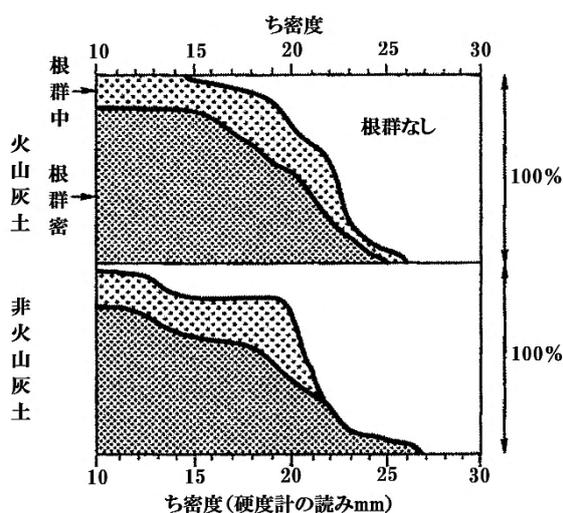


図2-17 緻密度と梨の根群分布
（資料：千葉県農試（三好 1971 年））

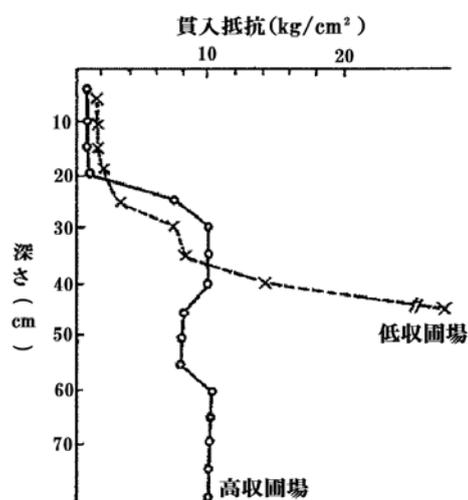


図2-18 セルリーの高収量、低収量入抵抗
（資料：静岡県農試）

◆仮比重（容積比重）

仮比重は容積比重とも呼ばれ、土の硬さや通気性等土の状態を表わす指標の一つである。測定は採土管法が一般に用いられ、単位容積（100ml）当たりの土壌の固相重量の値で示される。膨軟な土ほど仮比重の値は小さくなる。また、土壌が圧密されていると仮比重の値は高くなる。

仮比重は、土壌の種類によって異なり、同じ土壌の種類の中にあつては有機物含量が高くなると仮比重の値は小さくなる。黒ボク土では0.8、非火山灰土では1.3～1.4を超えると根群の伸長が悪くなり、排水不良になるとされている。

◆三相分布・孔隙率

土壌は、固体、水、空気構成され、それぞれ、固相（土壌粒子、腐植等）、液相（土壌水）、気相（空気）といい、各容積の割合（%）を三相分布という。

固相は、土壌粒子の他、腐植、微生物、小動物も含まれ、液相は、固相の土壌粒子間に入り込んだ水である。気相は、固相の土壌粒子間で土壌水に満たされていない部分を言う。

土壌の固相、液相及び気相の割合は、作物の生育に影響する。

三相のうち固相は養分の供給源となるので重要であるが、固相の割合が大きすぎると水と酸素の給源である孔隙の割合が不足するので、作物の生育は悪くなる。

気相と液相は、固相の土壌粒子間の隙間（孔隙）の部分であり、気相は根に酸素を、液相は水を供給する。液相率が多く気相率不足になると作物に湿害が発生する。

一般に作物の生育にとって望ましい気相率は通常20～30%であり、10%以下では生育に障害が生ずると言われる。また、固相間の隙間（孔隙）の比率を孔隙率と表現されることがある。孔隙率は液相率と気相率の和で求められる（図2-19）。

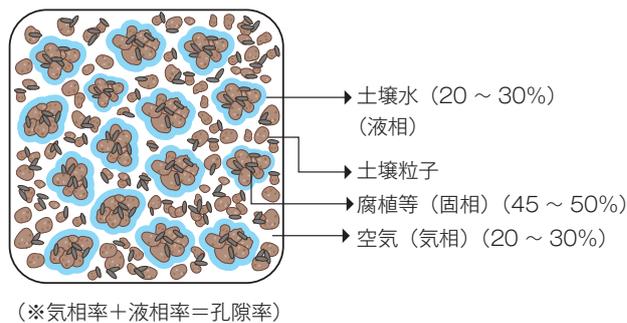


図2-19 土壌の望ましい三相分布状態

（三相分布、孔隙率の作物生育への影響）

i 作物の収量・品質向上のためには適切な固相、液相、気相の割合がある。

作物の生育に適する土壌の固相と液相と気相との容積割合は、非火山灰土の場合、一般に固相が45～50%、液相、気相が各々20～30%が望ましいとされている。

愛知県の半促成トマト産地で圃場の気相率と収量の関係を調査した例では、気相率が25～30%の圃場の収量が高い傾向が見られ、気相率が低過ぎたり、高過ぎたりする圃場の収量は低い傾向が見られている。

3) 土層の深さ、土壌の硬さ、通気性等の改善

土層の深さとともに土の硬さ等を改善するためには、農業機械や有機物、緑肥作物などを活用する必要がある。目的別の主な改善対策の方法は次のとおりである。

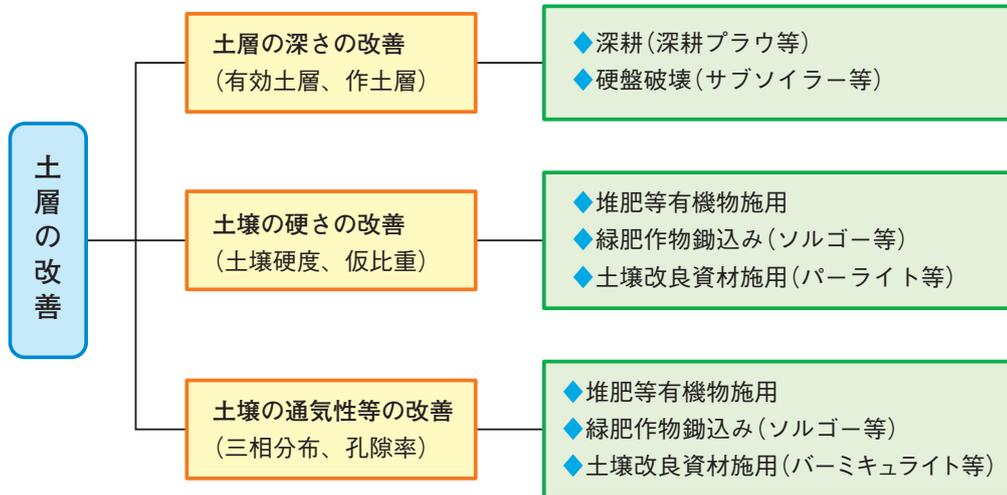


図2-20 土層の深さ、硬さ、通気性等の改善対策の方法

作土層を深くしたり硬盤層の破壊のためには、専用の農業機械を用いる必要がある。

一般に作土層を深くするためには、深耕ロータリーや深耕ボトムプラウ（写真参照）等が用いられる。また、硬盤層破壊のためにはサブソイラー（写真参照）などが用いられる。有効土層の拡大にはバックホー等大型の機械が用いられている。



写真2-14 サブソイラー（写真提供：スガノ農機 HP）



写真2-15 ボトムプラウ（写真提供：スガノ農機 HP）

また、堆肥等有機物施用によって土壌の硬さ、通気性等を改善することができるが、その改善効果は1～2年で現れるものではなく、年数を要する。耕作放棄地等物理性の悪い圃場を借地して早期に作物生育を安定させるためには、当初1～2年、堆肥を多めに施用する必要がある。緑肥作物も土壌の硬さ、通気性等を改善するのに効果があるが、これを用いる場合にはその目的に沿った種類の作物（ソルゴー、青刈りトウモロコシ、ギニアグラス等）を選択する必要がある。

土壌改良資材を利用する場合は、目的に合った資材を選択する必要がある。透水性、通気性、保水性を改善する政令指定土壌改良資材としてはバーミキュライト、パーライト等がある。

4) 土壌水分関係診断項目

水は作物体の生育に必要不可欠な成分で、土壌中の水分が不足すると根から吸収されなくなり枯死する。また、過剰な土壌水分は土壌中の酸素を少なくし、根の呼吸を阻害することから作物体の維持ができなくなり枯死する。したがって、土壌は適度な保水性と通気性を必要とする。

畑作物の根は酸素を多く必要とし、水分が多い過湿状態であると孔隙中の酸素が不足し根が障害を受けて生育が停滞、あるいは枯死する（写真2-16）。



写真2-16 麦の湿害の状況（中央部の麦の生えていない部分は湿害による）

（写真：（独）農研機構中央農研提供）

土壌水分は作物の生育のみではなく、作物の品質、土壌病害の蔓延、農業機械による作業性に大きな影響を及ぼす。

作物の品質に関しては、糖度の高い果実を生産するためにトマト、ミカン等では節水栽培が行なわれている。

土壌病害に関しては、排水不良圃場では根腐病菌等は水の中を遊泳する遊走子を形成し、水で移動するため、周辺に広がり被害が拡大する。センチュウも水を好み、好適な土壌水分条件で移動しやすくなる。

農業機械による作業性については、トラクターなどの走行、耕耘、整地作業の行いやすさに土壌水分が影響する。野菜・畑作においては、農業機械による作業を容易にするためにも排水改善が必要である。

◆ pF

土壌水分の状態を評価するための指標として pF（ピーエフ）値がある。pF 値は土壌中に保持された水を作物が利用するため、その土壌から水を引き離す力を表すものである。圃場の状態で見ると湛水状態の水田は pF0.0 であり、降雨や灌漑の後 24 時間経過したときの水分量（圃場容水量）は pF1.5～1.8 で、これ以下の pF の状態では水が土壌から重力で失われる。

土壌の水分状態は、温度、日射、降雨などで絶えず変動しており、作物の生育に大きな影響を与える。

作物が有効に利用できる水は、一般に土壌粒子が粗粒な土壌より細かい土壌の方が多く保持でき、また、堆肥等の有機物施用により団粒構造が発達している土壌で多く保持できる。

畑作物への灌水開始は作物の種類や生育ステージ等によって異なるが、一般に pF2.5（地表面から深さ 10cm）前後で行われることが多い。

なお、pF の畑圃場における測定は pF メーター（テンシオメーター）によって行われるのが普通である（写真2-17）。



写真2-17 pFメーター

◆日減水深（水田）

水稲の生育を良くするためには、適度の透水性、保水性のある水田であることが必要である。水田の透水性、保水性を表す指標として、水田一筆の一日当たりの田面水位の増減を示す日減水深がある。

水田で湛水された水は根による吸水、水面蒸発、地下への浸透などにより次第に減少するが（図2-21）、日減水深はこのようにして水が消費されて減少した水深（mm/日）のことである。具体的には次式によって表わされる。

$$\text{減水深} = \text{蒸発散量} (\text{水面蒸発量} + \text{葉面蒸散量}) + \text{浸透量} (\text{畦浸透量} + \text{降下浸透量})$$

適度な減水深がある水田では土壌中に常に酸素が供給され、生成する種々の有害物質（例えば有機酸、硫化物等）が排除される。このような水田では根が健全に生育するので、水稲

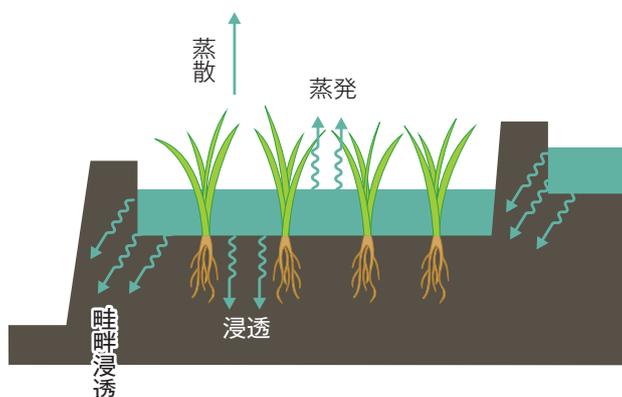


図2-21 湛水した水田での水の動き

の生育は良い。しかし、透水性が良すぎると灌漑水量が多大に必要となり、寒冷地や山間部では冷水害の恐れが出る。また、養分の損失が大きくなるなどの問題が生じる。

(土壌水分の作物生育への影響)

i 作物の種類によって収量、品質に適した土壌水分がある。

野菜の耐湿性について、一般に夏野菜についてはカンショ、サトイモなどが強く、インゲン、トマトなどが弱いとされている。また、冬野菜についてはミツバ、フダンソウ、ゴボウなどが強く、ダイコン、ホウレンソウなどが弱いとされている。温州ミカン、トマトなどは食味が重視され、糖度を向上させるため節水栽培が重視されている。

ii 畑作物の土壌病害の中には土壌水分が多いと発生が拡大するものがある。

土壌病害の発生は、土壌水分との関連が深く、おおむね通気の劣る排水不良土壌で発病が多い。

iii 水稲においては生育に適する日減水深の範囲がある。

水稲は日減水深が 20~30mm/日にある水田状態のときが最も収量が高い(図2-22)。

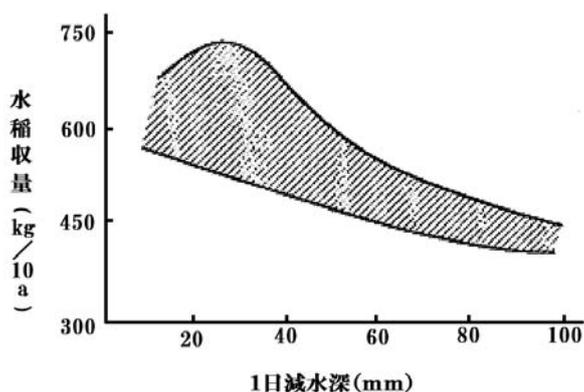


図2-22 日減水深と水稲収量

注：土壌水分は最大容水量に対する% (五十崎 1956)

5) 土壌排水性等の改善

土壌水分関係の改善については畑作物と水稲とでは対策を分けて考えていく必要がある。目的別の主な改善対策の方法は次のとおりである。

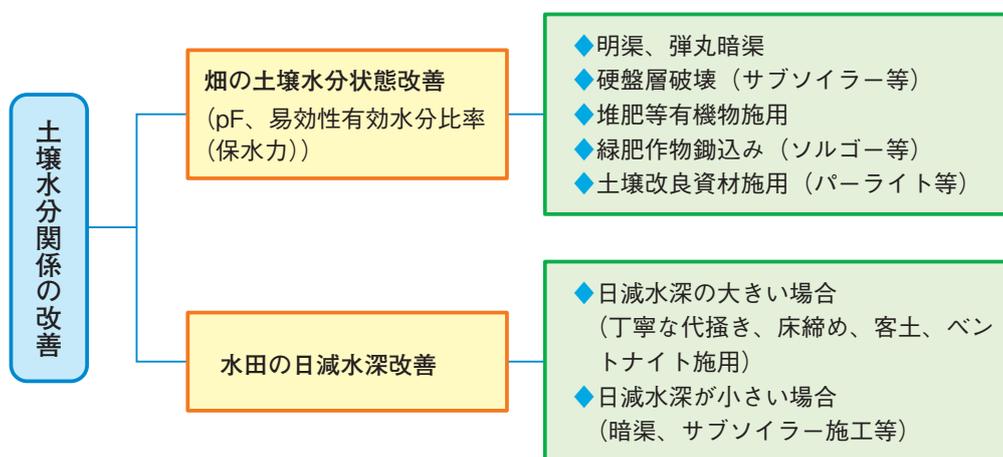


図2-23 土壌の排水性・通水性等の改善方法

畑作地において地下水位が高く、土壌が粘質で排水性の悪い圃場については、明渠による表面水の除去や暗渠を組み合わせることで土層内の排水改善を行う必要がある。

土層の浅いところに硬盤があると排水性が悪くなるので、硬盤がある場合には、サブソイラー等により硬盤層を破壊する。

また、土が硬く、通気性、透水性が悪い場合は堆肥等有機物を施用するとともに、緑肥作物を栽培し土壌中に鋤き込むと良い。緑肥作物には物理性、化学性、生物性の改善効果を持つものがあり、利用目的に応じて緑肥作物を選ぶ必要がある。土壌の緻密性、通気性改善に適した草種としてはソルゴー、ギニアグラス、青刈りトウモロコシ等の緑肥作物がある。土壌の孔隙を多くし、透水性・保水性改良の効果のある土壌改良資材としてパーライトやバーミキュライトがある。鉢物の培土用とともに、葉菜類、根菜類、果樹類などで粘質な排水不良圃場の改良にも利用されている。

水田の場合、日減水深が大きい水田においては、丁寧な代掻き、床締めなどで硬盤を作る。砂質等の漏水田の改善には客土や土壌改良資材のベントナイトを施用するとより効果的である。日減水深の小さな水田の場合には、サブソイラー等により土層に亀裂を作り透水性を良くしたり、弾丸暗渠などによって透水性、排水性の改善を行う。



写真2-18 弾丸暗渠施工後の状況

(写真：東北農試 富樫氏提供)

(5) 土壌の生物性と作物生育

近年、作付体系や土壌環境の変化の中で土壌病害やセンチュウによる被害が多くなってきている。特に作物の連作が多くなるにつれて生育障害が多く発生するようになってきた。それまでは連作による障害は植物の生成する毒素に起因する生育障害（忌地）という見方が支配的であった。その後の調査で連作による障害の大部分は土壌病原菌やセンチュウによる被害であることが明らかとなり、連作障害問題の対応は土壌病害虫の抑制対策が中心になってきている。

同じ種類の作物が連作されれば、その根に侵入できる菌が根で増殖し、残渣、残根上で生き残り、そこから新しい根に感染して増殖するというサイクルを繰り返して病原菌が集積する。特に野菜の場合、収穫から次の作付けまでの期間が短く、連作に伴う病原菌やセンチュウ集積は加速されることとなる。

連作すると発生しやすい土壌病害（写真2-19、20）

ハクサイ根こぶ病による被害（生育の劣る区画のハクサイが根こぶ病に罹っている）

* 土壌中に残った病原菌が伝染源となり翌年伸びた根から病原菌が侵入して発病する。



写真2-19 ハクサイ根こぶ病による被害



写真2-20 ハクサイ根こぶ病

土壌病害やセンチュウ害は、地上部病害に比べると、病徴が顕在化してからの対症療法的な対策では、殆んど効果がなく防除が難しい。そのため、慣行栽培では作付け前に一律に農薬を用いた土壌消毒がなされることが多い。しかし、土壌消毒をもってしても病原菌やセンチュウを完全に死滅させることはできない。有機農業では、太陽熱消毒や野生エンバクによる線虫密度の抑制、対抗植物が用いられている。

近年は環境保全や安心・安全な農産物への意識の高まりの中で、土壌病害やセンチュウ害発生リスクを低下させる個々の手法を組み合わせた総合的防除対策の重要性が高まってきている。

土壌病害、センチュウ害の発生には、いくつかの栽培環境要因が関係している。その主なものとしては土壌環境（養水分、温度管理等）、栽培作物、品種（病気等に罹りやすい作物や品種）、作付体系（連作）などである。

総合的防除対策の中でも、土壤環境の改善は、病原菌、センチュウ密度の低減対策を実施する上での基本となる。

1) 土壤生物の種類と土壤病害の発生

◆土壤生物の種類と働き

土壤中には、多くの微小な単細胞生物である原生動物、微小藻類、センチュウ類、糸状菌、細菌、放線菌が生息している。これら土壤中に生息する微小生物を土壤生物という(表2-8)。

これら微生物の中には作物生産にとって有益なものや害作用を及ぼすものもあるが、土壤生物の自然界における最も大きな役割は、有機物を分解し物質循環を進めていることである。

土壤生物の生息量や活性から細菌、放線菌、糸状菌、センチュウ類が重要視されている。

なお、微生物には分類できないが、宿主に感染することで病原体としてふるまうものとしてウイルスがある。

表2-8 土壤生物の種類と特徴

種 類	特 徴
糸 状 菌	カビやキノコのような菌糸をつくる菌類で、担子菌類(キノコ類)も含まれる。糸状菌の大部分は外見が糸状で「菌糸」と呼ばれる部分と「菌糸」から分化して伸びる「分生子柄」とその先端にできる分生孢子とからなる。菌糸の直径2~10ミクロンで長さは環境が整えばかなり伸びる。自然界では有機物分解の中心的役割を担っている。
細 菌	土壤生物の中でも最も小さく形状としては球菌、桿菌、らせん状のものもある。大きさは0.5ミクロン~4ミクロン程度で鞭毛、線毛を持つものもある。
放 線 菌	放線菌は広くは細菌の仲間では菌糸を作るものが多い。放線菌の大きさは、糸状菌と細菌の間で、各種の抗生物質を生産するものや特有の臭い(土の独特の臭い)を出すものがある。
原生動物	単細胞で運動性を有し、アメーバに代表されるよう細胞壁をもたない。
藻 類	主に土壤の表面近くに棲息しており、水田に多い。この中には空中窒素を固定するものもある。
センチュウ類	センチュウ類の生活圏は広く、土壤中では細菌、カビ、微小動物、腐敗有機物などを食べて生きる種類と動物や植物の体内でその栄養を奪って生きる寄生生活の種類がある。

土壤生物の量は、普通の畑には生菌体で10a当たり平均して約700kg、乾燥菌体で約140kg存在するといわれている。このうちの70~75%が糸状菌、20~25%を細菌が占め、土壤動物は通常5%以下である。菌数では糸状菌より細菌が多いが、生体重で比較すると、細胞の大きさが細菌より糸状菌の方が大きいことから糸状菌の生体重の割合が大きくなる。

畑と水田では存在する土壤生物の種類が異なる。畑では糸状菌が最も多い。糸状菌は水分の乏しい場所でも増殖できる上、畑には餌となる作物残渣等新鮮有機物が豊富にあることがその要因となっている。一方、水田では、土壤が酸素の少ない嫌氣的土壤となるので、こうした条件で活躍できる細菌が大部分を占め、酸素を多く必要とする糸状菌は少ない。また、田面水には微小藻類や原生動物が多い。

土壤生物の餌は、大部分の微生物(95%以上)では有機物であるが一部に無機物を餌と

する微生物もある。

こうした有機物をエネルギー源とし細胞成分を合成する大部分の土壌微生物も、①別の生物体内（宿主）に侵入せず、有機物を餌にする腐生（ふせい）微生物と、②生きた別の生物の体内（宿主）に侵入し有機物をもらう共生微生物・寄生微生物がいる（図2-24）。

多くの微生物は腐生微生物で宿主に侵入しないが、生きた宿主に侵入し、植物病原菌として作物の収量・品質に大きな影響を与えるものと、窒素固定をする根粒菌やリン酸を供給するVA菌根菌などがある。

作物生産上特に影響の大きいものは、作物に病気を起こすフザリウム菌（糸状菌の一種で病原菌が多い）など有機物を餌にすることができて、条件が整えば作物に侵入し病気を起こす菌である。

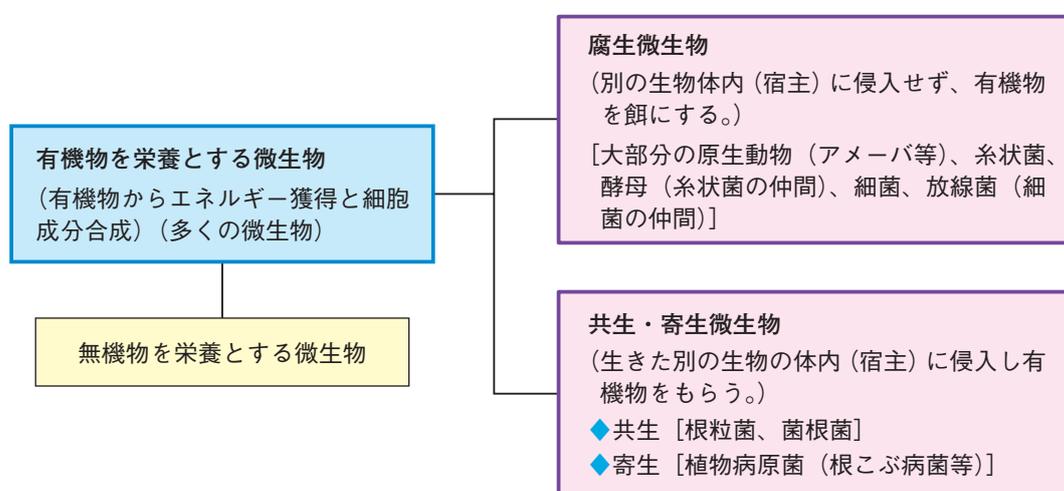


図2-24 餌による土壌微生物の分類

◆根圏生物の多様性と病原生物の侵入

作物の根はアミノ酸、有機酸、糖等を分泌するが、これらは土壌微生物にとって絶好の餌となり、根の周囲に群がる。根表面と根の影響の及ぶ範囲の土壌を根圏（こんけん）と呼ぶが、こうした根圏土壌では土壌微生物の密度が高い（図2-25）。

根圏微生物相が多様であると病原微生物の増殖が抑制されることが知られている。これは、非病原菌と病原菌の間で餌と住み場所を巡って競争が起き、素早く増殖した非病原菌が多く占め、少数の病原菌を排除するからである。このように、ごくありふれた非病原性の微生物も病気の抑制効果を持っている。しかし、病原菌の密度が上がると抑制することはできなくなる。



写真2-21 白菜軟腐病（柔組織病）



写真2-22 ハクサイ根こぶ病（肥大病）

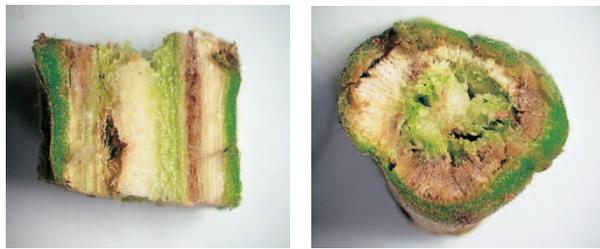


写真2-23 トマト青枯病（導管病）

（写真：HP 埼玉の農作物病害虫写真集）（青枯病に罹ったトマトの茎の導管部は褐変）

◆病原微生物の感染経路

病原菌の作物体への侵入経路は様々である。糸状菌の場合、感染源となるのは通常、胞子（厚膜胞子、休眠胞子、分生胞子）や菌糸の集合体としての菌核などの耐久体（たいきゅうたい）である。耐久体は、餌や水の乏しい状態で長期間生き残るための特殊な生命形態である。これらの耐久体は根が伸びてくると、根からの分泌物に反応して発芽し、菌糸を伸ばして根面に定着して侵入する。

その作物体（寄主）が枯死または収穫されると、生き残った耐久体が次に作付される作物への感染源となる。

◆センチュウ類による農作物被害

センチュウは、①他の小さい生物を餌とするもの（捕食性センチュウ）、②動植物の遺体を餌とするもの（腐生性センチュウ）、③作物の根等に寄生するもの（寄生性センチュウ）があり、大多数のセンチュウは①と②である。

農作物に大きな被害を及ぼすのは寄生性のセンチュウで、主なものとして①ネコブセンチュウ、②ネグサレセンチュウ、③シストセンチュウがあり、それぞれのセンチュウの中にも幾つかの種類がある。

センチュウによる作物被害は、最近、増加している。センチュウ害は、センチュウが寄生し

でも軽いときには外観からは生育に変化が見られずに、徐々に生育が悪くなる。

また、センチュウは、寄生の際にできた傷口から他の病原菌を感染、侵入させて発病を助長させる。こうしたセンチュウと病原菌との複合病が多く見られる。

ネコブセンチュウは、野菜、果樹、樹木など多くの植物に寄生する。シストセンチュウは特定の作物に被害を及ぼしジャガイモシストセンチュウ害などがある。ネグサレセンチュウは、畑作物、樹木など多くの植物に被害を起こす（写真2-24～26）。



写真2-24 トマトネコブセンチュウの被害
(写真：神奈川県農総研提供)



写真2-25 ダイコンのネグサレ
センチュウ被害



写真2-26 ジャガイモシストセンチュウのシスト (右拡大)
(写真：北海道病害防除所 岩崎暁生氏提供)



◆センチュウ類の感染経路

センチュウ類は、冬は卵の状態や植物の根に寄生した成・幼虫で過ごし、地温上昇に伴って卵が孵化する。孵化した幼虫は、土中を移動して根の生長点付近から根の中に侵入して作物（寄主）に被害を及ぼす。

ネコブセンチュウは、地温 10℃以上になると活動を始め、1世代は夏で 25～30 日間位でもあり、卵は 15℃以上で孵化し、年間数世代を経過し、センチュウの口針（こうしん）からある種の汁液を出しコブを作り作物体（寄主）に大きな被害を与える（図2-26）。

ネグサレセンチュウについては、地温 15℃前後から活動を始め、産卵は根の組織内で行われ、その孵化幼虫は根の中を加害移動しながら成虫となる。両センチュウとも多くの作物、花、

樹木に被害を及ぼす多犯性である。

シストセンチュウは、ジャガイモに大きな被害を与えるジャガイモシストセンチュウで良く知られる。本センチュウは、球形にふくれた雌成虫の身体（シスト）内の卵の状態です土の中で10年以上生存し続ける。

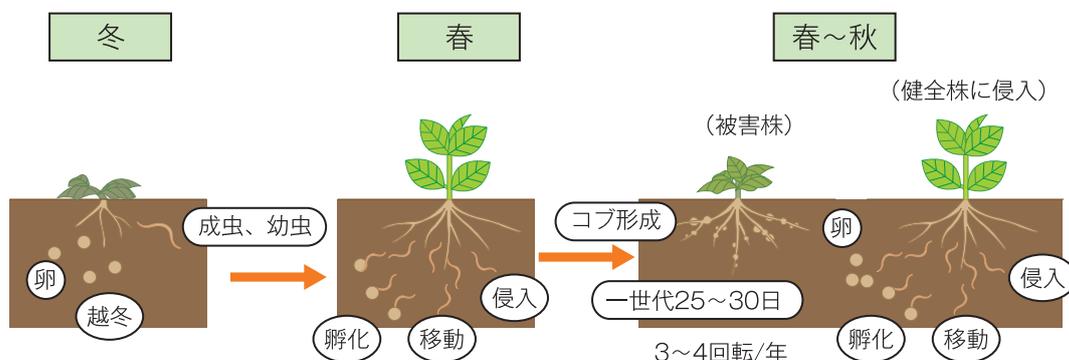


図2-26 ネコブセンチュウのライフサイクル

2) 土壌病害、センチュウ害の抑制対策

土壌病害、センチュウ害の被害を抑制していくためには、まず土壌環境を健全にしていくことが基本で、そのためには、被害の発生を極力抑制する土壌管理、施肥管理の方法を実施していく必要がある。また、耕種的防除方法として重要なのは抵抗性品種や台木の導入である。

また、産地の事情等もあり導入が困難なものもあるが、極力連作しない作付体系にしていくことも重要である。それでも、ハウスのように連作せざるを得ない場合には、土壌病原菌、寄生性センチュウ密度が高まってくるが、そうした場合には熱による土壌消毒等を行わざるを得ない。被害が拡大した場合には太陽熱や蒸気を用いた土壌消毒によって土壌病原菌、寄生性センチュウの密度を下げた後から密度の高まらない方法を採用し、被害の抑制を図っていくことが必要である。

このように、土壌病害、センチュウ害の対策は総合的に行い、病原菌や寄生性センチュウ密度を下げていくことが重要である。

そのための総合的な防除対策の体系を整理すると図2-27のとおりである。

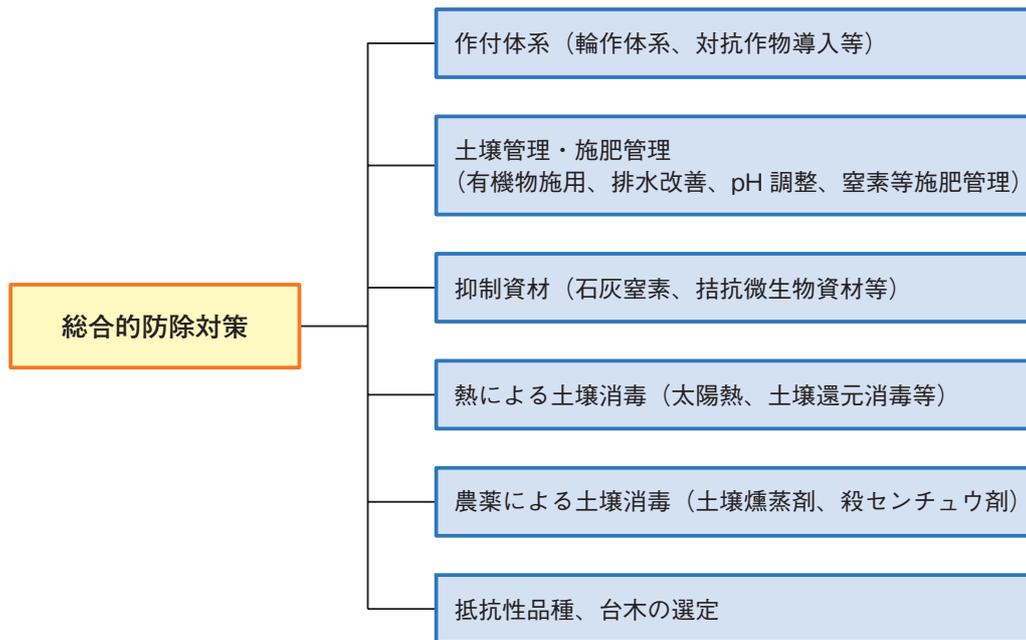


図2-27 総合的土壌病虫害防除対策の体系

◆作付体系の改善

(輪作体系の効果)

輪作体系の実施は、連作による土壌微生物相の単純化や病原力の強化を防ぎ、病原菌密度の低下を図る効果がある。また、輪作体系の中で田畑輪換（でんぱたりんかん）は微生物相の変化を伴うので、病原菌等の密度をより積極的に低下させる。

しかし、病原菌の中には休眠孢子等で長期生存するものや寄主範囲の広い菌も存在するし、センチュウも同様に寄主範囲の広いものが多い。こうしたことから輪作体系のみで土壌病害、センチュウ害を抑止することは難しい。

一般に輪作による発病軽減効果は、高い病原菌密度の場合には効果が発現するまでに長期間を要し、低い病原菌密度の場合においてより効果が期待できるので、病気の汚染が進む前に輪作に踏み切る必要がある。輪作は土壌中から病原菌を完全に除去するものではなく、病原菌の密度を低いレベルに維持していくものである。

(輪作体系に組み込む作物)

輪作体系に組み込む作物については、一般に異なった科の作物と組み合わせるのが良いと言われている。病原菌やセンチュウの種類によっては、多犯性のものであるので被害を受けにくい作物を選択することが望ましいが、こうした理由から一般にイネ科作物を組み込むと良いとされている。

輪作体系の中に組み込み、センチュウ害を積極的に抑制することのできる作物として対抗作物がある。

対抗作物とは、それを栽培することによって土壌中のネグサレセンチュウやネコブセンチュウなどの有害センチュウ類を顕著に減少させる作用を持つ作物のことをいう。



写真2-27 マリーゴールド(センチュウを抑制)

(写真：神奈川県農総研提供)



写真2-28 ヘイオーツ(エンバクの野生種)

(写真：雪印種苗(株)提供)

一般には、キク科のマリーゴールド(ネグサレセンチュウ)、マメ科のクロタラリア(ネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウ、シストセンチュウ)、イネ科のギニアグラス、ソルガム(ネコブセンチュウ)、エンバク(ネグサレセンチュウ)などが知られている(写真2-27、28)。

この導入に当たっては、対抗作物の中の品種によって効果が異なるので品種の選定が重要である。

対抗作物は、ただ栽培すれば良いというわけではなく、栽培期間が重要である。ネグサレセンチュウ対策としてマリーゴールドを栽培する場合には、少なくとも2ヶ月から3ヶ月程度の期間、作付けする必要がある。

一方、連作障害の受けにくい野菜・畑作物もあり、経験的に麦類、トウモロコシなどがあげられている。ただし、連作障害の発生は他からの土壌病害、センチュウ害の侵入によるものがあるので注意する必要がある。

◆土壌管理・施肥管理

(pH)

土壌の化学性と土壌病害の発生については、特に、土壌 pH との関連が深い。概して糸状菌による病気は、土壌 pH が酸性で多発し、アルカリ側で少なくなる傾向にある。

糸状菌の病気でもアブラナ科の根こぶ病は、pH の影響が大きく、土壌 pH を 7.2~7.4 に調整することにより、遊走子の鞭毛が動けなくなり感染が出来なくなると言われている。

ジャガイモのそうか病も pH の影響が大きく、アルカリ性で発病が激しくなるので、主要産地の北海道、長崎県では適性 pH を 5.0 前後としている。

(肥料養分)

肥料養分の過不足は表2-10 のように土壌病害発生への影響がある。

表2-10 肥料養分と土壤病害発生との関係

養分	土壤病害への影響
窒素	窒素過剰により作物体が軟弱に育ち、病害虫の被害を受けやすくなる。特に窒素過剰になると病害抵抗性に関するフェノール化合物が減少し、リグニン含有率も低下する。
リン酸	多くの土壤病害において、リン酸過剰は発病を助長する傾向があるとされている。
カルシウム	作物体中のカルシウム含有率が低下すると一般に病原菌に侵入されやすくなる。石灰施用で減少する病害には、キュウリ、スイカのつる割病、トマト、ゴボウの萎凋病などがある。
マンガン	マンガンは作物体のリグニンの生合成に必要な微量元素で、マンガンが不足すると土壤病害に罹りやすくなる。

(有機物)

堆肥をはじめとして、良質な有機物の施用は一般に根圏の微生物多様性をもたらし、土壤病害を抑止する効果がある。施用した有機物の種類（鶏糞、豚糞、牛糞、バーク堆肥類、青刈り作物など）により、発病が軽減される病害と助長される病害とがあり、一般に生の畜産廃棄物と比較して堆肥化したものの方が病害軽減事例数の多い傾向が見られている。

また、有機資材の中でもカニ殻等キチン質を含むものは、放線菌の増殖を促し、病原糸状菌を溶解する酵素や抗生物質を生産するので、キャベツ萎黄病（いおうびょう）等の抑制効果が認められている。

◆土壤病害、センチュウ害抑制資材

土壤病害、センチュウ害の抑制に効果のある資材が市販されている。

最近では微生物資材、機能性堆肥などが開発されてきている。対象となる土壤病害、センチュウ害や作物の種類は限定されるが、環境負荷を与えにくい資材であり、単用のみではなく他の対策と併用してより効果を高めるなどの使い方ができる。このほか、現在、まだ適応作物や適応する土壤病害やセンチュウ害の種類は少ないが、微生物を活用した土壤病害やセンチュウ害対応の資材が開発され農薬登録されている。

◆熱による土壤消毒

熱を利用する土壤消毒法としては、太陽熱土壤消毒^{*1}(写真2-29)、土壤還元消毒^{*2}、蒸気土壤消毒、熱水土壤消毒などがある。これらの方法は熱により、病原菌、センチュウなどを死滅させるもので、残留性がない、耐性菌が発生しない、比較的環境にやさしい方法である。

熱を利用する土壤消毒法の中では、太陽熱土壤消毒、土壤還元消毒が最も多く普及して

*1 太陽熱土壤消毒……太陽熱土壤消毒法は、栽培休閑期に太陽熱を利用し、ハウス内を密閉して比較的低い温度（40～45℃）を長期間（概ね14～20日）持続させ、有害な病害虫を選択的に死滅させる方法である。

*2 土壤還元消毒……太陽熱土壤消毒より低温で効果が得られる。これまでの太陽熱土壤消毒と異なるのは有機物を混入し、強い還元状態にすることである。色々な有機物を試験した中ではショ糖が最も効果が高く、次いでふすまとなっており、通常、ふすま、米ぬかが用いられる。



写真2-29 太陽熱土壤消毒

ハウスを密閉して透明マルチをかける

(写真：東京農大 大島宏行氏提供)

いる。この両者の熱源は太陽熱であるが、土壤を湛水することが重要で、水を入れることによって土壤中の酸素が欠乏した条件では酸素を必要とする病原菌や寄生性センチュウは比較的低温で死滅する。また、水は熱の媒体として温度の上昇と蓄熱に役立つ。

太陽熱利用の欠点は高温が持続するのは夏場で、期間が限られていることや、寒冷地では温度が上がりにくいことである。

そこで開発されたのが土壤還元消毒法である。これは湛水とともに有機物を混入させ強い還元状態にすると、より低温でも病原菌等が死滅することを活用したものである。

太陽熱土壤消毒や土壤還元消毒は化学合成農薬や蒸気消毒に比べると、ややマイルドな消毒で生物を全滅させるのではなく、有効菌もある程度生存しており消毒後の病原菌の再汚染防止効果が高いことが明らかにされている。

この他、熱利用による消毒法として蒸気等利用による土壤消毒法がある。太陽熱土壤消毒は高温の時期に実施が限られるが、蒸気等を利用する場合は時期が限定されず短期間に行えるメリットがある。また、深層までの土壤消毒がやりやすい。ただし、太陽熱土壤消毒と比較しコストがかかる。

(6) 作物生育にとって好ましい土壤環境と課題

作物を栽培する場合、その土地の土壤の種類や土性に合った作物を導入することが最も容易に収量、品質を向上させていく方法であるが、殆どどの圃場は栽培する作物の生育に適した土壤に改良しないと収量・品質が向上しない。そこで作物生育にとって望ましい土壤とはどのような土壤なのか、また、現状では何が問題かについて知っておく必要がある。

1) 水 稲

水稻は湿性植物であり、水が湛水できる水田で栽培される。水稻の生育にとって望ましい水田土壤は、野菜・畑作等の場合と共通する点もあるが異なった点もある。

水田の場合には、野菜・畑作と異なり①灌漑水により養分が供給される、②水稻栽培期間中において圃場は湛水管理される、③水稻収穫後は落水するため養分蓄積が起きにくい、

などの特徴がある。

近年、水田は水稲のみでなく他の畑作物も栽培できる圃場条件が求められるようになってきており、特に圃場の排水性が重視されてきているが、水稲の生育を良くするためには、①保水性、透水性が適度であること、②土壌の硬さ、作土深^{*1}が適度であること、③養分が適度であること、が重要である（図2-28）。

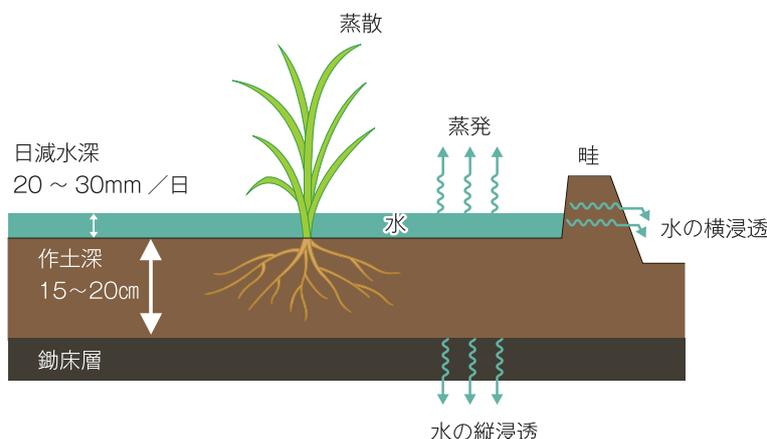


図2-28 水稲の生育にとって望ましい土壌環境

◆透水性・保水性が適度である

水稲は湛水下でも地上部から根に酸素を送ることができる通気組織を持っており、呼吸を維持することができるが、土壌の酸素不足の状態（還元状態）が極度に進むと根の養水分吸収力が弱くなる。酸素不足の状態では土壌中に種々の有害物質（有機酸、硫化水素等）が発生し、水稲は根腐れを起こしやすい。透水性の良い圃場では根に酸素が供給され、有害物質の発生も排除されるので根が健全に生育できる。一方、透水性の高すぎる漏水田（砂質、礫質などの水田に多い）では、養分の溶脱が著しく、特に生育初期に必要な地温も確保されにくい。

砂質土等の水田では透水性が高すぎて、鉄等が溶脱することから還元状態で発生する硫化水素等によって根の障害を受けやすい。水稲成熟期になって根の障害により生育が劣ってくる水田を秋落ち水田と呼んでいる。

これを防ぐには水田に湛水機能とともに、適度な透水性をもたせることが必要で、一般に一日に20~30mm 田面の水位が低下（日減水深^{*2}）する程度の透水性が必要とされている。

*1 作土深……作土とは作物の根が水分や養分吸収のために容易に伸長していくことのできる土層のことで、人為的な耕うんの影響を直接受けた膨軟な部分を言う。作土深は作土層の厚さを言う。

*2 日減水深……水田に湛水された水は、水稲根による吸水、水面蒸発、地下への浸透によって次第に減少する。日減水深は水田で消費される水量を一日当たりの水の減少した水深（mm/日）で表したものである。

◆土壌の硬さ・作土深が適度である

水稻の根の生育に影響する土壌条件としては土壌の硬度、作土層の深さがある。土壌の硬度は根の伸長に直接影響し、硬度が増すほど根の伸長が阻害される。また、作土深も地表面から鋤床層（硬盤）*³までの深さが深いと根が深く伸びる。根の伸びる範囲が狭ければ生育に必要な養分の吸収量が少なく生育が劣る。

一般に作土の深さは15～20cmが望ましいとされている。作土深は作土層の保肥力とも関係し、水稻の収量、品質との関係からは砂質土等保肥力の小さい圃場では作土深が深い方が良く、粘質土等保肥力の大きい圃場では作土深が浅くてもよい。

近年、大型トラクター、田植機、コンバインでの作業のやりやすさなどから作土深が浅くなってきているとともに、土壌もその圧密を受け硬くなりがちである。

◆養分が適度にある

水稻は他の畑作物と比較して土壌由来の養分を吸収する割合が高く、水田が灌漑水からも養分供給されることから、無肥料で栽培した場合でも畑作物と比較して収量の減少が少ない。

しかし、収量や品質の向上を図るためには、適切な肥料養分が必要である。

生育に特に影響を及ぼす養分は窒素である。水稻は土壌に含まれる有機物が微生物によって分解され発現してくる無機態窒素（アンモニア態窒素、硝酸態窒素）である地力窒素の依存度が高く、水稻の吸収窒素の約6割程度が地力窒素であるとされている。このため、稲わら、堆肥等有機質資材の投入が重要である。

また、土壌の酸、アルカリの度合を示すpH*⁴も水稻生育に影響し、湛水していない状態の水田でpH5.5～6.5の弱酸性が望ましいとされている。

水稻はケイ酸を好んで吸収する特性があり、これにより水稻の茎葉が剛直化して耐倒伏性が増すとともに、受光態勢が改善し収量、品質が向上する。また、病虫害抵抗性も増加する。

また、水田土壌中の鉄、は水稻作付期間中に発生する硫化水素等有害成分から根を守る働きをしている。

*3 鋤き床層(硬盤)……農業機械などによる荷重のために作土直下に発達する圧密された土層をいう。硬盤とも呼ばれる。水田では水を蓄える役割を持っている。

*4 pH……pH（ピーエイチまたはペーハー）とは、水素イオン濃度のことで、酸性やアルカリ性にどれだけ傾いているかを表す。pH7.0が中性でこれより低い方が酸性、高い方がアルカリ性となる。通常の土壌診断では土壌に2.5倍量の水を加えて遊離してくる酸を測定しており、それをpH（H₂O）と表す。

◆水田土壌の課題

—地力の低下や作土層が浅くなってきて高温障害を受けやすくなっている—

近年、米生産については食味の良い米を生産することが求められており、このため、食味に最も影響する窒素の過剰施用を控えるようになってきている。水稻に対する施肥は、基肥のほか追肥として穂肥^{*5}(ほごえ)、実肥^{*6}(みごえ)が施用されてきたが、米の食味に悪影響を及ぼす恐れの大い実肥は現在殆ど施用されなくなっている。

一方、近年、散布労力やコストの問題から従来土づくり資材として投入されてきた堆肥やケイ酸、含鉄資材も施用されなくなってきた、地力が低下してきているとともに、水田の作土が浅くなってきているところが多い。

こうした水田土壌環境の変化は、近年問題となっている高温障害を受けやすくしている。

水稻の高温障害の影響は米の品質の低下となって現れてきている。特に玄米の胚乳部に白濁を生じる未熟粒の発生が大きな要因となって玄米の一等米比率が低下している。

こうした高温による影響の受けやすさは土壌環境によって大きく異なる。窒素供給の少ない圃場については水稻の登熟期の窒素栄養不足が原因となって白未熟粒^{*7}が発生している。特に、作土の浅い水田で白未熟粒が多く発生している(写真2-30、31)。

また、地域によっては秋落ち水田が増えつつある。こうした水田では土壌診断に基づき含鉄資材を施用することが望まれている(表2-11)。

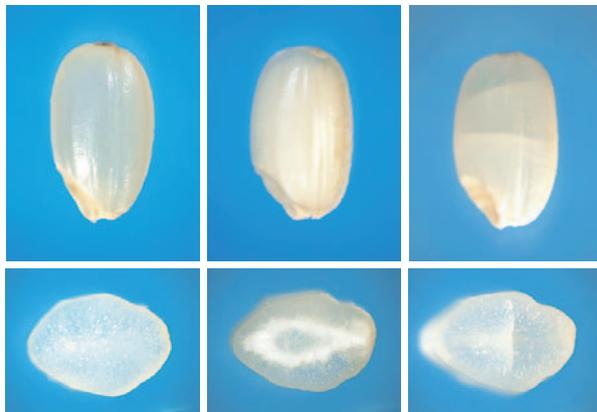


写真2-30 左から：整粒、乳白粒、胴割れ粒
下段は断面

(写真：農研機構作物研究所 岩澤紀生氏提供)



写真2-31 登熟期の水稻

(高温の影響でやや下葉の枯れあがりが目立つ)

- *5 穂肥……穂肥は1穂粒数を増やし、葉色の低下や枯れ上がりを防いで粒の充実を促すなどの目的で幼穂形成期(一般に出穂20日前後)に追肥するものである。穂肥を効率よく効かせるには穂肥の時期、量、施用法に注意する必要がある。
- *6 実肥……出穂前後から10日後位までに行われる追肥のことで、光合成能力の低下や稲体の老化を防ぐために行われてきた。実肥は玄米のタンパク含量を増やし食味を低下させることが多いことから現在では殆んど行われていない。
- *7 白未熟粒……白未熟粒の発生は登熟期、特に出穂後20日間程度の登熟初中期の平均気温が26~27℃以上で増加する。外観品質の低下要因である白未熟粒には、胚乳全体が白くなる乳白粒と、一部が白くなるものとの2種類があることがわかっている。

表2-11 水稲生育にとって好ましい土壌環境と現状の課題

好ましい水田土壌環境	現 状	課 題
◆ 土壌の硬さ、作土深が適度（15～20cm）であること	◆ 作土深が浅くなってきている。（10～12cm）	◆ 高温障害受けやすい。（根張り浅い）
◆ 肥料養分が適度であること	◆ 窒素施用がかなり減少してきている。（良食味志向） ◆ ケイ酸、遊離酸化鉄不足が見られる。（資材投入減）	◆ 高温障害受けやすい。（窒素、堆肥、ケイ酸不足） ◆ 地域によって秋落ち水田増加（遊離酸化鉄不足）
◆ 保水性・透水性が適度であること	◆ 地域によっては排水不良田、漏水田が見られる。	◆ 排水不良田では稲わら等分解遅延から初期生育不良となりやすい。 ◆ 漏水田では秋落ち現象見られる。

2) 野菜、草花、畑作物

野菜、草花、畑作物は一般に、①根の生育に酸素を多く必要とするとともに、適度な土壌水分も必要とすること、②肥料養分を多く必要とする作物が多いこと等の特徴がある。

これらの特徴を満足させるための土壌条件としては次のようなことがあげられる。

◆通気性、排水性、保水性が良い土壌であることが望ましい

野菜、草花、畑作物が順調に生育できる土壌にしていくためには、根に酸素や水とともに、養分を十分供給できるようにしていくことが必要である。

そのためには、土壌を団粒構造にしていくことが必要であり、堆肥等有機物の施用とともに砕土、耕起などを行う必要がある。また、土壌団粒は農業機械による踏圧や降雨による衝撃、過湿、乾燥時の耕耘などによって破壊されやすいので、堆肥等施用により維持されるようにしていくことが必要である。

◆土が柔らかく浅い層に硬盤層がない土壌であることが望ましい

土層中に根が自由に伸びていくためには、土壌が硬くないことと、根の伸びていく範囲に硬い硬盤層がないことが必要である。重い大型農業機械を利用して年間何回もロータリー耕を繰り返すと、作土の下に硬盤層ができてくる。硬盤層が特に浅い場合は根の伸長範囲が制限され、生育に影響を与える。また、根菜類では根が深く伸びることができず、商品価値を失うこととなる。また、硬盤層ができてくると、排水性が悪くなり湿害を受けやすくなる（図2-29）。

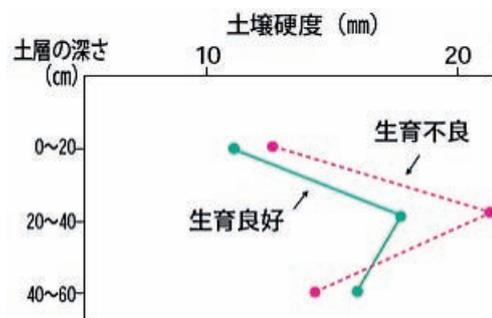


図2-29 生育不良野菜畑の層別土壌硬度
(全農グリーンレポート(2005)より)

作土の厚さは一般に25cm以上あることが望ましいが、ダイコン、ニンジン等根菜類では30cm以上、ゴボウでは60cm以上確保することが望ましいとされている。

◆肥料養分濃度が適度で養分バランスが良い土壌であることが望ましい

野菜作の場合、特に肥料を多く必要とする作物が多く、多肥栽培されることが多い。このため、土壌の塩類濃度が高まりやすい。特にハウス栽培では降雨による養分の流亡がないため、硝酸塩、硫酸塩等の塩類が集積しやすい。塩類が集積してくると、根の吸水阻害、養分吸収阻害が起こり、葉が萎れるなど生育に影響する。

土壌 pH も作物生育に影響する。雨の多い日本では降雨により露地畑では石灰等塩基類が溶脱するとともに、窒素肥料の多施用では酸性物質である硝酸イオンが増加しやすい。こうしたことによって畑地では酸性に傾きやすい。

また、野菜類などでは連作されることが多く、肥料養分が蓄積するとともに養分バランスが崩れやすい。特にカリウム、マグネシウム、カルシウム等の塩基類の養分バランスが崩れると、生理障害が出やすい。

以上述べた野菜類における望ましい化学性、物理性の土壌特性を図で示すと図2-30 のようになる。

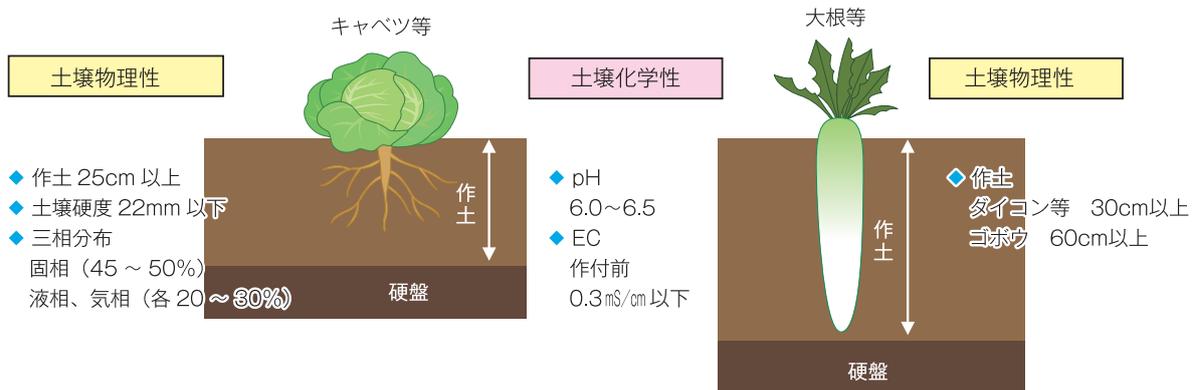


図2-30 野菜類の望ましい土壌物理性と化学性（主な指標）

◆土壌中の生物相が多様であることが望ましい

野菜類では同じ種類の作物を同じ畑に連作されることが多いが、連作に伴ってその作物の収量・品質が低下する現象は連作障害と呼ばれている。連作障害の要因は、土壌病害やセンチュウ害によるものが主因であることが明らかになっている。

同じ種類の作物が連作されれば、その根に侵入できる菌が残根上で生き残り、増殖するというサイクルを繰り返して病原菌が集積する。

根圏土壌（根の周りの土壌）の微生物相が多様であると、土壌病原微生物の増殖が抑制されることが知られている。良質な堆肥等有機物施用により多様な微生物の棲む環境にしていくことが必要である。

単一作物の連作ではなく、輪作体系で栽培することや、土壌病原菌が繁殖しやすい排水不良の状態を改善することも土壌微生物環境の面から望まれている。

◆野菜、草花、畑土壌の課題

－野菜などでは塩類集積、連作障害、排水不良などが問題－

一般に野菜類は多量に施肥されることが多いことから養分過剰の圃場が多く、塩類集積や養分バランスの崩れによる生育障害の発生が問題となっている。

中でもハウス栽培では降雨の影響がなく、ハウレンソウ等では年間数回作付けされることがあることから塩類集積が進みやすく、より重要な問題となっている（写真2-32）。



写真2-32 ハウスイチゴ栽培での塩類集積
(畝のマルチを剥いだ表土が塩類集積で白くなっている。)

また、畑地については、野菜を中心に同一作物が連作されることが多く、連作障害が問題となってきたが、その要因としては、①単一作物の栽培の進行、②養分バランスの崩れ、地力の低下等により作物側の抵抗力の低下、③排水の良くない水田転作地への野菜栽培の普及（土壌病原菌の中には根こぶ病のように鞭毛等により水の中を移動し蔓延するものもある）等があげられる。

また、米の生産調整のため水田の畑利用が進められてきているが、水田転作畑を中心に排水不良圃場も多く見られている。こうしたことから排水不良による湿害の発生や隣接水田からの水の侵入による湿害の発生も見られている（写真2-33）。



写真2-33 水田転作田での大豆の生育障害
(隣接水田からの水の侵入もあり湿害で大豆の発芽が良くない(写真手前部分))

野菜・草花・畑作物の生育にとって好ましい土壌環境と現状の課題は表2-12のとおりである。

表2-12 野菜・草花・畑作物の生育にとって好ましい土壌環境と現状の課題

好ましい畑地土壌環境	現 状	課 題
◆ 肥料養分濃度が適度で養分バランスが良い。	◆ ハウスを中心に塩類集積 ◆ 養分バランスの崩れ	◆ 生理障害が発生しやすい。 ◆ 土壌病害等の被害を受けやすい。
◆ 土壌の根圏生物相が多様である。	◆ 同一作物の連作で病原微生物等の密度が高まっている圃場が見られる。	◆ 土壌病害やセンチュウ害の発生が増加しやすい。
◆ 通気性、排水性、保水性が良い。(団粒構造の土)	◆ 圃場によっては排水不良等の圃場も見られる。(水田転作畑等)	◆ 排水不良圃場では湿害の被害(麦、大豆等)を受けやすい。 ◆ 土壌病害の蔓延(水が媒介)
◆ 土が柔らかく浅い層に硬盤層がない。	◆ 露地の圃場では硬盤層が発達している圃場が見られる。(農業機械の圧密等)	◆ 排水不良となり湿害を受けやすい。 ◆ 土壌病害の蔓延(水が媒介) ◆ 根菜類中心に作物の収量、品質低下

3) 果樹、茶

果樹、茶は永年作物であり、長期間、安定して収量、品質の良い生産物が得られる土壌環境にしていくことが重要である。

そのための土壌環境としては、①根が土中深く入るので、根がかなり自由に深く貫入できる土壌であること、②根群の分布する土壌の通気性や保水性が良好であること、③果樹は樹体に養分を蓄積し翌年度の開花、結実に利用されるので、それにあった養分供給があること、が必要である。

果樹等は長期間にわたって生育するので、下層土を含め根が健全に生育できる物理的條件の維持が特に重要である。

◆根群が深く入りやすい土壌であることが望ましい

果樹の根は土壌条件さえ良ければ、2 m以上の深さにまで達し、広い範囲から養水分を吸収する。したがって、主要根群の分布する土壌範囲はもちろん、根の伸びていくそれより下層の土壌硬度なども果樹の生育に影響を及ぼす。

根の伸びることができる好適な有効土層の深さは樹種によって異なるが、一般には60cm以上が適当とされている。ナシ、クリ、カキは深根性の樹種であり、これらについては好適な有効土層の深さは最低でも60~70cmであり、理想的には100cmが必要とされる。

また、ミカン、モモ、ブドウは一般に浅根性の樹種で、主要根群域は30~40cmにあつて、根が伸びることができる有効土層は60cm以上が望ましいとされている。特にこれらの樹種は、排水性と通気性の良い圃場ほど根張りが良く品質が良くなる。

◆排水性・通気性・保水性が良い土壌であることが望ましい

樹園地の排水性、通気性、保水性は果樹等の生育に大きく影響する。特に排水性の悪い

圃場では、根が湿害により傷むとともに、雨量の多い年には新しい枝の伸長は成熟期に至っても停止せず、果実の品質は著しく低下する。

果樹の樹齢が進み、細根が土層深部に到達し始めると、下層土の影響を強く受ける。下層土の土壌の物理性が悪いと次第に樹勢が弱り、収量、品質が低下してくる。

また、傾斜地に分布している樹園地では有機物に乏しい土壌が多いため、土壌流亡による養分不足が問題になりやすい。

そのような樹園地では有機物の補給、土壌流亡防止、根による土壌の孔隙量の増加などが期待できる草生栽培法の導入が望ましい。草生栽培は土壌表面を裸地状態にするのではなく、牧草やその他の草をばやして年数回刈取りをして常に土壌表面を覆う方法である。

◆肥料養分濃度が適度で養分バランスが良い土壌であることが望ましい

果樹の場合には収量以上に食味が重視される。食味に最も影響するのが窒素であり、窒素が多いと果実の糖度が低下するとともに、着色不良となり品質が低下する。特に果実肥大期から着色期の窒素の効き過ぎの影響が大きい。果実肥大期は気温が上昇する時期となるものが多く、その時期は土壌中の有機物が微生物によって盛んに分解されて無機態窒素が多く発現（地力窒素とも言う）する時期と重なりやすいためである。

果樹は地力窒素の吸収量が施肥窒素よりも多いことから、施肥窒素のみでなく、地力窒素の発現量も考慮した窒素供給とする必要がある。

また、果樹は永年性作物で翌年の開花などは前年度に樹体に蓄積された養分によって行われる。樹体に蓄積された養分が少ないと隔年結果（果実がたくさんなる年と少ししかならない年とが交互に現れること）になりがちである。果実収穫前後の葉がある状態で肥料養分を補給するような養分管理が望ましい。

果樹の場合、養分バランスの崩れや pH の酸性、アルカリ性への偏りにより生育異常となる生理障害が発生しやすい。適正 pH は樹種によって異なり、かんきつ類は pH5.5～6.5、石灰要求度の高いブドウは pH6.0～7.0 が望ましいとされているが、茶は酸性土壌を好み pH4.0～5.0 が望ましいとされている。

なお、茶の場合は、葉のアミノ酸含量等を高めて品質向上を図るため、一般にかなり窒素が多く施用される。これにより地下水等の汚染につながるため、必要以上に窒素含量を高めないことが望ましい。

以上述べた果樹、茶における望ましい化学性、物理性の土壌の特性は図2-31 のようになる。

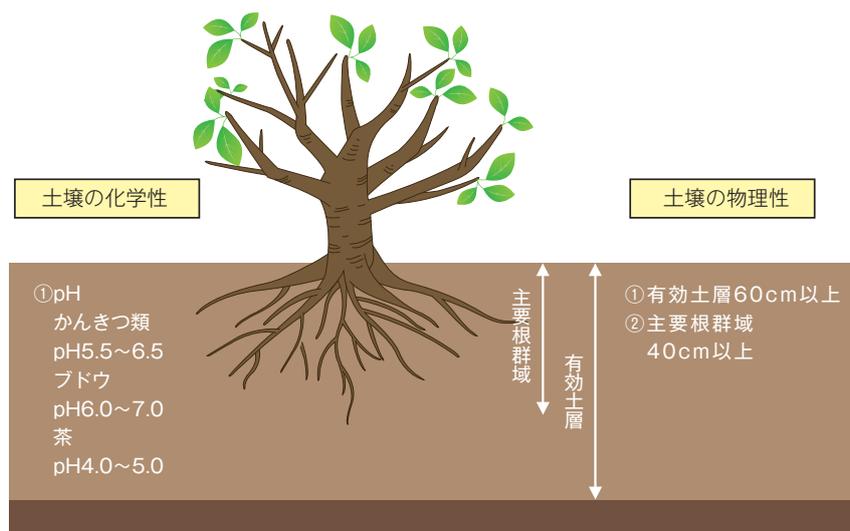


図2-31 果樹・茶の望ましい土壌物理性と化学性（主な指標）

◆果樹、茶土壌の課題

—土壌の通気性、排水性ととも養分バランスの崩れなどが問題—

果樹については近年、果実の食味向上が一層求められてきているとともに、安定生産が求められてきている。果樹の安定生産のためには、特に土壌の通気性、排水性等物理性の改善が重要である。果樹園の中には樹齢を経ると新梢の勢いが弱まり、果実も小さくなるなど早く衰弱するケースが見られる。こうした場合の要因としては、土壌が硬くなったり、排水性が悪くなる等により根の量が減少してきている場合が多い。

土壌の物理性の改善については、苗を定植する時点での土壌改良も重要であるが、成木後毎年の農業機械による踏圧によって通気性、排水性が低下してくるので、土壌の物理性を改善していく必要がある。

特に下層土の物理性の改善が根域の拡大のために必要なので、部分深耕し、有機物を施用していくことが重要である。また、牧草などを園地に植えて年に数回刈取りを行う草生栽培は、根による深耕効果、有機物補給などの効果が期待できるのでこれも有効な方法である（写真2-34）。



写真2-34 リンゴの草生栽培園

果樹園の土壌は全国的に見てリン酸、加里のように養分の中には過剰なものがあり、必ずしも養分バランスがとれているとは言い難い。こうした中で、養分バランスや pH の崩れ等が要因となった生理障害が発生している。

また、茶については、その旨み成分であるアミノ酸含量が重視され、これを高めるために窒素肥料が大量に施用されてきた。このため、硝酸態窒素による地下水等の汚染が問題になったことから、現在ではかなり窒素施肥量を減らしてきている。しかし、品質との兼ね合いで必要以上に窒素が施肥されているところも見られ適正施肥が求められている（表2-13）。

表2-13 果樹、茶の生育にとって好ましい土壌環境と現状の課題

好ましい果樹等土壌環境	現 状	課 題
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 有効土層（60cm 以上）や主要根群域広い（30～40cm）。 ◆ 排水性、通気性、保水性が良い 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 土壌が硬くなり排水性、通気性低下してきている圃場が見られる（スピードスプレーヤー等の踏圧） 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 樹勢が低下してきている圃場が見られる。
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 肥料養分濃度が適度で養分バランスが良い。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 果樹で養分バランスの崩れている圃場が見られる。 ◆ 茶では窒素施用過剰により水環境汚染が懸念される地域が見られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 生理障害の発生している圃場が見られる。（石灰、ホウ素、マンガン欠乏等）

3

土づくり対策

(1) 水田

1) 遊休地や有機栽培への転換初期の早期地力向上対策

有機水稲農家が有機稲作の作付規模を拡大する場合には、慣行水田を借地するケースが多い。有機水稲は多くを地力窒素に依存して生産されることから、収量の向上や生産安定を図るためには適正な地力窒素の水準にしていく必要がある。これまでの例では一般に慣行水田は腐植含量が低く、地力窒素の発現が少ないことが多い。

(水田の腐植含量等の相違が水稲収量に大きく影響していた調査例)

北関東の有機水稲農家 T 氏の水田では同一地域にありながら借地により規模拡大を行ってきたこともあり圃場ごとに収量が異なっていた。そこで、収量の異なる圃場毎に腐植含量や全窒素含量などを測定した結果、腐植含量等が水稲の収量と密接に関係していた。T 氏の圃場では腐植含量が 10% 程度で、450kg/10a 程度の安定した単収が得られているが、それ以下であると収量が低下している。また、腐植含量が 12% 程度になるとやや倒伏する傾向が見られ、適正な腐植含量は 10% 程度と考えられた。食味も腐植含量の低い圃場で低く、11% 程度の腐植含量のある水田で高かった。この地域の水田は黒ボク土壌の水田であるので通常多く見られる灰色低地土水田と比較して腐植含量は高くなっている（表 3-1）。

表 3-1 同一地域で有機栽培年数の異なる水田の腐植含量等と有機水稲の収量・品質

対象水田	T 氏の圃場別の土壌評価	地力窒素関連項目		収量・品質	
		腐植含量 (%)	全窒素含量 (%)	H21 収量 kg/10a	食味値
有機 9 年水田	やや肥沃、トトロ層大	11.9	0.60	450	88
有機 9 年 "	瘠せ地、トトロ層無、茎数少ない	4.7	0.26	330	84
有機 7 年 "	肥沃、トトロ層大、やや倒伏	10.3	0.50	450	-
有機 11 年 "	肥沃度中、トトロ層大、	9.6	0.47	420	-
転換 3 年 "	借地、肥沃度中	9.5	0.47	390	88
転換 1 年 "	借地転換初年目、雑草多い、浮草出ない、肥沃度低	6.2	0.34	360	-

注：水稲品種は全てコシヒカリで、圃場は全て黒ボク土水田である。有機水稲 9 年の水田は均平作業で表土を移動したため極めて腐植含量が少なくなっている。

どの程度腐植含量等があれば適当かは、腐植含量が土壌の種類によって異なり、また、その地域の気温によって異なってくる。したがって、おおまかな目安として同一地域、同一土

壤の種類で収量、品質との関連で比較し、どの程度腐植含量があれば安定した収量、品質が得られるかを比較調査してみるのが適切と考えられる。

(土づくりと雑草抑制)

有機水稲では雑草抑制対策が重要な問題となるが、雑草発生には窒素肥沃度が関係している。窒素肥沃度が低いと痩せ地でも生育できる強い雑草が優占してくるが、ある程度窒素肥沃度が高いと水稲生育が優占してくるという調査結果がある（(公財)自然農法国際研究開発センター）(写真3-1)。地力窒素由来の無機態窒素濃度が26mg/kg(2.6mg/100g)以下になると雑草発生が急増している。過剰な地力窒素の発現は水稲生育にとっても害になるが、水稲生育を優占させ、雑草発生を抑制する観点からは有機物施用により、ある程度窒素肥沃度を高めておく必要がある。



写真3-1 T氏の有機水稲圃場
(雑草の発生は殆ど問題がない)

◆堆肥等による腐植含量の向上

有機水稲への転換初期に比較的多めの堆肥施用を数年繰り返すと、腐植含量が高まるとともに土壌の有機物分解の活性が高まる。慣行栽培水田では、一般に有機水稲に転換して3年程度は良質の堆肥を2～3t/10a 施用し早期に地力を高める必要がある。

稲わら鋤込みについては寒冷地では稲わらの分解が進みにくいので、よく進むように秋の段階から圃場の乾燥を進め、浅い耕耘により稲わらと土を良くなじませて分解を促進させる必要がある。

また、地力窒素発現の少ない圃場では収量が低くなるので、有機水稲栽培に移行する予定の慣行水田の地力向上対策を予め行ってから、有機稲作に移行することも良い方法と考えられる。

福島県喜多方市のS氏は、早期に地力を向上させ有機水稲収量を安定させるため、有機水稲予定圃場に対し、当初多めに牛ふん堆肥を施用している。そして有機水稲予定圃場の地力を高めてから有機栽培に移行する方法を実施している。

なお、喜多方市はもともと水稲の収量水準の高い地域ではあるが、S氏は天候が良ければ有機稲作(コシヒカリ)で600kg/10aの収量を得ている(写真3-2)。



写真3-2 S氏の収量の高い有機水稲圃場
(十分水稲の茎数が確保されている)

◆緑肥作物の利用

裏作が可能な地域では運搬コストをかけないで土づくりが可能なレンゲ、ヘアリーベッチなどの緑肥作物の栽培を行うことも地力を高めるために良い方法である。これらの作物を栽培して、翌年春に鋤き込み、肥料として利用する有機水稻農家も見られる。この栽培方法は、次のような効果が期待できる一方、問題点もある。こうしたことを考慮して条件の整った地域で実施するのが望ましい。

(期待される効果)

- 養分供給（緑肥作物鋤き込み後の分解による養分供給、マメ科の緑肥では窒素固定）
- 省力・省資源・省コスト（堆肥製造のような労力やコストが不要）
- 景観形成や生態系保全（裸地期間の養分溶脱防止、開花時には美しい景観形成、ミツバチ等訪花昆虫の餌場）
- 土壌物理性の改善（緑肥の根のあった場所の空洞が通気性、透水性を改善）

しかし、次のような問題点もある。

(問題点)

- 肥効コントロールが必要（緑肥の生産量は気象や土壌条件によって鋤き込み後の分解も異なってくる。鋤き込み時期等の調整や有機質肥料の追肥で補完することが必要）
- 未熟有機物施用に伴う障害（鋤き込み後は通常2週間程度放置し、有害物質濃度が低下してから代掻き作業を開始が適当）

(緑肥作物利用の実施と留意点)

○適切な草種を選択する

水稻作には基本的に施肥が不要なマメ科緑肥の利用が望ましいが、草種により播種適期、開花時期、生産量、窒素固定量が大きく異なる。

そのため、栽培圃場の気象、土壌肥沃度、移植開始時期などの条件にマッチングした草種を選択するようにする。緑肥利用はどうしても基肥重点型の肥培管理になるので、水稻の耐倒伏性も考慮する必要がある（写真3-3）。



写真3-3 ヘアリーベッチ栽培水田

○湿害に注意する

水田裏作に使用できる緑肥は湿害に弱い草種が多いため、土壌が加湿の場合は生育量が低くなったり、圃場内で生育ムラができる。そのため、湿田では暗渠や明渠の排水対策により、適切な土壌水分が維持できるようにする。

○鋤込みと湛水時期のタイミングを考慮する

緑肥生育は、苗立ち量、気象などにより生育量や生育ステージが変動することが多い。水稻移植時期はほぼ例年決まっているため、生育を見ながら緑肥鋤込み時期と湛水時期のタイミングを調整する必要がある。緑肥生育が過剰であれば、鋤込み時期を早め、

湛水までの期間を長くすることで窒素供給量を低減できる。逆に緑肥生育が不足する場合は、鋤込み時期を遅くし、湛水までの期間を短くする。また、鋤込みから湛水までの期間を寒冷地では長くし、温暖地では短くすることにより、新鮮有機物分解で発生する生育抑制物質による影響を回避し、水稲による緑肥窒素の効率的な吸収が行える。

2) 通常期に入ってからのおづくり

◆適切な施肥管理の実施

堆肥は連用していくと地力窒素の発現が多くなってきて、水稲が倒伏しやすくなる。

地力を維持していくためには牛ふん堆肥であれば 1t/10a 程度の施用が望ましく、稲わら鋤込みと合わせて行っているのであれば、水稲の生育状況を見てしばらく施用を止めても良い場合もある。緑肥作物を利用しているのであれば、堆肥を施用しなくても良い。

地力窒素は地温が上昇しないと発現してこないことから、初期生育を良くし一定の茎数確保するため、比較的分解の早い有機質肥料を基肥として施用するのが一般的である。特に関東、東北、北陸地方などでは慣行栽培の田植え時期では地温が低く、地力窒素の発現が少ないこともあって、田植え時期を遅らせて田植えをする例が多い。このように、田植え時期とともに、基肥に分解の早い有機質肥料を施用して初期生育を確保することも重要である。

◆土壌診断に基づく養分バランスの改善

近年、水稲への熔リン、ケイカルといった土壌改良資材の投入が減ってきており、有機水稲圃場においても、土壌診断を行うとリン酸不足、ケイ酸不足の圃場が見られる。

近年、大きな問題となっている高温障害は、慣行栽培水稲ほどではないが有機水稲においても乳白粒等の発生により品質が低下している圃場が見られる。

高温障害は土壌管理とも密接な関係があり、作土が浅い圃場やケイ酸不足の圃場に特に障害が多く発生している。また、島根県の調査では石灰、苦土含量の低い圃場で乳白粒の発生が多いという報告がなされている。

一般に有機水稲農家においては土壌診断をしている例が少ないが、時々土壌診断をすることが重要である。これまで、有機稲作農家の土壌診断を行ってきた結果からは養分バランスに問題のある圃場が見られ、それが収量低下の要因にもなっている例が見られている。

例えばリン酸については、近年、慣行栽培圃場ではリン酸過剰の圃場が多くなっていると言われているが、有機水稲水田の土壌分析をしてみると不足している例が見られる。

東北地方の有機水稲グループで調査した結果では、有効態リン酸含量の低い圃場で水稲収量が低い傾向が見られた（図3-1）。有効態リン酸は 10mg/ 乾土 100g 未満の場合は施肥リン酸による収量向上効果が極めて高いというデータがあり、事実、有効態リン酸 10mg/ 乾土 100g 未満の圃場の収量は低かった。

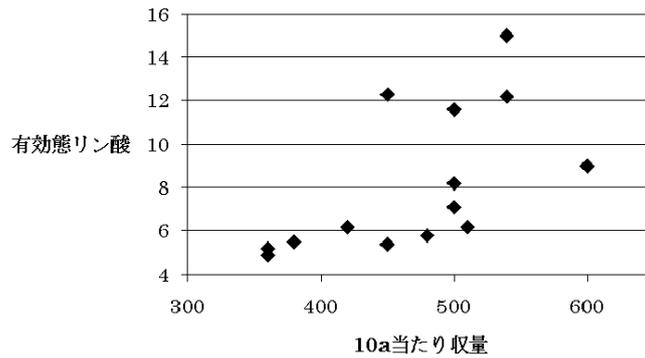


図3-1 有機水稻栽培での有効態リン酸と水稻 10a 当たり収量

また、雑草抑制と施肥管理との関係では、有機質肥料の施用において春先耕耘時の生の有機質肥料の鋤き込み施用は雑草発生を促すが、ぼかし肥料で施用すると比較的雑草の発生量が少ないことがわかってきている（岩石ら 2010）。

このような水田の土壌養分と雑草発生との関係を考慮して、雑草発生が少なく、水稻生育が優占する土づくりを行っていく必要がある。

(2) 普通畑・施設栽培地

1) 遊休地や有機栽培への転換初期の早期地力向上対策

有機野菜栽培を開始したり規模拡大するに当たって、遊休地等を借地するが多い。こうした圃場は肥沃でないため収量が向上するまでに時間を要するが多い。一般に、土壌肥沃度が低いと品質の良いものが生産できない白菜、キャベツ、ホウレンソウなどは、安定して良質なものが生産できるまでには4～5年を要する。特に新規有機栽培参入者にとっては早く収入を上げる必要があることから、土壌肥沃度の早期向上は大きな問題である（写真3-4）。



写真3-4 結球しなかった白菜圃場(左)と多くの野菜が安定して生産できる近接圃場(右)

(左の有機圃場は5年間に牛糞堆肥を2t/10aと緑肥施用、右の有機圃場は6年前から牛糞堆肥を当初3t/10a、その後2～3t/10aを毎年施用)

◆生育阻害要因の明確化

借地圃場等で収量が上がりにくい圃場の実態を調査すると、周辺の安定した生産ができている野菜圃場と比較して、塩基類も低いと共に地力窒素発現に関する腐植含量が低く、通気性、排水性等が悪いところが多い。多くは有機物の投入量が十分でなく土壌の団粒構造が形成されていない圃場が多い。しかし、土壌の物理性が悪いことや腐植含量が低く地力窒素の発現が少ないという問題のみだけではなく、リン酸不足、pHが低いという問題もある場合がある。また、黒ボク土地帯では有効態リン酸含量が特に少なく、これが生育制限要因になっていることが多い。

したがって、早期に野菜類などが生産できるようにしていくためにはできる限り土壌診断を行い、生育阻害要因を明確にしていくことが重要である。

◆堆肥等施用による改善

堆肥施用により地力を早急に高めていくには栽培当初に堆肥を大量に施用するのが良いと言われている。これまで試験してきた結果から、特に地力の低い圃場ではC/N比20程度の一般的成分の堆肥を大量に入れただけでは直ぐには葉菜類の生育は良くならない。特に白菜のように窒素を多く必要とする野菜は商品となるものは生産しにくい。

堆肥の施用については、当初大量（5t～10t/10a程度）に堆肥を施用し土壌の物理性等を改善していく必要がある。2年目頃からぼかし肥料や鶏糞のような速効性の肥料を合わせて施用することにより野菜によっては商品化できるものが生産できるようになる。

（耕作放棄地での堆肥 + 鶏ふん施用による改善例）

借地（耕作放棄地）で牛ふん堆肥（牛ふん、食品残渣、落ち葉等原料C/N比20）を5t/10a施用区と10t/10a施用区を設け、8月に堆肥投入後その他の有機資材を入れずにミズナ、コマツナ、ホウレンソウ等を作付けしてみた。腐植含量等は堆肥施用量に比例して増加するが、堆肥施用直後は微生物の働きによる無機態窒素の発現が少なく、特に窒素を多く必要とするホウレンソウは育たなかった（写真3-5）。特に黒ボク土壌でありリン酸不足も生育に影響していた。



写真3-5 牛ふん堆肥 10t 区(左畦)と 5t 区(右畦)

（大量に牛ふん堆肥入れても初年目は全体に生育は劣る。生育しているのはコマツナ等で多肥作物のホウレンソウは育たなかった。）

翌年に牛ふん堆肥 10t 区と 5t 区で堆肥施用をせず、それぞれの区の畝跡でリン酸不足を補うためにも速効性の発酵鶏糞堆肥 (C/N 比 9.3) を用い、0t/10a、1t/10a、2t/10a の 3 区を設けてレタスを栽培した。その結果、鶏ふん堆肥施用区について施用量の多い区ほど生育が良かった。また、前年牛ふん堆肥 5t と 10t 施用区でレタスの生育に相違が見られ、前年牛ふん堆肥 10t 区は 5t 施用区より生育が良かった (写真3-6)。



写真3-6 鶏ふん堆肥施用量によるレタス生育の違い

(写真左から鶏ふん堆肥 0t、1t、2t 区、上段前年牛ふん堆肥 5t 区、下段前年堆肥 10t 区)

前年牛ふん堆肥 10t 施用区は 5t 施用区より土が柔らかくなっている、根張りの浅いレタスには良い結果となっていた。また、生育改善にはリン酸含量の高い鶏糞施用することによって土壌中のリン酸含量高まったことが生育改善につながっている。

2) 通常期に入ってから土づくり

有機野菜等の栽培では有機質資材の利用を基本として対応する必要がある。有機質資材は肥効の面でその発現が遅く、地温に左右されやすいという特性があることから化学肥料と同様の施肥設計をしにくい。このことが慣行栽培とはやや異なる土づくりの対応となる。

有機野菜等栽培の土づくりに関係する作物生育の問題点としては次のようなことがあげられる。

- i 地温によって窒素の発現が大きく左右され野菜生産が不安定であるとともに、特に寒い時期の作型では収量があがりにくい。
- ii 長く有機野菜を栽培している圃場では肥沃度が高まり、葉菜の硝酸イオン濃度が高まってきていることや養分バランスの崩れによる生理障害の問題などが発生している。

◆適正施肥と輪作体系の実施

近年、有機野菜も有機農産物流通業者等から周年供給することが求められるようになっており、寒い時期でも葉菜類を栽培するようになってきている。寒い時期は地温が低く、有機質肥料の分解も遅いため生育が劣る。特に秋冬の葉物野菜では初期生育を確保するために地力窒素のみでは不十分となる。そのため、多めに有機質肥料や堆肥を施用すると、地温の上がる時期の作型では窒素過剰となり品質が劣るとともに病害虫にかかりやすくなる。このため、

地温の低い時期には野菜収穫後に土壤中に窒素が残りにくい比較的速効性の有機肥料を施用することが必要となる。

また、ハウス栽培での有機野菜栽培では降雨の影響がないことから、長い年月を経て栽培しているうちに養分過剰になりがちである。

こうしたことから、長年野菜等を有機栽培している圃場では作付時期の相違による窒素発現量や土壌養分の高まりを考慮して有機質肥料や堆肥の施用量を調節することが必要である。また、輪作体系も養分必要量の異なる野菜等（必要に応じてクリーニングクロープ）を組み合わせることで重要である。

関東で長年有機野菜を露地とハウスの両方で栽培している農家 T 氏は葉菜類を中心に栽培してきているが、土壌診断をしてみると土壌養分が過剰に蓄積しておらず、土も柔らかく、品質の良い有機野菜が生産されている（写真3-7）。

T 氏は肥料成分の少ない繊維質の多い堆肥を用いるとともに、有機質肥料も地温の低いときは比較的速効的なぼかし肥料を施用し、肥料成分が後作に残りにくいようにしている。ハウス栽培にあっても輪作体系を行っており、養分必要量の異なる野菜を組み合わせることで栽培している。また、輪作体系の中にはエンバク、ライムギ、ギニアグラスなどのクリーニングクロープを導入し土壌養分の低減と合わせ、センチウ密度が高まらないようにしている。



写真3-7 生育収量の良い T 氏の有機レタス

こうしたことが、養分過剰にならず養分バランスが保たれている要因である。

◆土壌診断による養分過剰の防止や養分バランスの適正化

長く有機栽培を行ってきている圃場では慣行栽培同様、養分過剰の問題や養分バランスの崩れの問題が起きやすい。特にハウス栽培では降雨の影響がなく、収益性の高い作物に特化して栽培されることが多いことから、養分過剰や養分バランスの問題が起きやすい。実際に養分過剰により葉物野菜で硝酸イオン濃度が高まってきている例や鶏糞等同一有機資材を連用してきたことにより、養分バランスが崩れて生育障害が発生してきたという有機栽培圃場が見られている。

これまで行った有機栽培圃場の土壌診断結果からは、全体として慣行栽培同様、有効態リン酸、交換性カリウム、塩基飽和度等が土壌診断基準値を上回っている圃場が見られる。こうした養分バランスの崩れは有機野菜などの収量、品質の低下にもつながってきている。

有機野菜栽培を長く実施している地域で、ハウスでの有機野菜の栽培圃場別に収量、品質についての農家の自己評価と土壌分析結果とを比較して、土づくり上何が問題なのかを調査した結果がある。その中のミズナの例をあげると、表3-2のようにミズナの収量、品質の劣る圃場は塩類濃度（EC）が高く、塩基飽和度の高い圃場であった（写真3-8）。



写真3-8 生育の劣る有機ミズナ圃場

(ミズナが生育していない部分も見られる。土壌分析の結果、土壌の塩類濃度 (EC) が高いことがその要因であることがわかった。)

表3-2 ミズナの収量、品質の良い圃場と劣る圃場の土壌分析結果の比較 (関係項目)

収量等の圃場評価	EC (mS/cm)	塩基飽和度 (%)
良い	1.3	101.3
普通	2.0	160.3
劣る	2.4	172.5

また、有機農業を長年実施しているグループで、葉に障害が発生している地域があった。ホウレンソウの葉に黄緑色の斑ができる症状が発生しており、調べて見ると地域の多くの有機栽培農家の圃場にも同じ症状が見られた。症状の発生している圃場と未発生の圃場の土壌分析をしてみると、発生している圃場は pH が高く (pH7.5 前後)、有効態リン酸が 300mg/乾土 100g 前後と異常に高いという特徴があった。特に pH が高くなるとマンガンが根から吸収されにくくなり、マンガン欠乏症が発生しやすくなるので、土壌中のマンガン含量を分析してみたところ不足状態にあった。応急的に有機 JAS 適応のマンガン肥料を施用したら改善してきたのでマンガン欠乏症と判断された (写真3-9)。

このようになった要因としては長年、入手しやすさなどから発酵鶏糞 (採卵鶏) を肥料として用いてきたことがあげられた。発酵鶏糞の連用により pH が高くなり、リン酸も蓄積したことがマンガン欠乏症を発生させていた。現在、発酵鶏糞を連用してきた圃場では鶏糞以外の堆肥を用いるようになってきている。

このように、有機栽培圃場でも長年、有機質肥料や堆肥を施用していると養分過剰や養分バランスの問題が起きる可能性があるため、土壌診断を行い、問題点を改善していくことが重要である。



写真3-9 マンガン欠乏症の発生している有機ホウレンソウの葉 (葉に黄色の斑が見られる)

(3) 土壌改良対策

1) 有機質資材の種類と特性

有機農業で使用される有機質資材は、もともと動植物や微生物の遺体が原料であるため、作物に必要な栄養分が含まれている。しかしながらそれぞれの栄養分濃度は、由来する生物によって大きく異なるとともに、堆肥化や加工等のプロセスによりバランスも変化する。表3—3に有機 JAS で使用できる有機物資材と期待される効果を示した。期待される効果については、有機性物質であるため、基本的に肥料効果と土づくりの両方の効果を有しているが、低分子から高分子化合物まで様々なものが含まれ、それにより養分溶出量や分解速度が異なるため、目的に即した資材の選択が必要である。さらに施用効果は、施用環境（気温、施肥位置、水分等）により大きく異なるため、大まかな分類と理解されたい。厳密なことを言うならば、同じ資材であっても、原材料の種類、産地、製造業者により品質が異なるので、作物や作型ごとに種々の有機質資材を試用し、最適なものを選択するのが望ましい。

有機資材は、一般に窒素含有量が多く、比較的短期間に養分溶出が行われる場合は、肥料効果が期待される。逆に分解が遅く、長期間にわたって土壌に残存するものは、土壌物理性や CEC（塩基置換容量）を向上させ、土壌生物の住処を与えるので、土づくりとしての効果が期待される。大まかではあるが、粗大有機物は土づくりに、動物質肥料、植物質肥料、配合肥料は肥料としての効果が期待される。

堆肥化資材は、堆肥化によって微生物にタンパク質やデンプン等の易分解性有機物を予め分解、代謝させたものであり、土壌に施用しても微生物による急激な分解は生じず、作物に悪影響を与えにくい。しかし、材料によって施用後の養分溶出速度が大きく異なるので、注意が必要である。一般に C/N 比が低く、窒素含量が高いほど肥料効果が期待できるが、おがくずやわら等の植物残渣が混合されていると溶出が遅い場合がある。さらにメタン発酵消化液は液体であるため即効的であり、固体資材は粒径が大きいほど緩効的である。

また、施用に当たっては、土壌診断結果に基づき、必要な成分が補充されるように養分バランスを考慮して施肥設計を行う必要がある。単一種類の有機質資材を施用すると養分バランスが偏るので、有機質資材を組み合わせたり、有機 JAS で許容されている普通肥料（表3—4）を用いるなど、数種類の資材を用いて調整するか、調整済みの有機指定配合肥料を用いる。

表3-3 有機 JAS で許容されている有機物資材と期待される効果（◎高、○中、△低）

区 分	種 類	肥料効果	土づくり
粗大有機物	植物残渣	△	◎
	緑肥	マメ科◎ イネ科等△	イネ科等◎ マメ科△～○
堆肥化資材	たい肥（特殊肥料）	○	◎
	厩肥（特殊肥料）	鶏糞◎ 豚糞○	牛糞◎ 豚糞○
	食品製造業に由来するたい肥（特殊肥料）	◎	○
	生ゴミに由来するたい肥（特殊肥料）	○	○
	パークたい肥（土壌改良資材）	△	◎
	その他のたい肥	○	◎
	ぼかし肥料	◎	○
動物質肥料	魚かす粉末（普通肥料）	◎	△
	蒸製骨粉（普通肥料）	◎	△
	グアノ	◎	△
	メタン発酵消化液	◎	△
	その他の動物質肥料	◎	△
植物質肥料	な種油かす及びその粉末（普通肥料）	◎	△
	米ぬか油かす及びその粉末（普通肥料）	◎	△
	大豆油かす及びその粉末（普通肥料）	◎	△
	乾燥藻及びその粉末（特殊肥料）	○	○
	その他の植物質肥料	◎	△
配合肥料	指定配合肥料（普通肥料）	◎	△

表3-4 有機 JAS で許容されている普通肥料

区 分	資材名（指定区分）
リン酸質肥料	熔成りん肥
カリ質肥料	草木灰（特殊肥料）
	塩化加里
	硫酸加里
	硫酸加里苦土
石灰質肥料	炭酸カルシウム
	生石灰
	消石灰
苦土質肥料	硫酸苦土肥料
	水酸化苦土肥料
	軽焼マグネシア
けい酸質肥料	鉱さいけい酸質肥料
汚泥肥料等	硫黄
微量元素複合肥料	微量元素

2) 土壌改良資材

土壌改良資材は、「土壌に施用し、土壌の物理的性質、化学的性質あるいは生物的性質に変化をもたらして、農業生産に役立たせる資材」と定義されている。一般に土壌改良資材と呼ばれるものには、肥料取締法で肥料に該当するもの、地力増進法の政令指定土壌改良資材を含んでおり（図3-2）、材料や機能も幅が広い。

詳細は、「有機栽培技術の手引—水稲・大豆等編」の参考資料として『有機農業で使用可能な資材等—有機 JAS 制度による有機農産物生産のために—』（平成 24 年3月刊）が、ホームページ (http://www.japan-soil.net/report/h23tebiki_04.pdf) で公開されているので、「有機物の主な種類と「別表1」の指定状況及び使用上の留意事項等」を参照されたい。

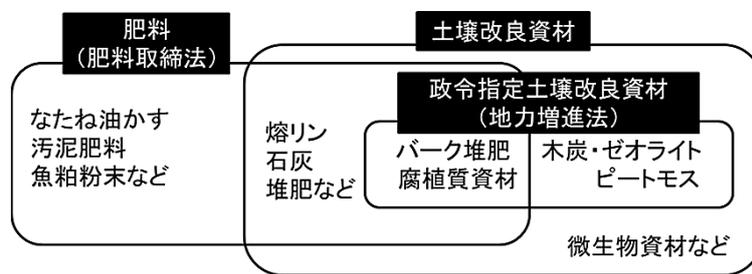


図3-2 土壌改良資材と肥料の関係

①泥炭（ピート）

泥炭は、湖沼や低湿地に生育した植物遺体が、分解作用が進まない条件下で長期間堆積して生成したものである。重量に対して10～30倍の水分を保持できるため、土壌の膨軟化や保水性の改善を目的として使用される。土壌中での分解が遅く、分解（腐植化）が進むにつれてCECを増加させることができる。市販の泥炭には、アルカリを加え加熱加圧処理した泥炭加工物もある。ピートモスは、泥炭をよく洗浄し泥状または分解した部分を除き、乾燥、切断、ふるい分けをしたものである。

②バークたい肥

バークたい肥は、針葉樹や広葉樹の樹皮（バーク）に、堆肥化促進のための鶏ふんや過りん酸石灰などの副原料を加えて堆肥化したものである。分解が遅く、多孔質であることから土壌の膨軟化を目的に使用される。また、CEC増大により保肥力も高める。過度に乾燥すると水を吸収しにくくなるので注意が必要である。バーク堆肥の製造過程において、発酵促進のために硫安や尿素等の化学的に合成された物質が利用されたもの、および原料木材について化学処理のされたものは、有機 JAS 規格では使用できないので、使用する際には製造過程の確認が必要である。

③腐植酸質資材

腐植酸質資材は、石炭又は亜炭を硝酸又は硝酸及び硫酸で分解し、カルシウム化合物又はマグネシウム化合物で中和したものである。腐植酸由来のCECが大きいため、保

肥力を改善できる。また、土壌のりん酸固定を抑制して可給態りん酸を増加させたり、微量要素が沈殿しやすい土壌条件では不可給態化を抑制したりする効果がある。

④木炭

樹種、炭化法などについて制約はなく、ヤシガラや竹、籾殻等の炭化物も政令指定の木炭に含まれる。微細孔げきが多いため、土壌の透水性改善と微生物の住処を増加させて微生物性改善効果がある。カリウムの供給源や酸性矯正にも利用できる。

⑤けい藻土焼成粒

けい藻土を粒状にし、1000℃以上の高温でセラミック化した硬質で多孔質の粒子である。土壌の透水性、保水性、通気性の改善に用いられている。長期にわたる土壌改良効果が期待できる。

⑥ゼオライト

沸石類を含む凝灰岩などを粉末状にしたもので、多孔質な構造をもつ。CECが高いため、土壌の保肥力改善に用いられる。また、ゼオライト自身がカリウムやカルシウム等の塩基を含んでおり、施肥と酸性の矯正効果がある。りん酸吸収力が低いために、黒ボク土に大量施用すると、りん酸の肥効増進効果も期待できる。

⑦バーミキュライト

蛭石（黒雲母や金雲母類が風化作用などによって結晶中に水を取り込んだ加水雲母類）を600～1000℃で焼成したものである。孔げき率が90%以上であり、土壌の透水性の他に、通気性や保水性などの改善効果も期待できる。また土壌を膨軟にするとともに、微生物の住処としても用いられている。

⑧パーライト

真珠岩や黒曜石を粉砕後800～1200℃で焼成させたものである。化学的には不活性であるが、多孔質で重量の6倍ほどの保水力があり、長期間安定した保水効果を示す。保水性の改善には細かい粒形の資材を用い、排水性や通気性の改善には大きい粒形を用いると良い。

⑨ベントナイト

粘土鉱物であるスメクタイトを主成分とする。ベントナイトにはナトリウム系とカルシウム系があり、ナトリウム系のベントナイトは膨潤性が著しく大きく、カルシウム系は比較的小さい。膨潤性が大きいため、水田の漏水防止に用いられる。CECが著しく大きく土壌の保肥力を高めると同時に、水稻の生育に必要なケイ酸を供給できる。

⑩VA菌根菌資材

Vesicular（嚢状体）とArbuscular（樹上体）を作るカビやキノコの仲間であり、植物根に共生して、土壌のりん酸吸収能を改善するとともに、病害や干害に対する抵抗性を高めることができる。肥沃な土壌では、共生率の低下や共生効果が現れにくい。また、アブラナ科（ハクサイ、キャベツ、コマツナ、カブ、ダイコンなど）やアカザ科（ホウレンソウ、フダンソウ、テンサイ、オカヒジキなど）植物とは共生しない。

⑪微生物資材

微生物の働きを土壌や植物に積極的に利用することを目的製造されている資材である。全国で200種類以上の微生物資材が流通しているが、政令指定されたものは、VA菌根菌資材のみである。全国土壌改良資材協議会微生物資材部会の自主表示基準では、「植物栽培に資する効果を目的として、土壌等に施された場合に表示された特定含有微生物の活性により、用途に記載された効果をもたらすもの」と定義されている。用途として、生物性改善、作物の健全化、有機物の分解促進、養水分吸収促進、作物の活力促進、作物の品質向上、物理性改善の効果が期待されている。

表3-5 有機 JAS で許容されている土壌改良資材

区分	資材名（指定区分）	用途（主たる効果）
動植物質資材	泥炭（政令指定）	（腐植酸含有率70%以下）土壌の膨軟化・ 土壌の保水性の改善 （腐植酸含有率70%以上）土壌の保肥力の改善
	腐植酸質資材（政令指定）	土壌の保肥力の改善
	バークたい肥（政令指定）	土壌の膨軟化
	木炭（政令指定）	土壌の透水性の改善
	けい藻土焼成粒（政令指定）	土壌の透水性の改善
	貝化石粉末	カルシウム施肥、土壌酸性矯正
	貝がら粉末（特殊肥料）	カルシウム施肥、土壌酸性矯正
	草木灰（特殊肥料）	カルシウム施肥、土壌酸性矯正
	VA菌根菌資材（政令指定）	土壌のリン酸供給能の改善
	微生物資材（未指定）	有機物分解、作物生育改善、病害抑制等
鉱物質資材	ゼオライト（政令指定）	土壌の保肥力の改善
	ベントナイト（政令指定）	水田漏水防止
	バーミキュライト	土壌の透水性の改善
	パーライト	土壌の保水性改善
	含鉄資材（特殊肥料）	鉄施肥
	微粉炭燃焼灰（フライアッシュ）	ケイ酸施肥
	石こう（特殊肥料）	カルシウム施肥、土壌酸性矯正

3) 堆肥の利用と土づくり

①堆肥の特性と利用上の留意点

地力窒素の発現に大きく関係するのは土壌中の有機物含量（腐植含量）である。堆肥等の有機物を連用すると地力窒素の発現量が多くなる。また、堆肥は作物に養分を供給すると共に、土壌の物理性・化学性・生物性を改善し、総合的な地力向上を図ることができ、作物の安定生産に寄与できる。このため、腐植含量の低い圃場から有機栽培へ転換する際や

借地により有機栽培を行なう際には、初期段階においては大量の堆肥の投入を行って地力を高める必要がある。

堆肥の特性

堆肥の主な特性は次の通りである。

i. 養分の供給

堆肥には窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどの多量要素だけでなく、鉄、亜鉛、銅、マンガン、ホウ素などの微量元素が比較的バランス良く含まれている。そのため、作物に対する総合的な養分供給源になる。化学肥料と異なる点は、窒素などの養分供給が緩効なこと、連年施用でその効果が累積していくことである。

ii. 土の物理性・化学性の改善

堆肥を連用すると、土壌有機物含量が増加し、土壌の物理性や化学性が改善される。このため、堆肥連用区では化学肥料区と比べ、土壌中の全窒素、全炭素、CECなど地力関係項目の値が上昇する。特に地力窒素の発現が収量向上に大きく寄与する。

壤中における有機物の分解過程では微生物による分解を受けにくい腐植物質が形成される。この腐植物質及び微生物や根から分泌される粘質物が接着剤となり、土壌粒子が互いに結合して直径数ミリの程度の土壌団粒を形成する。土壌の団粒化が進むと、粒子間の隙間の堆積割合（孔隙率）が増大する。孔隙率が大きいほど土壌は柔らかく、耕耘が容易になり、作物の根も伸張し易くなる。また、団粒間には比較的大きな孔隙が形成され、過剰な水は排水されるため、通気性が良好になり、作物根の伸張が確保される。その一方、微細な攻撃も増加し、保水性も高まる。このため堆肥連用により土壌孔隙率は増加し、根の活性も化学肥料区と比べた向上する例が多く、これが単収向上に寄与している。

iii. 土壌の生物性の改善

堆肥を施用すると、これを餌として土壌中ではミズズやダニなどの活動が活発になり、堆肥も土壌中で物理的に微小化・分散され、微生物による化学分解を受けやすい性状になる。また、堆肥中には多くの微生物が生息しており、堆肥中の有機物が餌になるため、土壌微生物の数は大幅に増加する。こうして土壌生物の活動が盛んになると、施用した有機物だけでなく、それまでに土壌中に蓄積されていた有機物の分解も促進される。これによって窒素をはじめ多くの養分が放出される。さらに、放出された窒素の一部は増殖した微生物の菌体に取り込まれ、再び土壌中に蓄積され長期間にわたって土壌窒素を放出する等の循環が活発に行われるようになる。

また、堆肥の施用により有機物の分解に関与する土壌動物、糸状菌、放線菌、細菌などの多様な生物群が棲息するようになる。さらに、これらの生物群はそのサイズに応じて団粒内外に主要な棲息の場を確保し、生物相の多様性が維持され、土壌の生物的緩衝能が増大する。

②堆肥の種類と成分特性

堆肥の原料は、従来、稲わら等作物残渣と家畜糞を原料としたものが主体であったが、近年は原料が多様化してきている。最近では平成13年に食品リサイクル法が制定され、食品残渣の堆肥化が推進されるようになり、食品リサイクル堆肥も多くなってきている。現在、最も生産量の多いのは家畜糞関係の堆肥である。平成11年に家畜排せつ物法が施行されて野積み等不適切なふん尿の処理が禁止されたことにより堆肥化が進められ、家畜糞堆肥の利用促進が取り組まれている。現在、生産・販売されている主な堆肥には次のようなものがある。

- ・家畜糞関係：牛糞堆肥、豚糞堆肥、鶏糞堆肥、各畜種のブレンド堆肥
- ・食品関係：食品リサイクル堆肥（原料中10%以上食品残渣を含むものを言う）
- ・林業関係：バーク堆肥
- ・各種原料の混合堆肥

堆肥は種類によって、肥料成分の高い堆肥と低い堆肥がある。成分の高い堆肥は、豚糞堆肥、鶏糞堆肥などで肥料的効果が高い。成分の低い堆肥としては、バーク堆肥、牛糞堆肥などであり、土壌の物理性改良効果が高い。

i. 家畜糞関係等の堆肥

家畜糞堆肥の成分は、近年、飼料の高栄養化から全体として高くなってきている。家畜糞堆肥の種類によって肥料成分等に次のような特色がある。

- ・牛糞堆肥：加里がやや高い、有機物分解はやや遅い。
- ・豚糞堆肥：リン酸が高い、有機物分解はやや速い。
- ・鶏糞堆肥：リン酸が高い、有機物分解はやや速い。採卵鶏堆肥についてはカルシウムが高い（採卵鶏糞で発酵処理を行っているものは窒素成分が低い）。
- ・畜種別の堆肥の平均的な成分は表3-6の通りである。

表3-6 畜種別の全国の堆肥の主要成分（(財)畜産環境整備機構 2005）

	試料数	水分	pH	EC	C/N	全窒素	全リン酸	全加里	石灰	苦土
乳用牛	318	52.3	8.6	5.6	17.6	2.2	1.8	2.8	4.4	1.5
肉用牛	304	52.2	8.2	5.9	19.0	2.2	2.6	2.8	3.0	1.3
豚	144	36.6	8.3	6.7	11.4	3.5	5.6	2.7	8.3	2.4
採卵鶏	127	22.4	9.0	7.9	9.5	2.9	6.2	3.6	25.7	2.2
プロイラー	27	33.0	7.9	8.5	10.6	3.8	4.2	3.6	8.9	1.9

注：水分は現物中でそれ以外は乾物中の%、ECはmS/cm

ii. 食品・林業関係等の堆肥

食品関係、林業関係、排水汚泥関係等の堆肥は、それぞれに成分的に特色がある。

- 食品リサイクル堆肥 窒素が多く、リン酸、加里は低い。有機物分解速度は平均的。
 - バーク堆肥 窒素、リン酸、加里全てが低い。有機物分解は遅い。
- それぞれの堆肥の平均的な成分は表3-7、表3-8の通りである。

表3-7 食品リサイクル堆肥の主要成分（平均）（(財)日本土壌協会 2006）

試料数	水分	pH	EC	C/N	全窒素	全リン酸	全加里	石灰	苦土	食塩
30	29.1	6.9	6.2	13.5	2.7	1.9	1.5	2.7	0.7	1.6

注：水分は現物中でそれ以外は乾物中の%、ECは mS/cm。

表3-8 バーク堆肥の主要成分（平均）

水分	pH	C/N	全窒素	全リン酸	全加里
59	6.8	22.3	1.8	1.3	0.9

注1：日本バーク堆肥協会会員のバーク堆肥の平均（2010）

2：水分は現物中でそれ以外は乾物中の%、ECは mS/cm

③堆肥の品質

畜産経営の規模拡大の中で十分な糞尿処理ができず、これまで未熟なままの堆肥が多く出回るなどによって作物に生育障害が発生したり、悪臭等環境問題が発生するなどの問題があった。近年、堆肥の品質向上が叫ばれ、改善が図られてきているが、まだ、十分でないものもある。また、最近、堆肥原料が多様化してきている中で、食品リサイクル堆肥が多く出回るようになってきている。食品残渣は油分等が多く、好気発酵がしにくいこともあって、現在、品質に問題のあるものもある。このため、品質の良い堆肥を入手することが重要である。一般的には堆肥の品質として次のような項目が重視される。

〈品質項目〉

- ・腐熟度（雑草種子混入や臭いに関係）
- ・取扱性（乾燥度合い、固まりの大きさ等機械散布のしやすさ）
- ・肥料成分の安定性（施肥設計時に関係）
- ・土壌物理性改良効果（重視する利用目的による）

有機農業においては、こうした一般的な堆肥の品質と共に重金属等の混入チェックも必要である。豚や鶏の飼育の際には、飼料添加物として銅や亜鉛を添加している場合があり、それが糞に混入してくる。わずかな量であれば作物に障害はないが、一部にはかなり多く含まれている場合が見られる。豚糞堆肥、鶏糞堆肥を入手する際にはその成分含量をチェックする必要がある。肥料取締法では、下記の場合に堆肥に銅、亜鉛の成分表示が義務づけられている。

- ・豚糞を原料に使っており、現物 1kg 当たり 300mg 以上の銅を含んでいる場合の銅濃度
- ・豚糞または鶏糞を原料に使っており、現物 1kg 当たり 900mg 以上の亜鉛を含んでいる場合の亜鉛濃度

また、畜産において抗生物質を使用している場合があり、一般には堆肥で検出されることはないが、抗生物質の利用状況を把握しておくことも重要である。

④堆肥利用上の留意点

堆肥の施用に当たっては以下のような点に注意する。

- i . 排水不良水田では有機物の分解が遅れ、生育後半に窒素が発現するため、倒伏の程度も高まり、登熟が悪く収量が低下する。こうした水田での堆肥施用量は乾田の半分程度の量にする必要がある。
- ii . 稲作への堆肥施用量は通常 1～2t/10a であるが、過剰に施用したり、窒素成分の高い堆肥を通常量施用すると過繁茂になり、倒伏の危険が増し収量が低下するので注意する。
- iii . 水田において堆肥の肥料効果を重視する場合は、春施用にする。一般に、堆肥は稲刈り後に施用するが、これは土壤の腐植含量等の増加をねらいとする場合や物理性の改良を目的とする場合であり、肥料成分は田植えまでに多くが流亡する。このため、鶏糞堆肥、豚糞堆肥のように肥料成分の高い堆肥を肥料養分の目的で施用する場合は、代掻き前に施用するのが良い。

4) 堆肥の製造法と留意点

有機栽培農家の中には安心できる堆肥で農産物を生産するために、自ら材料を入手して堆肥を製造する場合もある。堆肥に用いる有機質資材の種類や堆肥化の方法は色々ある。堆肥化の方法としては、昔からの堆積方式、ロータリー攪拌方式、スクープ方式などがある。小規模であれば有機物を堆積し、シャベルローダー等で攪拌する方式が適当である。有機質資材は地域で入手しやすいもので行うのが適当であるが、堆肥化は好気性微生物による有機物の分解作用であるので、通気性を良くする籾殻、落ち葉などの資材を混合することが重要である。

堆肥化中に微生物の分解代謝作用によって、フェノール酸等の作物生育に悪影響を与える要因を除くと共に、水分調整や悪臭物質の生成を抑制し、取り扱い易く、かつ安全な資材にする必要がある。堆肥化の主な目的や製造プロセスは以下の通りである。

①堆肥化の目的

- ・ 有機物の分解過程で生じる作物に有害な有機酸等を分解し無害なものとする。
- ・ 発酵熱により病原菌や雑草の種子等を死滅させる。
- ・ 発酵によって悪臭をなくすと共に、含水率を下げ保存性や取扱い性を良くする。

②堆肥化のプロセス

堆肥化の一般的なプロセスは図3-3の通りである。牛糞等に籾殻など加え有機物を適当な水分条件、堆積条件で堆積すると、まず低分子の糖、アミノ酸、脂肪酸などの易分解性有機物が消失し、この過程でフェノール化合物などの植物生育阻害物質も分解する。堆積物の温度が下がり始めたら切り返しを行い、酸素を供給し続けると、次いでヘミセルロース、セルロース、さらにリグニンが分解する。切り返しを行ってもあまり堆肥温度が上がらなくなったら完成で

ある。

この過程で炭素は二酸化炭素として大気中に失われるが、窒素の相当部分は微生物に取り込まれて残存するため、炭素率（C/N比）は次第に低下し、土壤に施用しても急激な微生物の増殖や作物の窒素飢餓を生じない安定した堆肥になる。また、微生物の増殖に伴う発熱によって堆積物中の温度は60～70℃にも達するため、雑草種子や有害微生物が死滅する。さらに、有機物の分解が促進されて悪臭物質の生成は抑制され、取扱い性も向上する。

③良い堆肥を製造するための留意点

堆肥化が進行しない要因として多いのは、初期の温度が上がらないことである。この原因として、原料の水分調整がうまくいかず好気発酵がスムーズに進んでいかないことが多い。通気を改善し、好気発酵させるための原料の比重は0.7以下に調整するとよい（10ℓのバケツで水分を含む原料の重さ6.5kg以下に調整する）。

また、発酵途中で温度が上がり過ぎて水分が低下すると、微生物の活動が低下し発酵が停止することもある。こうした場合には水分を加える必要がある。

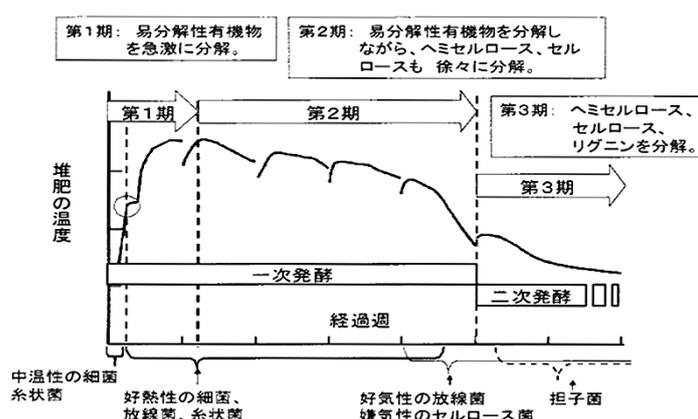


図3-3 堆肥化過程の模式図（例）

（新畜産環境保全指導マニュアル（2011））

5) 水田における稲わら・籾殻・米糠の利用と土づくり

①収穫残さ利用の考え方

有機稲作での有機質資材の利用は、基本的には収穫残さとなる稲わら、籾殻、米糠の全量還元を前提とする。寒地や湿田の場合には、作付期間に未熟有機物が残存しないように、一部を事前に分解させてから圃場に還元するように工夫する。寒冷地で安定生産している有機栽培水田では、秋に稲わらと共にわずかの有機質肥料を鋤込んで分解させ、田植え後14日程度を目安に地表面に10a当たり窒素3kg相当の米糠あるいは菜種油粕を2回程（それぞれ80kg程度）施用している。慣行栽培から有機栽培への移行時は、地力窒素が低いために米糠を窒素成分で合計10kg/10a相当を施用する。しかし、秋の稲わら分解を促すための有機質肥料の窒素施肥は収穫時の必要施肥量の計算には入れていない。10aの乾燥稲

わら 600kg の分解を促進するために全窒素 3kg 相当の有機質肥料か、土壌 100g 当たり 3mg の無機態窒素が分解に必要となる。収穫時の土壌診断によって、土壌中の無機態窒素や可給態リン酸の含有量が稲わら分解に不足する場合には、有機質肥料の散布が分解促進に有用である。

有機物は C/N 比 20 程度を境として、それより高い稲わらや籾殻は土づくり材料（土壌腐植）となり、低い米糠は養分補給材料（可給態成分）になる。どちらの材料も水稻栽培期間中に急激な分解を起ささないことが重要である。土づくり材料となる稲わらや籾殻は特に、非作付期間中に十分分解熟成させるように留意する。

②収穫残さ利用の留意事項

排水が悪い地域や湿田では、土壌中の酸素が不足するために有機物の分解が停滞する。耕耘を省いて稲わらを表面に残すように管理したり、極く浅い代かきや代かきを省略すると良い。日減水深が 10mm 程度であれば、不耕起移植を行うことも可能である。特に用水温度が高い地域では、代かきや耕耘を省いて透水性増加による酸素供給を高め、有機物分解を促進するとよい。

田植え時期の稲わら還元量の目安は、収穫した稲わら重量の 5～6 割以上が分解して減少する状態である。玄米目標収量が 500kg/10a の水田では、代かき時の土壌中の残存有機物が 200～300g/㎡程度を目標にする。収穫から田植えまでの非作付期間中の積算温度が 1000～1200℃を下回る地域では、水田での稲わら分解が不十分になるため、収穫残さをすべて持ち出して堆肥化を進める。1年掛けて熟成させた堆肥を収穫直後に圃場に還元することが望ましく、耕畜連携による堆肥と稲わらの交換方式がとれるのであれば、より効率的である。ただし、牛糞ではカリウムが、豚糞や鶏糞由来の厩肥にはリン酸やカルシウムが過剰に含まれるので、過剰蓄積に注意を払う必要がある。

リン酸分が不足する痩せた水田では、米糠や鶏糞、豚糞の発酵堆肥を施用すると可給態リン酸が増加する。米糠を乳酸菌や酵母で発酵させたボカン肥料は、フィチン態のリン酸が水溶性リン酸に変化して利用しやすくなる（加藤 2003）。

6) 緑肥作物の特性と利用

緑肥とは、基本的に非作物栽培期間に裏作として栽培し、作物栽培開始前にすき込むことにより、多量の有機物が土壌中に供給され、有機物施用効果による総合的な地力改善効果を目的として導入される作物である。土壌改良や窒素施肥の目的で長年行われてきた技術であり、特に水田では秋冬作としてレンゲが広く導入されている。地域ごとに緑肥の種類や播種時期、鋤込み時期などの最適化が行われてきており、特にレンゲについては農家による栽培経験も蓄積されていることから、近隣の導入農家から情報を得ることにより、比較的導入しやすい技術と言える。

基本的に緑肥は、圃場へ種子を播種すれば、特別な管理をすることなく生育し、適当な時期にトラクターですき込んだり、カバークロップとして活用したりすることにより、土壌に有機物

を供給できる最も手軽な手段である。特にマメ科緑肥は、窒素固定を行うことから窒素供給能力が期待され、その能力は水稲作においては緑肥だけで十分量の窒素供給が可能なのである。またリン酸等の土壤中で不可給態化した養分を可給化させたり、下層土壤に沈着した塩基類を一旦吸収して、栽培後には表層土壤へ作物が吸収しやすい形態で養分供給を行う効果も期待される。

近年は、緑肥に活用できる草種が拡大しており、土づくりの基本である土壤の物理性、化学性、生物性の改善だけでなく、雑草抑制、家畜利用、農薬飛散防止、暴風、地球環境保全、景観作りなど複合的な目的で利用できる緑肥の選択肢が増えている（図3-4）。

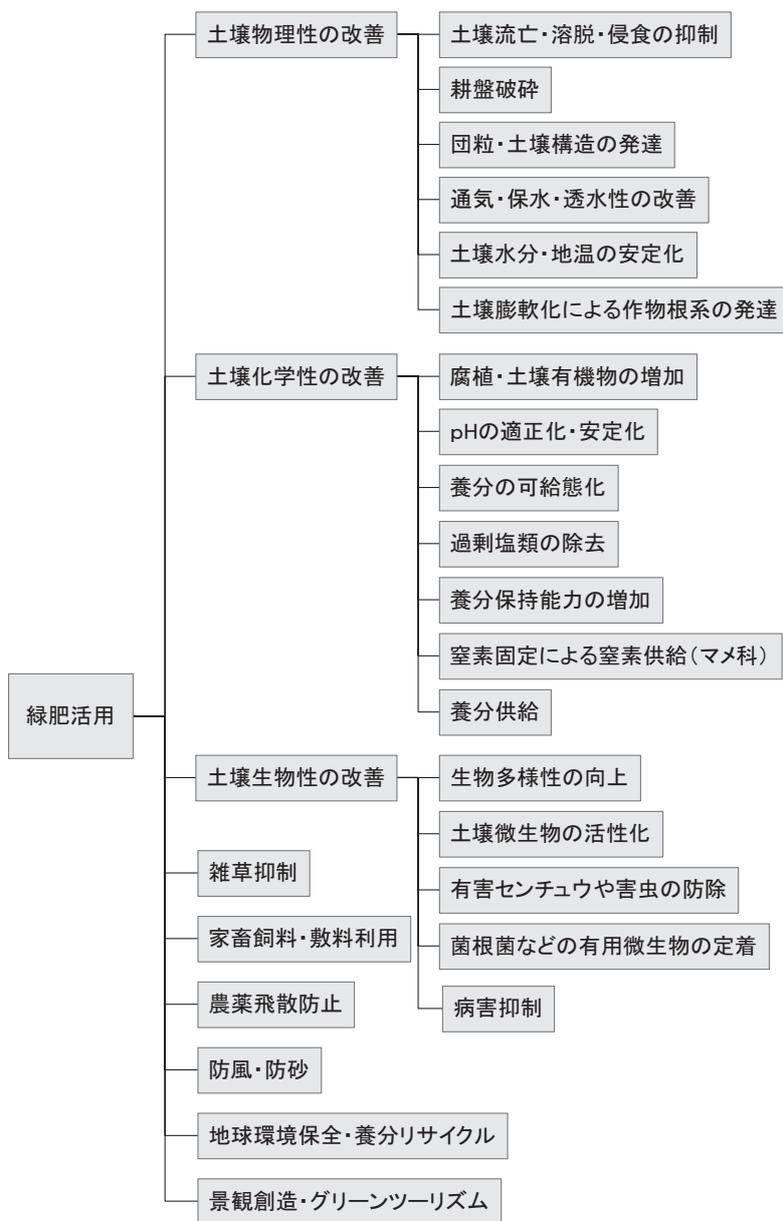


図3-4 緑肥活用の利点

①緑肥活用の利点

i 養分供給

緑肥が生育期間中に蓄積された養分は、鋤込んだり、刈敷きや細断すると、土壤微生物が分解することにより、低分子化や無機化が行われて作物が吸収できる形態に変化し、土壤中に放出されるため、作物にとって有効な養分となる。また養分供給速度は、化学肥料に比べて緩効的であり、塩類の極端な上昇がなく、養分バランスもとれているため、作物根へのストレスが少ない。

ii 窒素固定

マメ科植物の緑肥を利用した場合は、根粒菌が共生して効率よく窒素固定を行うことができるので、窒素肥料施用量を大幅に削減できる。有機肥料の基肥施用は不要であり、作型によっては追肥も不要である。

iii 省力・省資源・省コスト

緑肥は、圃場で多量の有機物を生産することになるため、堆肥を製造するための材料調達、場所、時間、労力、コストが不要であり、さらに製造した堆肥を圃場に運搬し、土壤に散布する必要がない。

iv 環境保全と土壤養分の有効活用

緑肥は、生育期間中に前作の残効養分を吸収するので、降雨により溶脱や流亡してしまうであろう硝酸態窒素や栄養塩類を圃場内に保持することができ、さらに貴重な土壤を風食や水食から守ることができるため、環境保全機能が高い。また土壤下層に蓄積した微量元素等の栄養塩類を溶解、吸収し、地上部に蓄積させることにより、後作の作物が吸収しやすくなるため、土壤養分の効率的な活用が可能となる。

v 景観形成や生態系保全

レンゲ、クローバー、ナタネ、ベッチなど水稲栽培の裏作に用いる緑肥は、春先に開花する草種が多い。水田は平坦で均一な土壤管理を行うため、これら緑肥が開花すると広い面積に美しい景観が創出されることになる。グリーンツーリズムなどにも利用されて、農村の活性化につながっている例もある。またミツバチなどの訪花昆虫の餌場となる他、冬季は多くの生物の生息場所となるため、天敵を含め、生物多様性の向上に資することができる。

vi 土壤物理性の改善

緑肥が土壤中に根系を発達させた後、すき込み処理等により枯死すると、根が分解し、根が存在していた場所に空洞（マクロポア）が生じることになり、土壤の通気性や透水性の改善が可能である。耕盤層がある圃場や湿田において深根性の緑肥を利用すると効果が高い。

②利用上の注意点

i 肥効コントロールが必要

緑肥の生育は、環境要因、特に気象や土壤状態により大きく変動するので、すき込み時のバイオマス量や生育ステージも毎年変動しやすい。このため、緑肥に蓄積された養分

量や分解特性も毎年異なってくるため、すき込み時期の調整によりバイオマスを調整したり、すき込み後の土壌管理により肥効をコントロールする必要がある。マメ科緑肥を利用して過剰な窒素供給を行ってしまうと、水稲では倒伏や食味低下、病虫害の被害を受けるリスクが高くなってしまふ。また緑肥が生育不良でバイオマスが不足する場合は、追肥を行う必要がある。

ii 未熟有機物施用に伴う障害

緑肥をすき込むと、土壌微生物により急速な緑肥分解が始まる。このときに発生する微生物の代謝産物は植物根にとって有害なものが多いため、すき込み後は、通常2週間程度放置して、有害物質濃度を低下させてから作物の定植や播種、水田においては代かき作業を始めることになる。水田では、多量の有機物を施用することになるため、湛水後は酸化還元電位が低下し、有機酸などが発生して水稲生育を抑制しやすい。しかし、この障害程度は全国一様ではなく、寒冷地の水はけの悪い水田は被害を受けやすいが、温暖地の水田では被害を受けにくく、発生した有機酸によりむしろ雑草抑制の効果が見られることもある。栽培地の条件を考慮する必要がある。

iii 細断が必要な草種

レンゲやクローバーなどの草丈が低く、剛性も低い草種はロータリー耕やプラウ耕ですき込むことが可能であるが、バイオマス量が多く、剛性の高い草種であるヘアリーベッチ、エンバク、イタリアンライグラス等の草種については、予めハンマーナイフモア等で細断した後に、すき込んだ方がよい。細断・断片化することにより、ロータリーの爪軸への緑肥巻き付きがなくなるとともに、緑肥すき込み量の平準化が行える。

iv 二毛作が不可能

温暖地では、水田二毛作が可能な地帯において緑肥栽培を行うことにより、コムギ、オオムギ、ハダカムギ、ハクサイ、キャベツ、タマネギ、ソラマメ等の冬作物の栽培ができなくなり、この期間の換金作物栽培が不可能である。ハダカムギとシロクローバーを混作する等の研究も行われているが、普及段階に至っておらず、今後の技術開発が待たれるところである。

v 播種時の注意

緑肥の生育を高めるためには、播種を適期に行うことと播種後の覆土が重要である。秋に播種する草種は、播種が遅くなると発芽率や苗立ち率が低下し、極端な場合は雑草が優先することもある。播種後の覆土は発芽、苗立ちを高く安定させることができる。さらに鎮圧を行うと土壌水分が保持されやすくなり、発芽率が高まる。またマメ科以外の草種には窒素等の施肥が必要であるが、鋤込み等で緑肥を施用することにより、後作の施肥量を減らすことができる。

③緑肥草種の選択

近年、緑肥草種が増えてきており、有機物施用効果の枠を超えて、圃場環境の様々な問題を解決するツールとなってきている。表3-9に目的別の緑肥草種を示した。特に有機栽培

では、除草剤、殺菌剤、殺虫剤等の合成化学農薬は使用できないため、緑肥の抑草、殺菌、防虫機能を活用することは、非常に有用である。緑肥の線虫防除効果は農薬に比べて緩慢であるが農薬に比べて安価であるため慣行栽培でも広く利用されている。気候や後作作物に対応できるように多くの品種が開発されている（表3-10）。

表3-9 緑肥の利用目的、対象作物および適用緑肥作物

主な目的	対象作物や作付	緑肥作物
窒素固定	水稻、畑作物全般、果樹	ヘアリーベッチ・レンゲ・クリムソンクローバ、アカクローバ、シロクローバ、クロタリヤ、セスバニアなどのマメ科作物
塩類除去	施設栽培・園芸作物	スーダングラス、ソルガム、イタリアンライグラス、ギニアグラスなど
透水性改善 耕盤破砕	麦類、テンサイ、野菜作など	セスバニア、シロガラシ、アカクローバ、センチビートグラス、ナギナタガヤなど
線虫対策	ダイコン、ニンジン、イモ類、レタス、キャベツ、ハクサイ、キュウリ、スイカ、メロンなど	エンバク野生種、エンバク、スーダングラス、アカクローバ、緑肥用トウモロコシ、ライムギ、クロタリヤ、ギニアグラスなど
雑草対策	果樹草生	ヘアリーベッチ、ナギナタガヤ、ライムギ、センチビートグラス、ダイカンドラ、アニュアルライグラス、バヒアグラス、トールフェスク、ケンタッキーブルーグラスなど
景観美化	休閑地・冬作・間作	ナタネ・クリムソンクローバ、シロガラシ、ハゼリソウ、ヒマワリ、レンゲ、クロタリヤ、シロクローバなど
防風・隔離	農薬のドリフト防止	エンバク、ライムギ、トウモロコシ、ソルガム、センチビートグラス、ナギナタガヤなど

表3-10 線虫対抗作物と対応線虫の例

線虫対抗作物	緑肥品種	線 虫								
		キタネグサレ	ミナミネグサレ	キタネコブ	サツマイモネコブ	アレナリアネコブ 本州	アレナリアネコブ 沖縄	ナンヨウネコブ	ジャワネコブ	ダイズシスト
エンバク野生種	ヘイオーツ	◎	◎	○						
ライムギ	R-007	◎		○						
クリムソクローバー	くれない									◎
エンバク	たちいぶき			○	◎		○		○	
	スナイパー (A-19)			○	◎					
スーダングラス	ねまへらそう	◎		○	△	△	○	○	△	
ソルゴー	つちたろう			○	◎	○	○	○	○	
ギニアグラス	ソイルクリーン	◎	○	○	◎	○	○	○	○	
クロタラリア	ネマキング	○	◎		△	○	△	○	○	◎

橋爪 (2014) から一部抜粋。◎：最適、○適、△やや適、無印は無試験または効果なし。

◎は後作の検定が終わり、学会等で公表されているもの。

△印のうち、サツマイモネコブセンチュウについて、ねまへらそうは、佐賀、長崎、熊本県で多いSP1に効果が劣るので注意する。また、ネマキングは、沖縄に多いSP4に効果が劣るので注意する。

緑肥草種は、対象作物や作付、気象条件、栽培時期、土壌の乾湿、緑肥病害虫、バイオマス量、窒素固定量、すき込み方法、景観配慮等の条件を総合的に判断し、適切な草種を選ぶ必要がある。辻 (2002) は、有機栽培に特に限定していないが、水稻裏作に適した緑肥品種の栽培特性 (表3-11) および開花・すき込み期 (表3-12) をまとめているので参考にされたい。水稻有機栽培には、基本的に窒素固定を行うマメ科草種が適していると考えられる。しかし、未利用有機物資源が豊富に存在し、緑肥と併用できる状況においては、イネ科草種等の選択も十分有用性が高い。

マメ科緑肥利用で重要なのは、バイオマス量や窒素固定量、開花時期である。水稻移植時期に合わせて、すき込み時期、緑肥開花時期を逆算して推定し、緑肥草種を選択することになる。

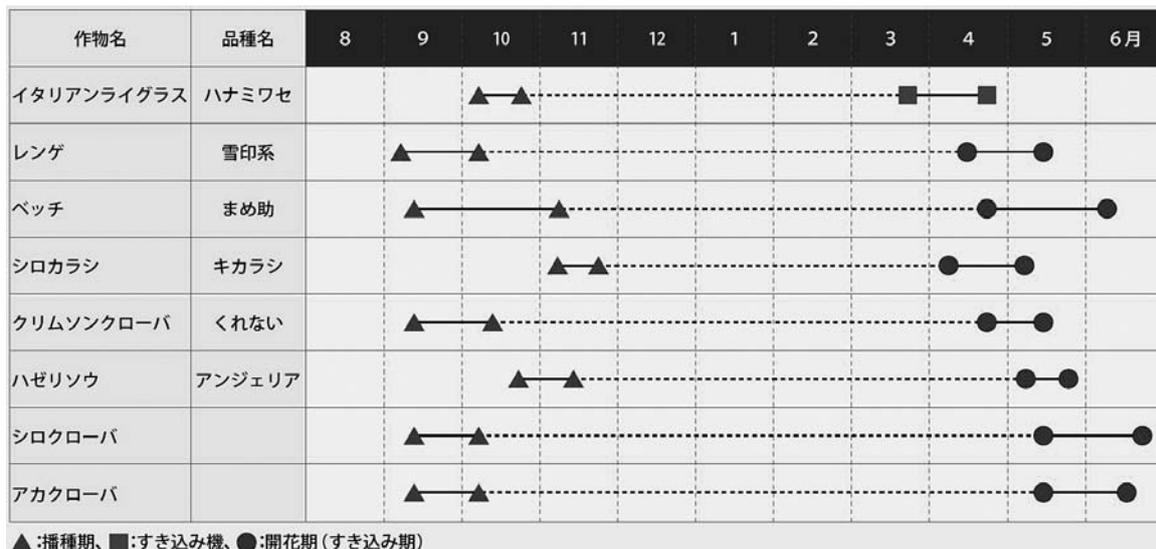
表3-11 秋播き用緑肥作物・景観緑肥作物の栽培特性

作物名	品種名	分類	用途・適性			耐湿性	初期生育	草高 (cm)	播種量 (kg/10a)	播種期 (月)		
			緑肥	景観	飼料					高冷地	一般地	暖地
イタリアンライグラス	ハナミワセ	イネ科	◎	×	◎	○	◎	80	4	9中～10上	10上～10下	10中～11上
レンゲ	雪印系	マメ科	◎	◎	○	△	△	30	3～4	—	9上～10上	9中～10下
ベッチ	まめ助	マメ科	◎	△	○	△	○	50	5	—	9中～11上	9下～11下
シロカラシ	キカラシ	アブラナ科	◎	◎	×	×	◎	100	2～3	—	11上～11下	11上～12上
クリムソクローバ	くれない	マメ科	◎	◎	×	×	○	60	2～3	—	9中～10中	9下～10下
ハゼリソウ	アンジェリア	ハゼリソウ科	◎	◎	×	×	◎	50	2～3	—	10下～11中	11上～11下
シロクローバ		マメ科	○	△○	◎	△○	△	20	2～3	8下～9下	9中～10上	9下～10中
アカクローバ		マメ科	◎	△○	◎	△	△	60	2～3	8下～9下	9中～10上	9下～10中

◎：優、○：良、△：中、×：不良（不適）
草高は目安であり、栽培条件によって変動します。

(辻 2002)

表3-12 秋播き用緑肥作物・景観緑肥作物の播種期および開花・すき込み期
(一般地：関東平坦地標準)



(辻 2002)

代表的な緑肥草種を以下に示す。

レンゲ (*Astragalus sinicus* L.)

マメ科草種で正式和名は「ゲンゲ」である。室町時代に緑肥として中国大陸から持ち込まれ、水田の緑肥として広く用いられてきた。ミツバチの主要な蜜源植物としても利用されている。初期生育時は湿害が根粒菌の着生を妨げるので、特に水田後では排水を十分に行なう。播種量は10a当たり2～4kg程度、レンゲの栽培歴がない場合には根粒菌を接種すると良い(奥村 2005a)。春先の景観作りにも利用される(写真3-10)。



写真3-10 レンゲ



写真3-11 シロクローバー

シロクローバー (*Trifolium repens* L.)

和名はシロツメクサである。明治時代以降に牧草として持ち込まれたものが全国的に広がった。多年生のマメ科牧草で原産地は地中海沿岸地域と考えられている。わが国では北海道から沖縄まで分布し、蛋白質やミネラルに富み、根粒菌が固定した窒素による肥料節減効果もあるため混播草地で利用されている。また、公園、芝生あるいは道路法面や路肩の土壌保全植物としても使われる。湿潤な温暖地から寒冷地まで幅広く適応するが、夏期の干ばつには弱い。土壌への適応性も高いが、酸性土や排水の悪い土壌には適さない。マメ科牧草の中では土壌 pH や水分に対する適応性が比較的高いが、pH は 5.5~6.5 程度に石灰質資材などで矯正する必要がある（奥村 2005b）（写真3-11）。

ヘアリーベッチ (*Vicia villosa* Roth)

ヨーロッパ原産で、ソラマメやカラスノエンドウの仲間であり、明治時代に牧草として導入された。花がフジに似ているのでシラゲクサフジ、あるいはナヨクサフジの和名がある。秋まきで、春先から初夏に圃場を全面被覆して雑草をほぼ完璧に抑制し、草高は 50~100cm にもなる。開花後は一斉に枯れて敷わら状になること、窒素固定能力が高く、緑肥効果も高いことから、果樹園や休耕地の雑草管理においても最適と考えられている。ヘアリーベッチは、マメ科で最高レベルの窒素固定能力があり、通常 10a 当たり 10~25kg の窒素固定を行なう。アレロパシー物質であるシアナミドを生成し、雑草抑制作用を有する。最近では、多くの種苗会社から、早生種のヘアリーベッチが販売されており、これらの品種は後作の水稻栽培のために、春先早く枯れることが望ましい場合には適している（写真3-12）。



写真3-12 ヘアリーベッチ

ソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

ソルガムは飼料作物であるが、緑肥としても良く用いられている。草型から、ソルゴー型、子実型、スーダン型、スイート型、スーダングラス等に分かれ、緑肥として期待される機能も

多様である（表3-13）。

表3-13 ソルガムの市販品種と機能

市販品種例	期待される機能	特徴や注意点
つちたろう	耕盤破碎	耕盤の形成により透水性が悪くなった過湿土壌の改良に有効であり、深耕より効果範囲が広い。トウモロコシはさらに優れる。
堆肥ソルゴー グリーンソルゴー スタックス	粗大有機物施用	8~10t/10aの有機物生産があり、腐植を増やすことができる。枯死後であればロータリーですき込める。
カウパウ グリーンソルゴー	クリーニングクropp	塩類集積した施設栽培における脱塩と有機物補給に効果が高い。基本的に地上部を刈り取って施設外に持ち出すが、病害抑制にはすき込んだ方がよい。
三尺ソルゴー、元気ソルゴー、 おおきいソルゴー	ドリフトガード・防風	農薬の飛散防止や防風による作物損傷防止に有用である。ネット設置より安価である。
つちたろう	バンカークropp	天敵を維持することにより、害虫が侵入しても蔓延させない。

エンバク野生種

キタネグサレセンチュウ密度を低下させる対抗作物であり、ニンジン、ダイコン、ゴボウ、ナガイモの前作として使用される。その他に、ジャガイモそうか病、アズキ落葉病、アブラナ科ネコブ病等にも抑制効果が見られる。

ナギナタガヤ

果樹の草生栽培において利用される。雑草を抑制するので雑草管理が省力できるとともに、地温上昇の抑制、水分保持効果が期待できる。菌根菌の有効な宿主として働くため、病害や乾燥ストレスに対する抵抗性も高まる。土着天敵であるミヤコカブリダニを増やすことにより、ミカンハダニを抑制する効果もある。

クロタラリア

マメ科牧草であり、窒素固定を期待できる。*Crotalaria spectabilis* は多くのネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウ、イシユクセンチュウを抑制することができる。*Crotalaria juncea* は、サツマイモネコブセンチュウの対抗作物である。

④ 緑肥の栽培とすき込み

i 播種

緑肥は湿害に弱いものが多いため、水田に緑肥を導入する場合には注意する必要がある。湿田では暗きよ排水や溝きりなどの明きよを設け、水分が過剰にならないように注意する。基本的に水稲収穫後に土壌を荒起こし、乾燥させた後にロータリー耕で土粒子を砕土してから播種、軽い覆土を行うと発芽率が高い。

しかし、レンゲやクローバーを水稻立毛中に播種する場合は、特別な準備は不用である。収穫前に水田土壌を乾かして地耐力がある程度高まった時点で動力播種機やブロードキャスターで散播し、水稻収穫後に稲ワラで被覆することにより、十分な個体密度が得られる。

一方、ヘアリーベッチなどの大型種子や水分吸収に時間がかかり、発芽しにくい種子を播種する場合は、播種後に浅いロータリー耕で覆土を行い、さらに鎮圧することで催芽率が高まる。秋播き用緑肥の播種時期は9～10月が中心であるが、シロクローバーやヘアリーベッチは早期に播種すると、初期生育が良く、冬季の雑草を抑制することもできるとともに、翌春のバイオマス量も高くなりやすい。

ii 緑肥のすき込み

レンゲやシロクローバー等の剛性の低い草種は、ロータリー耕だけでもすき込むことが可能であるが、クロタラリア、セスバニア、ヘアリーベッチ等のマメ科緑肥、ソルゴー、トウモロコシ等のイネ科牧草等の剛性の高い草種は、プラウ耕や反転耕によるすき込み、またはチップパーやハンマーナイフモアなどにより細断してからロータリー耕ですき込むとよい。

すき込みと同時に緑肥の分解が始まり、緑肥に含まれる養分(表3-14)が土壌中に放出され、水稻作付けのための基肥となる。窒素に関しては、マメ科緑肥であれば十分量の窒素を供給可能である。マメ科以外の草種はC/N比が高いため、窒素飢餓の影響を受けることもあるため、適切な窒素施用と十分な分解時間を確保する必要がある。窒素以外の養分については、リンを除けば、イネ吸収量に対してほぼ十分な量を供給することが可能である。しかし、緑肥バイオマス量が低い場合は、有機質肥料を適宜追肥する必要がある。

表3-14 水田裏作に適用可能な緑肥草種の養分含有量 (g/kg 乾物)

草種	炭素	窒素	C/N	リン酸	カリウム	カルシウム	マグネシウム
シロクローバー	376	31.7	7.2	6.8	22.5	58.0	11.6
レンゲ	393	24.8	14.1	12.8	49.1	44.6	7.7
ヘアリーベッチ	427	39.7	15.2	6.8	21.5	30.7	9.8
クリムゾンクローバー	379	28.8	20.5	5.1	41.2	22.8	8.9
エンバク	424	16.0	33.2	6.3	26.8	6.3	3.0
ライムギ	316	11.6	31.3	5.7	32.9	8.9	3.8
イタリアンライグラス	246	11.5	33.1	6.6	39.4	11.0	3.4
キカラシ	382	15.7	21.6	5.1	36.5	12.6	3.4
アンジェリア	420	21.0	33.2	6.1	29.7	65.2	7.8

Asagi and Ueno (2009) に一部データを追加。

マメ科緑肥の水田すき込みにおいて、最も考慮が必要なのは、すき込み時期と湛水時期である。マメ科緑肥の窒素固定量が最も高いのは開花時期であり、この時期にすき込むことで最も多量の窒素を土壌に供給することができる。しかし、緑肥の生育が旺盛で、バイオマスが多すぎるときは、窒素過剰になり、水稻生育に悪影響を及ぼして、倒伏や食味低下の原因になるので、早めにすき込んで生育量を低くしたり、代かきを行うまでの期間

を長くして脱窒による窒素放出を行ったりして、供給窒素量の調整を行う必要がある。

表3-15に岐阜県平坦地の灰色低地土（乾田）におけるレンゲ導入水稻作のすき込み時期と移植適期の関係を示した（川瀬 1994）。すき込み時期を遅らせるほど窒素固定量が増加し、開花盛期である4月21日が最も高い。またすき込むことでレンゲの分解が非常に急速に進行していることが分かる。無機化した窒素の一部は脱窒あるいは硝酸態窒素として流亡するので、窒素固定量が多い場合は、これにより窒素量を減少させることができる。一方、代かきのために湛水をする、嫌気条件になることで微生物分解速度が遅くなり、窒素固定で蓄えられた窒素養分はゆっくりと供給されることになる。このため、すき込み時期から湛水までの期間を調整することで緑肥窒素の残存量を調整できる。水稻基肥に適当な有機態窒素施肥量は、概ね4~6kg/10aと考えられるため、レンゲではすき込んでから25~30日目に湛水を行い、その後、代かき、移植作業を行うことになる。しかしながら、これはレンゲの生育が順調である場合を想定しているため、レンゲのバイオマス量が低かったり、生育が遅れたりする場合には、すき込んでから湛水までの日数を短くする必要がある。また、気温により分解速度が異なるため、寒冷地ではすき込んでから湛水までの日数を長めにとる必要があり、逆に暖地では、すき込んでから湛水までの日数を短くする等の調整が必要がある。

表3-15 レンゲすき込み時期と有機態窒素の推定残存率および残存量（岐阜県平坦地）

すき込んでからの経過日数（日）	すき込み時期					
	4月1日		4月11日		4月21日	
	残存率（%）	窒素残存量（kg/10a）	残存率（%）	窒素残存量（kg/10a）	残存率（%）	窒素残存量（kg/10a）
0	100	16.8	100	19.0	100	121.1
10	73	12.3	67	12.7	66	13.9
20	49	8.2	43	8.2	41	8.7
25	39	6.6	34	6.5	31	6.5
30	29	4.9	24	4.6	20	4.2
40	13	2.2	7	1.3	3	0.6
50	0	0	0	0	0	0
移植適期	4/30 ~ 5/5		5/10 ~ 5/15		5/20 ~ 5/25	

注 太字はイネに適当なレンゲ残存率と窒素残存量
有機態窒素量のうち地下部の量はおおよそ20%と仮定した。（川瀬 1994）

ヘアリーベッチはレンゲに比べて地上部乾物量が安定して高く、単位面積あたりの窒素固定量もほぼ2倍近く高い（佐藤ら 2010）。緑肥の早播（9月10日頃）と晩播（9月25日頃）に分けて3年間播種を行っているが、試験が行われた新潟県長岡市において、この期間の播種であれば比較的安定した緑肥栽培が行えると考えられる。ヘアリーベッチとレンゲからは栽培初期に多量の無機態窒素が放出され、特にヘアリーベッチは窒素固定量が多いため、栽培期間中、レンゲに比べて土壌アンモニア態窒素濃度が高く推移している。

またヘアリーベッチを毎年連用することにより土壌中のアンモニア態窒素発現量が高まっていることから、水稻収穫後もヘアリーベッチ由来窒素は、有機態窒素として土壌に残存し、翌年も発現するものと考えられる。レンゲについてもそのような現象はみられるが、ヘアリーベッチよりも持ち越される窒素量は低い。

これらのことから、温暖で有機物分解が速く、低肥沃度な水田においては、ヘアリーベッチのような窒素固定量が多く、地力窒素を蓄えやすい草種は有望と言える。

⑤マメ科緑肥利用の注意点

秋田県八郎潟干拓等の寒冷積雪地域においてヘアリーベッチを栽培した場合、生育が不良で低温になると生理障害で赤くなり、越冬できず枯死してしまう現象が散見される（写真3-13）。佐藤（2008）はヘアリーベッチ栽培土壌から多くの根粒菌を分離し、窒素固定能や根粒形成状態を評価し、優良菌株を選抜して、圃場接種実験を行ったところ、生理障害を解消し、生育を改善させている（図3-5）。



写真3-13 黒ボク土圃場でのヘアリーベッチ根粒菌 Y629 株の接種効果（2007年5月15日）

左：無接種、右：根粒菌 Y629 株接種（佐藤 2008）

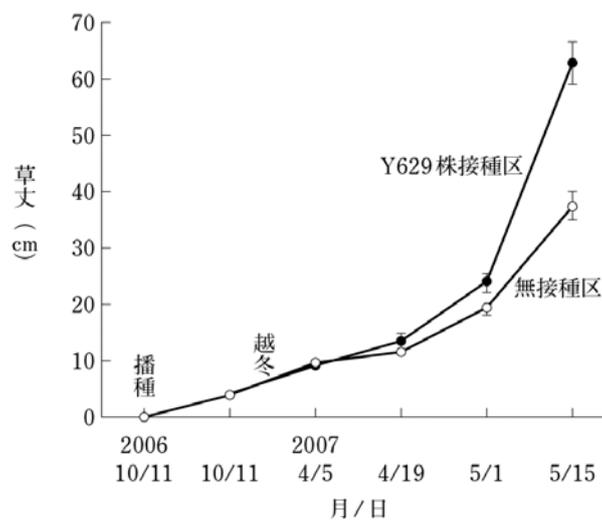


図3-5 黒ボク土圃場でのヘアリーベッチ草丈の推移

（佐藤 2008）

⑥緑肥の施用法

緑肥の栽培期間中は、土壌侵食防止、土壌養分の環境流出防止、土壌生物の住処創出、天敵の涵養、根伸長による耕盤破碎、土壌構造の発達、土壌微生物相の多様化と活性化、病虫害抑制、雑草抑制、夏季の地温上昇抑制、土壌水分保持、防風、農薬のドリフト防止、開花による環境美化等、多くの機能を有する。草生栽培は、緑肥が持つこれら機能を主作物の生育にとってメリットが高くなるように利用する技術である。カバークロープとも呼ばれる。

しかし多くの場合、緑肥は適当な時期に圃場にすき込まれて土壌に有機物として補給したり、緑肥に蓄えられた養分を作物に供給することになる。あるいは地上部を刈り取り、マルチング資材として土壌表面に敷くこともある。このように緑肥の利用方法は多様であり、それぞれのメリットとデメリットを勘案し、最適に活用することが望ましい（表3-16）。

表3-16 緑肥利用法による機能や注意点

機能や注意点	緑肥利用法		
	すき込み	刈り敷き	草生栽培
短期的養分供給能力	高い	やや高い	低い～普通
長期的地力増進能力	中程度	中程度	高い
土壌侵食防止能力	なし	やや高い	高い
土壌保湿能力	低い	高い	普通
地温維持能力	低い	高い	高い
雑草抑制能力	なし	普通	やや高い
緑肥管理労力	多い	やや多い～多い	少ない
窒素飢餓の危険性	低い（マメ科） 高い（マメ科以外）	低い	低い
緑肥分解に伴う作物障害	高い	低い	低い
土壌生物や天敵の保持	低い	中程度	高い
作物との養水分競合	なし	なし	中程度～大きい

(1) 作物の養分吸収特性

1) 主な作物別の収穫物に求められる養分吸収特性と施肥管理

基本的に有機農業では土づくりを重点的に行い、総合的に地力を高めることにより、安定した作物生産が行えるが、作物の種類によって収穫する部位（根、葉、茎、花枝、子実等）が異なり、生育時期や収穫ステージが異なるため、収穫物の収量、品質が最良となるような施肥管理を行う必要がある。それには各作物の養分吸収特性と収量や品質の関係を良く理解し、ポイントをおさえることが重要である。さらに同じ作物であっても、品種によって養分吸収特性が大きく異なることもあるので、予め情報を集めるとともに、栽培記録をとり、次年度以降の作付に反映させることが肝要である。

水稻のような穀類は茎葉を発達させる栄養生長の後、出穂、開花、受精、登熟といった生殖生長に転換して子実が収穫されるパターンの作物である。このような生育パターンの作物の養分吸収速度は、植物体が発達する最高分げつ期頃が最も多く、その後は緩やかに低下する。登熟期には茎葉部に蓄えた同化産物が子実に転流ようになる。作物の収量、品質に最も影響を与えるのは窒素であり、分げつ数は生育初期～中期、一穂粒数には幼穂形成期、登熟歩合や千粒重は登熟期の窒素養分濃度が深く関係している。それぞれの生育段階で濃度が低いと生育悪く、低収量となる。逆に高いと下位節間が伸びすぎて倒伏しやすくなったり、水稻では子実中のタンパク質含量が高くなり、食味品質が低下する。近年は米の食味が重要視されており、実肥の施用は推奨されなくなってきた。一方、麦類は高タンパク質を求められる場合には、出穂期にも高い窒素供給が必要になる。有機栽培においては、有機質肥料の肥効が遅れたり、養分放出量の推定が難しかったりするので、それらを勘案して施肥管理を行う必要がある。マメ類は、生育初期の土壌中の窒素養分濃度が高いと根粒菌の着生が悪く、また着莢数も低くなり低収量となるので、注意が必要である。

ホウレンソウのような葉菜類であれば、栄養成長期後期に収穫することになり、この時期の養分吸収量はまだ旺盛である。したがって土壌養分濃度がある程度高く維持されるように施肥管理を行う必要がある。しかし濃度が高すぎると、徒長や軟弱化したり、硝酸濃度が高まって食味や安全性、貯蔵性が低下することになる。また病虫害抵抗性も低下する。生育や収量だけでなく、食味品質等にも留意して施肥設計を組み立て、さらに栽培中には気象環境や作物生育を見ながら調整する必要がある。キャベツやハクサイなどの結球野菜は、初期生育を良好にしないと結球が遅延したり、結球しない場合があるので、地力を高めておく必要がある。

トマトのような果菜類は、生育初期は栄養生長のみであるが、その後、開花、結実するようになると、栄養生長と生殖生長が並行して進行することになる。このタイプの作物は栄養生長と生殖生長がバランスよく進むことが重要であり、結実するようになったら窒素濃度が一定レベ

ルの範囲内にあるように施肥管理していくことが必要である。生育が進むにつれて養水分吸収量が増加するので、土壌からの養分供給が十分行えるよう、作土深が厚くなるような土づくりも必要である。養水分供給が乱れると不良果が発生する。

ダイコン等の根菜類、ジャガイモ等のイモ類は、有機栽培であっても過剰施肥を行うと、茎葉部の繁茂が著しくなり、可食部である根（胚軸）や塊茎の発達が伴わないことがある。可食部肥大期には養分濃度が低くなるように管理する。また新鮮有機物や未熟堆肥の施用は、岐根や病虫害の発生を誘発するので注意が必要である。

果樹は樹幹や根などの樹体にある程度の養分を貯蔵し、その貯蔵養分により新鞘や開花、結実などを行っていく特徴がある。結実後は、光合成によって葉で生産された炭酸同化産物も果実に多く蓄積されて収穫される。このため果樹栽培では、翌年に開花結実できる養分が樹体に蓄積できるように養分管理をすることが重要である。慣行栽培では、収穫後に礼肥として化学肥料を施用しているが、有機栽培では秋冬の低温時に有機質肥料を施肥しても肥効が低いことから、施肥時期の早期化や有機液肥の利用を検討することも重要である。果実の糖度が高く、着色の良い果実を生産するためには、果実が充実し着色するようになった段階で窒素吸収が抑制されるような施肥管理が必要である。この段階で窒素濃度が高いと登熟が遅れ、柑橘類では浮き皮現象が生じやすくなり品質が低下する。

主な作物の種類別の収穫部位に求められる特性と土壌養分管理の特徴としては表4-1のとおりである。

表4-1 主な作物の種類別の収穫部位に求められる特性と土壌養分管理の特徴

作物の種類	収穫部位	収穫物に求められる特性	土壌養分管理の特徴
穀類 (米、麦類、マメ類等)	子実	食味、外観品質 加工特性（麦等）	米は食味向上のために、登熟期の窒素吸収量が低くなるようにする。麦類は用途に合わせた窒素施肥が必要である。マメ類は窒素固定菌の共生と花芽分化を促すために生育初期の過剰施肥を避ける。
葉菜類 (ホウレンソウ、キャベツ、 コマツナ等)	葉、茎 花蕾	食味、鮮度、大きさ 形、色、低硝酸 機能的成分	基肥に重点を置くが、過剰施肥を行うと、硝酸態窒素が増加し、食味や品質等を損ねるので注意が必要である。結球野菜は初期生育が良くなるように養分供給能力を高める。
果菜類 (トマト、キュウリ、ナス、 ピーマン等)	果実	食味（糖度）、鮮度 大きさ、形、色 低硝酸、機能的成分	十分な作土深を確保し、長期間安定した養水分供給が行える土づくりを目指す。こまめな追肥が必要である。
根菜類 (ダイコン、ニンジン、 ゴボウ等)	直根	食味（糖度）、大きさ 形、色	可食部肥大を促すため、生育後期は養分濃度が高くないように注意する。未熟有機物の施用は岐根や曲根の原因となる。肥大期にはカリウム施肥が有効である。
イモ類 (ジャガイモ、サツマイモ、 ナガイモ等)	塊茎 塊根	食味、デンプン含量 大きさ、形、色	可食部肥大のため、窒素が過剰施肥にならないように注意する。肥大期のカリウム追肥が有効である。
果樹 (ミカン、リンゴ、ナシ等)	果実	食味（糖度、酸度） 大きさ 形、色	長期的視点に立った肥培管理が必要である。夏肥の肥効が遅れると登熟遅延や品質低下につながるので注意が必要である。

(2) 主要作物の施肥特性と施肥管理

1) 穀類 (水稲)

水稲の生育期間中の窒素吸収のパターンを図4-1に示した。移植後、苗が活着すると窒素吸収量は徐々に増加し、ピークは最高分げつ期から幼穂形成期となる。この頃までの栄養状態が穂数、一穂粒数等の収量構成要素に大きく影響する。その後、出穂、開花し、稲穂が登熟してくる時期においては、葉の光合成能力を維持していくのに必要な程度の窒素を供給し、収穫時点では土壌中の無機態窒素が低レベルになるようにしていくことが食味向上の点で望ましい。生育ステージ別の主な養分管理は、水稲移植時から最高分げつ期までの栄養生長期には目標収量を得るために必要な茎数が確保できるよう養分を供給する。出穂期前には一穂粒数を確保することを目的として、穂肥を施用するのが一般的である。以前行われていた出穂開花後に施肥される実肥は登熟歩合や千粒重を高めるので収量増加となるが、玄米タンパク含量を増加させ、食味を低下させることが多いことから現在では殆んど行われていない。

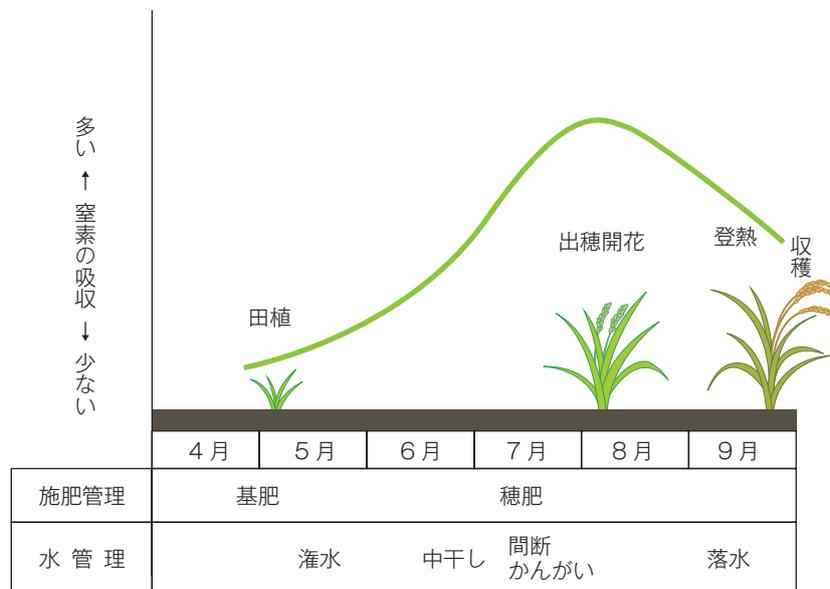


図4-1 水稲生育期間中の窒素吸収パターン (北関東の例)

水稲は慣行栽培においても、土壌由来の窒素養分を主に吸収しており、化学肥料は、水稲の窒素吸収パターンに合わせて足りないところを補給する観点から施用されている。有機栽培においては、土づくりが積極的に行われ、土壌からの養分供給量が多いことから、より安定した栽培が可能である。しかしながら養分供給量は地温や水管理とともに変化することから、作付時期や栽培品種を栽培地域の気候や土壌条件に適合させる必要がある。堆肥の大量施用やマメ科緑肥利用の場合は、窒素過剰になる場合があるので留意する。過剰窒素を除去することは難しい。水稲生育を観察し、不足しているようであれば有機質肥料を多少追肥して

補うように肥培管理するのが望ましい。

水稻における土壌管理、施肥管理で留意すべき主な点は次のとおりである。

- ① 施肥に当たっては地力窒素の発現を考慮して、肥沃な水田では基肥窒素を無施肥～少量にする。水稻は慣行栽培でも吸収窒素の6～7割を土壌から発現してくる窒素（地力窒素）に依存している。稲わら鋤き込み、堆肥連用、緑肥利用をしている圃場では地力窒素の発現量が多いので、基肥窒素の施用量を通常より控えるようにする。

地力窒素の発現は、地温に左右されることから、暖地では早く発現して初期生育が旺盛になり過ぎるきらいがある。一方、寒地では初期生育が抑制され茎数の確保がしにくくなりがちである。こうした地力窒素が発現する時期や量も考慮して、作付時期や品種、水管理、有機質肥料施用量を決める必要がある。

- ② 土壌診断に基づきバランス良い施肥を行う。稲わらや籾殻は水稻にとって養分バランス優れた有用な資材であるが、その他の有機質肥料や堆肥は、養分バランスがまちまちであり、長期間の連用により、土壌養分バランスが悪化する可能性がある。そのため、定期的に土壌診断を行い、バランスのとれた養分供給が行えるように留意する必要がある。水稻は、ケイ酸を多量に吸収する、いわゆるケイ酸植物である。ケイ酸は茎葉の剛性を高めることによる受光態勢の向上や病虫害抑制、登熟向上などに大きく影響する。有機農業では殺虫剤や殺菌剤は使用できないので、可給態ケイ酸量を高めて健全な栽培が可能となるよう、ケイ酸資材の活用や客土により土壌改良を行う。また遊離酸化鉄含量が不足している場合には含鉄資材を施用することが望ましい。減水深が20mmを超える漏水過多田では、ベントナイトのような優良粘土や粘土質土壌の客土を行う。

- ③ 水稻有機栽培において最も問題となるのが、雑草防除である。雑草の発生や生育は、土壌養分管理とも密接な関係があり、特に有機栽培水田では、代かき～移植時に残留している未熟有機物が雑草発生を助長する可能性が高いことが明らかになっている。特に有機物分解が進行しにくい高冷地で、稲わらをすき込むときには、稲わらを細断したり、耕起回数を増やして酸素供給を行うなど、稲わら分解を促進させる必要がある。

2) 葉菜類（ハウレンソウ）

ハウレンソウの窒素吸収パターンは図4-2のとおりである。ハウレンソウの播種後、生育とともに養分必要量は急激に増加し、栄養成長の段階で草丈が一定の高さになると収穫される。ハウレンソウは他の作物に比べて比較的栽培期間は短く、積算温度で650～750℃・日程度である。収穫時期においても養分供給がある程度高いレベルで行えるように土づくりを行う必要がある。栽培が進んだ段階で生育不良と判断し、有機肥料を追肥しても、肥効発現には時間が掛かるため、回復させるのは容易ではない。しかしながら、易分解性有機物を多量に施用すると、軟弱、徒長気味になるほか、有機栽培であっても硝酸態窒素濃度が高くなってしまうので、注意が必要である。

ハウレンソウ等の葉菜類は年間に数回、連続して作付けすることが多いが、作付ごとに同量の施肥を行うと、土壌中の窒素等の養分が過剰になり、前述の窒素過剰障害が生じる。特に

有機質肥料は、肥効が遅れて発現すること、気温（地温）とともに発現量に変化するので、慣行栽培に比べて厳密な制御が難しい。施肥履歴や作付時期を総合的に判断して土づくりや有機質肥料の施用を行うことが重要である。

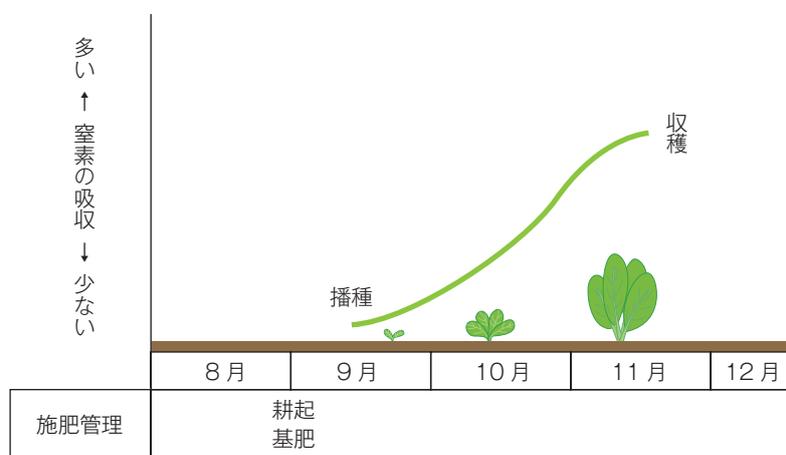


図4-2 ホウレンソウ生育期間中の窒素吸収パターン

ホウレンソウにおける土壌管理、施肥管理で留意すべき主な点は次のとおりである。

- ① 施肥に当たっては生育期間が短いので栽培期間中に必要な養分を十分供給できるように地力を高めておく。

ホウレンソウは栽培時期によって異なるが播種してから収穫まで約1～2カ月程度と栽培期間の短い作物である。ホウレンソウは生育がまだ旺盛で養分吸収量が多い時期に収穫するので、土壌中の可給態窒素はある程度残存している必要がある。そのため地力を予め高めておく必要がある。慣行栽培においても基肥として施用した化学肥料の利用率は、15%程度であり、地力窒素の役割は大きい。栽培期間中の灌水や降雨は、養水分を溶脱させるため、マルチングやミスト灌水、点滴灌漑などを行い、養分損失をできるだけ低減させる。

- ② 土壌診断によりバランスの良い養分管理やpH管理を行う。

ホウレンソウは年に数回、同一圃場で栽培されることが多いため、栽培圃場の養分は過剰傾向になりやすい。慣行栽培では化学肥料の多投入を繰り返すと塩類が集積し、ECが高くなり、生育不良となるため、客土やクリーニングクロープの栽培が必要になることもある。有機栽培では塩類集積は生じにくいですが、使用する有機質肥料が偏ると養分バランスが崩れて、生理障害による生育不良になる場合があるので、定期的に土壌診断を行い、使用する有機質肥料の種類や施用量の検討を行う。窒素成分については、前作の可給態窒素が高く残存していると判断された時は、基肥量を減らす必要がある。

家畜糞堆肥を施用している場合は、リン酸が過剰になっている圃場が多く見られるので、土壌診断結果により有機質肥料の種類や施用量を検討する必要がある。

ホウレンソウは土壌酸性に弱い作物であり、好適土壌pHは6.0～7.0であり、pH5.0付近になると生育は著しく劣る。好適pHになるようにJAS有機認証に適合した資材を用いて土壌酸度を調整する必要がある。また土壌がアルカリ化してくると、微量元素のマンガン等

が吸収されにくい形態となり欠乏症が発生しやすくなるので注意する。

3) 果菜類（トマト）

トマト等果菜類の窒素吸収のパターンを図4-3に示した。定植後、生育とともに養分吸収量は増加し、収穫が始まると窒素必要量は一定範囲で推移する。この時期は、茎葉の生長と果実の肥大、収穫が並行して進むので、安定した養分供給が必要である。養分供給が乱れると不良果や収量低下を生じやすい。加里の吸収量は果実肥大が開始すると急激に増加し、場合によっては窒素の2倍量を吸収することがあるので、加里に重点を置いた資材施用も重要である。リン酸は根の発達など初期生育に必要なため、生育初期から十分供給する必要がある。トマトは色々な作型があるが、一般に生育期間が長いので、肥料切れにならないよう生育状況を見つつ追肥を行っていく必要がある。トマトにおける土壌管理、施肥管理で留意すべき主な点は次のとおりである。

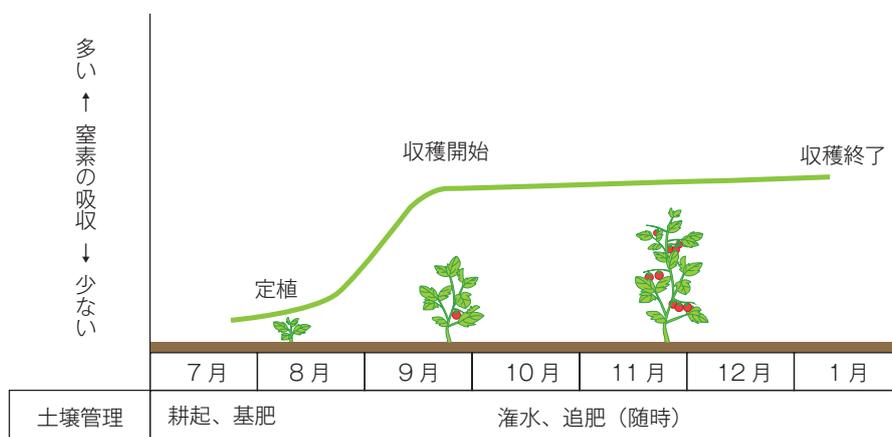


図4-3 トマト生育期間中の窒素吸収パターン

- ① 収穫開始後は追肥を行い茎葉の生長と果実の肥大、収穫のバランスがとれるようにする。
 トマトは長期収穫が一般的であり、基肥は初期生育（栄養生長量）の確保、追肥は果実の肥大充実と茎葉の伸長を図るという観点から行われている。初期生育は抑制気味が多く、収穫開始したら追肥は土壌中の窒素や加里濃度を一定にするようにする。このため、肥料切れを起こさないよう生育状況を観察しながら追肥を行う。トマトは茎葉の生長と果実の肥大、収穫のバランスが崩れると空洞果等の生理障害が発生しやすいので、作土層を厚くし、土づくりを行うことで、養水分の保持力を高め、安定した栽培基盤を作ることが重要である。
- ② 土壌診断により塩基バランスに留意する。
 果菜類の中でもトマトは、水分ストレスをかけると糖度や酸度が高い、味の濃い果実が生産できる。このため節水栽培が広く行なわれているが、土壌を乾燥させると養分吸収量も減少し、生理障害が発生しやすい。特に加里、アンモニア態窒素等他の塩基類が多い場合には、石灰の吸収が悪くなり、尻腐れ症が発生しやすい。このため土壌診断を定期的に行い、

塩基バランスの崩れが生じないように肥培管理をしていく必要がある。

4) 果樹（リンゴ）

果樹は永年性作物であり、成木になり、果実生産が始まると、草本性作物とは大きく異なった養分特性を有することになる。成木において、春の開花結実に必要な養分は、前年に樹体に貯蔵された養分が用いられ、果実肥大や樹体の拡大には、その後に葉で生産された光合成産物や根から吸収した養分が利用される。リンゴのように冬期は落葉して樹体も休眠する落葉果樹では、春の発芽、開花、結実の養分の多くが、根等樹体に蓄えられる。そのため、リンゴの果実生産においては、貯蔵養分とその年の養分吸収の動きが収量、品質に大きく関わってくるので、中長期的観点からの肥培管理が必要である。柑橘類等の常緑果樹でも同様であるが、養分は葉にも蓄えられる。多くの果樹は、窒素とともに加里も多く吸収するので、留意が必要である。

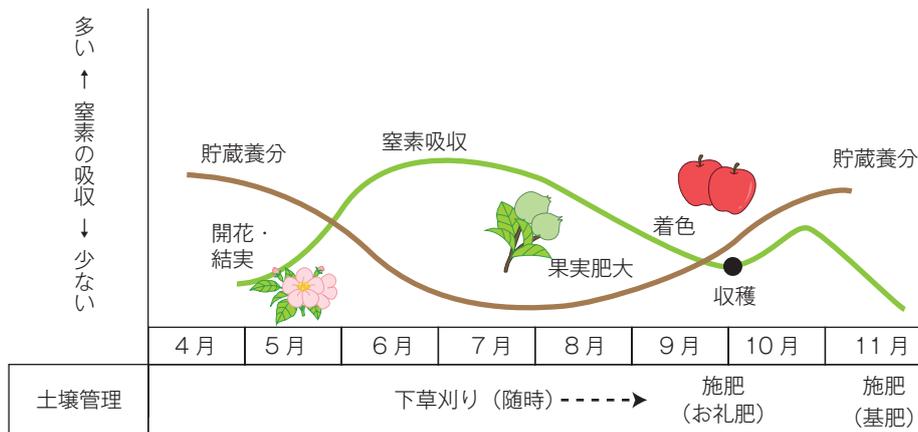


図4-4 リンゴ生育期間中の窒素吸収パターン

リンゴの貯蔵養分の動きと窒素吸収パターンを図4-4に示した。貯蔵養分については発芽から開花・結実期は、まだ葉が展開していないので、貯蔵養分が利用される。新葉が展開し新梢伸長が充実する頃からが養分転換期となり、根からの養分吸収とあいまって新たな展開葉による光合成産物が養分供給の主体となる。これが樹体を大きくするとともに、果実の肥大に利用される。果実に養分を集中的に配分し品質の良い大果が生産できるようにするために、剪定や摘果作業は大変重要な作業となる。6～7月頃になると窒素と加里養分の吸収も盛んで光合成産物の増加量も多くなる。この頃になると新梢伸長が停止し、果実の発育盛期となるので、品質向上のため窒素吸収を制限していく必要がある。この時期に窒素供給が多いと糖度が増加せず、着色不良となり、品質が低下する。またリンゴでは、収穫期から落葉期までは枝や花芽が充実し、樹体内に貯蔵養分を蓄積する時期となるので、葉の活力を維持するため窒素供給が必要となる。

① 翌年の生産維持も考慮した施肥管理を行う。

果樹の特色として本年の果実生産だけでなく、翌年以降の生産維持も考慮した養分管

理を行うことが重要である。そのため、果実が成り過ぎて極度な樹体負担にならないよう摘果等を行うとともに、地温がある程度高く、根の活力が高いときは、貯蔵養分が蓄積していくような施肥管理を行う。リンゴでは、収穫期から落葉期までは枝や花芽が充実し、樹体内に貯蔵養分を蓄積する時期となるので、翌年に備えて収穫期かその直後に養分を供給し（お礼肥）、樹勢回復を図る必要がある。

- ② 果実の肥大充実期には品質向上のため窒素供給が漸減するようにする。

果樹の場合、窒素吸収の多くを地力窒素に依存している。新芽が伸びる春には地温が低いので施肥窒素の吸収割合が多いが、地温が向上し果実が肥大してくる夏から秋にかけては地力窒素の発現が最も多くなる。一方、丁度その時期は果実の糖度増加や着色向上のために窒素供給を控える必要がある。このため、地力窒素の発現が多くなり過ぎないように堆肥等有機質資材の投入量を加減する必要がある。

- ③ 土壌診断に基づき養分バランスがとれるようにする。

果樹は体が大きく、体内貯蔵養分が多いので、土壌中の養分濃度の影響を比較的受けにくいですが、それでも果実肥大時期には、養分吸収と転流が活発になるため、養分バランスの崩れや pH の変化による石灰欠乏、マグネシウム欠乏、マンガン欠乏や過剰症、ホウ素欠乏症などが見られている。リンゴでは窒素や加里の過剰施肥により、石灰吸収が拮抗的に抑制されるため、果実表面に褐色の斑点が生じる石灰欠乏症（ビターピット）などが見られている。有機栽培では急激な土壌の養分変化は少ないが、定期的に土壌診断を行い、施用有機質肥料の養分含量や供給特性を考慮して施用する必要がある。

- ④ 根群域を拡大し、土壌の通気性、排水性等が悪化しないよう土壌改良する。

果樹園を観察すると、農業機械の走行や踏圧により土壌が硬く締まっていたり、表層土壌が侵食されて根が露出したり、根群域が浅くなっているところが散見される。このような園では、根の活力が低下するため、樹勢が低下したり、病害や生育障害が生じやすい。リンゴでは近年果実内部に裂開が生じる「つる割れ症」が大きな問題となっているが、これは排水不良園で多く発生している。こうしたことから、根群域の拡大や排水性、通気性を確保するため、堆肥等有機物の施用、草生栽培などにより土壌改良を行うとともに、排水溝の設置等排水改善を行う必要がある。リンゴの場合、雑草を除草する清耕栽培ではリンゴ樹が年間に吸収する窒素のうち地力窒素の吸収割合は約 80%とされている。また、草生栽培では下草が過剰な窒素を吸収し、下草が刈り取られると土壌に還元されることから、窒素吸収量の約 95%を地力窒素から吸収しているという調査結果があり、草生栽培は養分のリザーバーとしての役割を果たしていると言える。リンゴの成木園で土壌の腐植含量を維持していくために必要な堆肥の施用量は 10a 当たり 1t との調査結果がある。積極的に地力向上を図るためにはそれ以上の堆肥施用が必要となる。

(3) 土壌診断の内容と進め方

1) 土壌診断の種類と内容

作物の生育障害で土壌が関係するものとしては色々あるが、大きく分けると土壌の化学性、物理性、生物性が原因になって生育障害が発生している。具体的には次のようなものがあげられる。

- ①土壌 pH、養分の過不足やバランス等が原因となって発生する障害（土壌の化学性）
- ②土壌の硬さ、排水不良等によって発生する障害（土壌の物理性）
- ③土壌中に生息する病原菌やセンチュウ等が原因となって発生する障害（土壌の生物性）

土壌診断は、こうした土壌と関連した作物生育障害を未然に防止したり、解決するために行うものであることから、①土壌の化学性診断、②土壌の物理性診断、③土壌の生物性診断の三種類がある。この中で現在、最も多く行なわれているのは土壌の化学性診断である。

また、診断の内容も生育障害の未然防止の点から行われる予防診断と生育障害が発生してその要因の特定と対策を明らかにするために行う対策診断とがある。

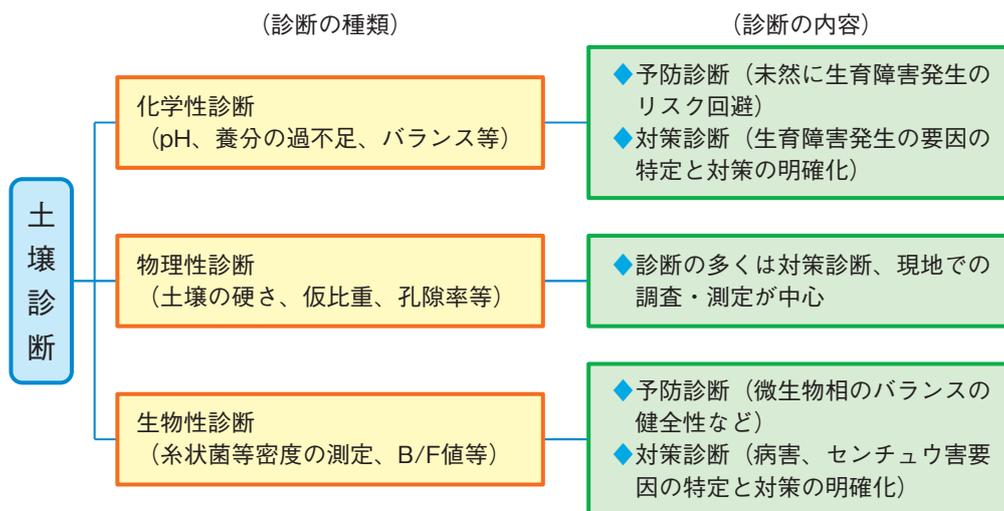


図4-5 土壌診断

予防診断は人間の日常の健康管理のために行っている定期健康診断に該当するものである。土壌における予防診断は、化学性診断の場合、作付け前の pH や土壌の養分状態を把握し、今後、養分の過不足やバランスで何が問題になりそうかを予測して、肥料の種類を選択やその施用量の決定に活かしていくためのものである。一般に行われている土壌診断は予防診断が多い。

対策診断は作物が生育障害を起こした場合に、その原因を究明し、対策を実施するために行うものである。人間で言えば発熱したり下痢したりする症状が出て、そのため病院に行き診断してもらい薬等を処方してもらうようなものである。

2) 土壌診断の内容

土壌診断を行う場合の診断項目としては一般に表4-2のようなものがある。

表4-2 土壌診断における診断項目

区 分	診 断 項 目
化学性診断	◆塩基置換容量 (CEC)、◆リン酸吸収係数、◆腐植含量 ◆pH、◆EC、◆窒素 (全窒素、無機態窒素、可給態窒素)、◆有効態リン酸、◆塩基類 (交換性カリウム、交換性マグネシウム、交換性カルシウム) ◆微量元素 (マンガン、ホウ素等 8 元素) ◆塩基飽和度、◆石灰飽和度、◆苦土飽和度、◆加里飽和度、 ◆苦土 / 加里比、石灰 / 苦土比、◆有効態ケイ酸 (水田)、◆遊離酸化鉄 (水田)
物理性診断	◆有効土層、◆作土層、◆土壌硬度 (緻密度)、◆仮比重 (容積比重)、◆三相分布・孔隙率、◆pF 値、◆日減水深 (水田)、◆土性
生物性診断	◆土壌微生物分析 (青枯病等特定の土壌病原菌の同定、糸状菌、放線菌、細菌の密度の測定)、◆土壌有害センチュウ分析 (センチュウの種類と密度の測定)、◆細菌数 / 糸状菌数 (B/F) 値、◆放線菌数 / 糸状菌数 (A/F) 値、◆病原抑止力測定など

(化学性診断)

化学性診断の実施に際しては、表に掲載した診断項目を全て行うことは少ない。塩基置換容量 (CEC)、リン酸吸収係数、腐植含量、全窒素含量は日常の施肥管理などによってさほど変化するものではないので、診断頻度は少なくてよい。pH、EC、無機態窒素、有効態リン酸、交換性カリウム、交換性マグネシウム、交換性カルシウムは施肥によって変化しやすい項目なので診断頻度は多い方が良い。分析した結果から計算する苦土 / 加里比など塩基バランスも施肥により変化しやすいので同様である。

特に、pH や EC は施肥、灌水等日常の土壌管理によって変化しやすいので高い頻度で診断を行うことが望ましい。

なお、微量元素については pH の変化などによって欠乏症や過剰症が発生しやすいので、pH が大きく変化している場合や作物に微量元素による生育障害が疑われるときには診断を行うことが望ましい。

(物理性診断)

物理性診断については仮比重 (容積比重)、三相分布・孔隙率等は室内で測定できるが、土壌硬度等は現地で測定し診断するようになる。

特に土壌改良を行ったときや農地を借地するなどして土壌の特性がわからないときに診断すると良い。

(生物性診断)

生物性診断については、連作している圃場では土壌病害やセンチュウ害が出やすいので、圃場の一部の区画でも障害が発生した場合には障害の要因となっている病害等の種類を特定する等のために診断を行うことが望ましい。

3) 土壌診断の進め方

土壌診断の中で最も多く実施されている化学性診断の進め方は図4-6のとおりである。



図4-6 土壌診断(化学性の例)のフロー図

①土壌のサンプリング

土壌のサンプリングは正しく土壌の状態を把握するために大変重要である。例えば作物の生育格差の大きい圃場で1ヶ所の表土から土壌を採取した場合、その後の土壌分析をいかに正確に行ってもそのデータは作物の生育との関係で余り意味をもたないことなる。

土壌のサンプリングをする場合に留意すべき重要なことは、次の点である。

- i . サンプリング圃場の作物の生育格差
- ii . サンプリングの時期
- iii . 圃場内の養分のバラツキ

(サンプリングの地点)

土壌診断は作物の生育等を改善することが目的であるので、土壌のサンプリングに当たっては、作物の生育等との関係を重視して行う。

作物の生育状況を見て同一圃場でも生育に大きな格差がある場合には、生育の劣る区画と良好な区画を別々にサンプリングすることが望ましい。

このように作物生育との関係を考慮して土壌サンプリングすることによって、作物の生育の劣る要因が明確になりやすい。

(サンプリングの時期)

土壌サンプリングの実施時期は、追肥の時期を把握するのであれば栽培期間中でも良いが、基本的には作物の収穫終期か収穫後が良い。

(土壌養分のバラツキ)

土壌養分の圃場内分布は不均一であることが多く、圃場内の作物の生育がほぼ同一であっても、施肥した位置、作物が育った場所等によっては肥料養分の分布にバラツキがある。また、肥料養分は一般に土壌の表層で濃く、下層になるほど薄まってくる。土層のどの深さのところから土をサンプリングするかによって養分濃度が変化する。

このため、一般に根の最も多く分布する作土層を対象として土壌採取するとともに、養分のバラツキを考慮し、圃場内の異なった場所で何点が土壌採取し、それを混合して分析試

料にすると良い。

◆圃場内での採土位置

圃場内の養分のバラツキ状況にもよるが圃場の5ヶ所以上から土を採取するのが望ましい(図4-7)。各採土地点とも同じ程度の量を取る。



図4-7 圃場内での採土位置

◆作土の土壌採取法と調整法

サンプリングする土壌は根群の多い作土層から採取する。樹園地については作土層の概念がなく、細根の多く分布する主要根群域が40cmと深いので、厳密には40cmまでの深さについて表層土と下層土に区分して採土する(図4-8)。一般的には樹の生い茂っている樹冠から30cm内側の場所で採取するのが適当である。

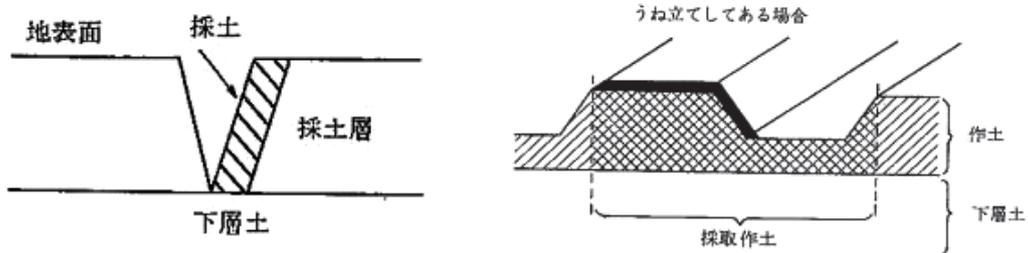


図4-8 作土の採土方法

土壌の採取には一般に移植ごてを使うことが多いが、専用の採土器を用いると容易に一定量を取ることができる。各地点から採取した土壌は良く混ぜ合わせ、分析に必要な量(約500g)に調整する(写真4-1)。



写真4-1 土壌サンプリングの実施状況
(表面のみでなく作土層全体から土を採取する。)

サンプリングした土壌は大きな土塊を砕いて良くほぐし、室内で紙の上に薄く広げ、風乾させる。その後、2mm 目の篩でふるい、化学性の分析に供することが望ましい。

4) 土壌分析・調査測定

サンプリングした土壌は土壌分析を行うが、化学分析、物理性の測定によってやや対応は異なってくる。

(化学性の分析)

化学分析については、一般に専門の分析機関に依頼するようになる。

しかし、分析可能項目などは限定されるが、個人で行える簡易分析機器が販売されている。pH、EC などは分析頻度が高いのでそうした簡易分析機器を利用すると良い（写真4-2）。

(物理性の調査・測定)

物理性の測定や調査の多くは三相分布、孔隙率、仮比重（容積重）、土性は室内で測定を行うが、多くの項目は現地圃場で調査、測定を行うようになる。

土性等については野外で簡易に測定する方法もある。

(作土層、有効土層、土壌硬度等の調査測定)

調査対象圃場の作土層、有効土層、土壌硬度等を診る場合には、坑を掘って調べることとなる。土壌断面を観察するだけで次のようなことがわかる。

- ①作土層の深さや作物の根群域発達等の状況
- ②各層の土性、土壌の種類等の相違
- ③土層の酸化、還元の程度
- ④土壌団粒構造の発達状況など

また、深さ別に山中式硬度計で土壌硬度を測定していくことによって硬盤の存在やその存在する深さがわかる。



写真4-2 pHメーター(左)とECメーター(右)

(写真提供：(株)堀場製作所)



写真4-3 畑作地の土壌断面
(表層の黒い土の部分が作土層)



写真4-4 白菜の根群分布状況
(白菜の根は約30cmまでに多く分布)

圃場の現状を調べる場合は、作物生育の中庸な場所を1ヶ所選定する。作物の生育障害を解明する目的では、生育不良箇所と生育の健全な箇所の2ヶ所を選定する。

坑の大きさは土壌断面調査では一般的には深さ60~70 cm程度、果樹園では深さ1m程度が望ましい。調査する面が陽の当たる方向となるようにすると土壌断面が見やすい。

通常の土壌診断では作土の診断が主となるので、一般に30 cmほど坑を掘れば作土の厚さが分かる(写真4-3、4)。

◆土壌硬度(緻密度)の測定

土壌硬度は土の硬さの指標で、土壌の通気性、透水性などとともに根の伸長に影響する。土壌硬度の測定は普通、山中式土壌硬度計で行う。土壌断面に直角にツバ元まで押しこみ、土の硬さに応じてバネが押しもどされる距離(mm)を読みとる。

一般の作物の根が十分に伸長できる土壌硬度は20mm以下、作土の土壌硬度はおおよそ10mm前後の場合が多い。鋤床の土壌硬度は14mm以上24mm以下である。

土壌の硬さを簡易に診断するには、親指で土壌断面を押ししたときのへこみ具合でも行える(図4-9、表4-3)。また、地表面から垂直方向の硬さの変化を見るには「貫入式土壌硬度計」が便利である(写真4-5)。



図4-9 土壌断面を指で押す(硬さ)
(松本泰彦氏原図)

表4-3 土壌の硬さの区分(竹迫による)

硬さの区分	親指で押ししたときのへこみの程度	硬度計の読み
軟らかい(疎)	指がたやすく土層内に入る	~18mm
普通(中)	はっきりと指のあとが容易にできる	19~24
硬い(密)	指のあとがわずかにしか残らない	25~28
ごく硬い(極密)	指のあとが残らない	29~



写真4-5 貫入式土壌硬度計での測定(左)と山中式土壌硬度計での測定(右)

(土性の調査)

土性は礫（2mm 以上が礫）を除いた細土部分についての土壤粒径のことで、砂、シルト、粘土の重量比率により決まる。正確には実験室で分析して決定するが、現地では指先で土塊をこねたときの感触で判定できる。土が乾いていれば少量の水で湿らせてから判定する（図4-10）。

表4-3 指先の触感などによる土性の判定方法（土性分類：日本農学会法）

土性	粘土含量	指先の触感など
砂土 (S)	12.5%未満	ザラザラとほとんど砂だけの感じで、ねばり気を全く感じない。かたまりや棒状にならない
砂壤土 (SL)	12.5～24.9%	大部分砂の感じでわずかに粘土を感じる。棒状にはできない
壤土 (L)	25.0～37.4%	砂と粘土が同じ位に感じられる。鉛筆くらいの太さにできる
埴壤土 (CL)	37.5～49.9%	わずかに砂を感じるが、大部分粘土でかなりねばる。マッチ棒くらいの太さにできる
埴土 (C)	50.0%以上	ほとんど砂を感じないでヌルヌルした粘土の感じが強い。コヨリのように細くできる

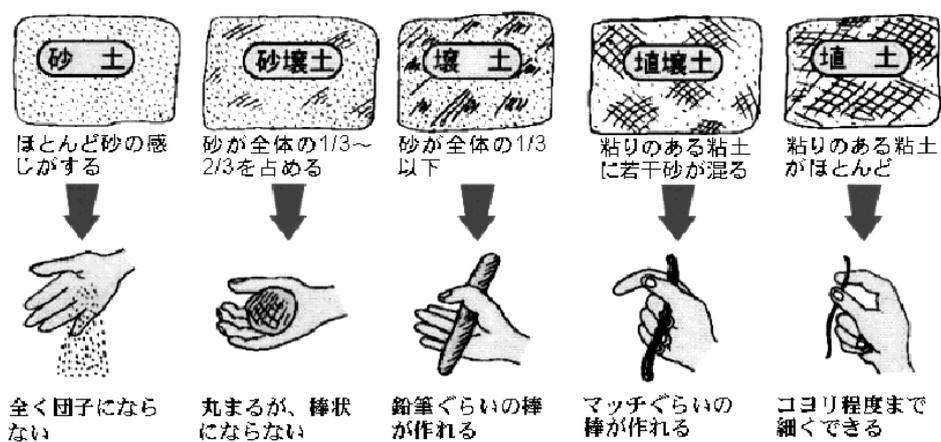


図4-10 土性の判定の仕方

5) 土壌分析結果の診断と改善

(土壌分析結果から施肥までの流れ)

土壌分析した後はその結果を評価し、改善点があれば施肥等の際に反映していくこととなる。これについて現在、分析結果を基に処方箋を作成する場合の判断の目安となるものが最も整備されているのは化学性診断である。

土壌分析結果を評価しコメントする場合にその目安となっているのは、一般に都道府県が策定している土壌診断基準^{*1}である。土壌診断基準は水稲、野菜・畑作物、果樹等の分類で望ましい値の範囲が設定されている例が多く、その範囲は色々な作物を栽培する場合を前提に設定されている。ある程度栽培作物が固定している場合にはその作物の土壌中の養分含量と作物生育との関係データがあればそれが参考となる(図4-11)。

分析項目	前回分析値 分析No.	本年分析値	単位	養分状態					基準値
				非常低	低	適正	高	非常高	
pH (H ₂ O)		6.4					★		5.5~6.0
有効態りん酸		60.4	mg/100g					★	10~30
交換性加里		57.0	mg/100g					★	15~30
交換性苦土		61.2	mg/100g				★		25~45
交換性石灰		271.6	mg/100g		★				390~586
苦土・加里比		2.5	当量比			★			2以上
石灰・苦土比		3.2	当量比			★			6以下
石灰飽和度		27.8	%		★				40~60
塩基飽和度		40.0	%		★				60~80
銅			ppm						0.5~8
亜鉛			ppm						2~40
マンガン			ppm						50~500
ほう素			ppm						0.5~1

図4-11 土壌分析機関における土壌分析結果の報告例

(土壌診断と施肥改善)

土壌診断結果に基づいて施肥設計することとなる。その場合に目安となるのが都道府県で策定している作物別施肥基準^{*2}や農協等で作成しているその地域の主要作物の施肥標準の資料である。

実際にキャベツ農家(特別栽培農家)のいくつかの生育の良い圃場と劣る圃場で土壌分析を行い、良い圃場の土壌の養分状況に近づけるよう施肥改善し、収量、品質の向上を図ることができた例がある。

*1 土壌診断基準……都道府県では国の地力増進基本指針による改善目標を基本としながら、都道府県内の主な作物の種類や土壌条件を考慮し分析結果を診断するための基準を作成している。土壌診断基準(化学性)では主な診断項目について適正範囲を定めているが、これは作物の生育に異常を起こす養分の範囲と厳密に考えるのではなく、予防的な意味も含め改善を行うべき目安と考えて対応すべきものである。

*2 作物別施肥基準……都道府県では主要な農作物の代表的な作型について、施肥の参考とするため施肥基準を策定している。これは目標収量を得るための参考となる施肥の目安となるもので、県内での栽培試験例や施肥実態等をもとに策定している。実際の施肥に当たっては、圃場毎の土壌の種類・肥沃度、気象等の環境条件、栽培条件等を勘案して加減していく必要がある。

「A 農家の生育劣る圃場の土壌分析結果と施肥改善の取組事例」

生育の劣るキャベツ圃場を土壌分析したところ、生育の良い圃場と比較して特に腐植含量と有効態リン酸が少なかった。生育の劣る圃場は借地圃場でこれまで堆肥等を余り施用してこなかった。このため、堆肥を多めに施用するとともに石灰資材とリン酸資材を多めに施用した。その結果2年後にはキャベツの生育がかなり改善した。

表4-4 A農家のキャベツ生育等劣る圃場(黄色土)の施肥改善前と改善後の土壌分析結果

	pH	腐植含量 (%)	有効態リン酸 mg
生育等劣る状態の土壌分析結果	5.5	1.5	58.2
生育改善後の土壌分析結果 (2年後)	6.5	2.1	109.0



写真4-6 生育劣る状態のときのキャベツ生育



写真4-7 施肥改善後のキャベツ生育 (2年後の同一圃場)

(4) pH、EC、無機態窒素の管理と対応

土壌 pH や EC、無機態窒素は簡単な抽出処理とセンサーを使うことにより、現場で調べることができるので、有用な診断指標である。そして土壌診断の結果、基準の適正範囲から外れている場合は改善対策を行う。

降雨や灌水により、土壌中の塩基が溶脱するため、露地栽培の土壌は酸性化しやすい。一方、施設栽培では、毛管現象により土壌水分が下層土壌から表層土壌に移動しやすく、水分に含まれる塩分が集積する場合もあり、アルカリ化することもある。有機栽培では、土壌中の腐植物質が増加するので、腐植物質のカルボキシル基が pH の変動を抑制する緩衝能が高く、pH の変動は比較的少ないと言える。しかしながら、基準値を超えたり、作物に適正な pH にする場合には、土壌改良資材を用いて pH を矯正する必要がある。

酸性土壌をアルカリ性にするのであれば、草木灰や炭酸カルシウム、水酸化マグネシウム、生石灰などが用いられる。塩基バランスを考えて資材を選択し、目標 pH に必要な量を計算して施用する。

アルカリ性土壌を酸性化する場合は、硫黄を使うこともあるが、アルカリ性になる原因として塩類が集積していることが多く、その場合はECも高い値を示す。特定の塩基類が過剰な場合、その施用量を減らすことで対応できる程度であれば良いが、生育に悪影響が出るのであれば、深耕や客土によって希釈したり、クリーニングクロープを使って除塩をすることが可能である。クリーニングクロープは除塩効果とともに、土壌物理性改良効果もある。有機栽培では少ないと思われるが、過剰な無機態窒素も吸収させることができる。

クリーニングクロープであるソルゴー等を栽培すると、土壌のEC（電気伝導度）や硝酸態窒素はかなり低下し、カリウムも低下する。ソルゴーを栽培した例では、ECが約3カ月後に約半分に低下している（表4-5）。

いくつかのクリーニングクロープを作付してみると、脱塩効果が高いのは、硝酸態窒素（▲83%）とEC（▲66%）である。次いで加里（▲約40%）が低下する。石灰、苦土はあまり減少せず、リン酸はあまり余り吸収されずほとんど低下しない（表4-6、7）。クリーニングクロープの種類別の硝酸態窒素等の除去の効果ではソルゴーが高い。

表4-5 ソルゴー栽培後の土壌のECの変化

	作付前	38日後	65日後	96日後
対 照 区	1.18	0.91	0.90	1.03
ソルゴー区	1.18	0.81	0.51	0.58

資料：宮城県園芸試験場

表4-6 クリーニングクロープの収量と養分吸収量

クリーニングクロープ	乾物重 (kg)	養分吸収量 (kg/10a)				
		窒素	リン酸	加里	石灰	苦土
ソルゴー	946	26.0	7.0	49.0	6.0	5.0
トウモロコシ	573	17.0	5.0	41.0	4.0	3.0
スーダングラス	1,409	38.0	7.0	69.0	10.0	9.0

資料：宮城県園芸試験場（一部改訂）

4月28日播種、6月21日収穫（栽培期間56日）

表4-7 ハウス土壌の作付前と作付後のEC、硝酸態窒素、塩基類の比較

クリーニングクロープ	EC		硝酸態窒素		加里		石灰		苦土	
	作付前	収穫後	作付前	収穫後	作付前	収穫後	作付前	収穫後	作付前	収穫後
ソルゴー	1.92	0.65	80.5	13.9	67.0	38.0	514.2	548.9	94.1	87.9
トウモロコシ	1.92	0.72	80.5	17.6	67.0	43.3	514.2	456.1	94.1	87.5
スーダングラス	1.92	0.85	80.5	19.5	67.0	40.0	514.2	468.0	94.1	89.1

資料：宮城県園芸試験場（一部改訂）、単位：EC除きmg/100g、ECはmS/cm

4月28日播種、6月21日収穫（栽培期間56日）

(5) 主要養分と施肥管理

有機農業で用いられる有機質肥料に単肥は少なく、幅広い種類の養分を含んでいるが、養分バランスの偏りがあるので、有機質肥料を組み合わせることで肥料成分の偏りを補正し、栽培作物の養分吸収特性に合致した養分管理を行うことが重要である。これにより、収量の安定化や品質向上を図ることができる。主な肥料成分と作物生育との関係は以下の通りである。

①窒素

生育、収量、品質に最も影響の大きい栄養成分である。一般的に栄養成長段階ではある程度潤沢に供給されることが望ましいが、生殖栄養段階において窒素供給が高く維持されると、登熟の遅れや糖度の減少、硝酸態窒素の蓄積、タンパク質の蓄積などの食味を低下させる原因となるので注意が必要である。果菜類のトマト、キュウリ、ピーマン、ナスは生育期間が長く、栄養成長と生殖成長を平行して進行させるため、窒素養分を切れ目なく供給していくことが重要である。

②リン酸

リン酸は発根力を高めて根群の発育を旺盛にするので基肥として全量施用されることが多い。果菜類では、花芽分化を促進するので、リン酸吸収力が弱い育苗期には多く与える。穀物や果菜類、果樹では、開花、結実においてリン酸は重要であり、登熟を促進する働きもある。栽培前期から中期にかけての肥効は収量への影響が大きいので、元肥による施用を中心に生育診断をしつつ追肥も行なうことが望ましい。

③カリウム

果菜類や果樹の果実肥大において窒素以上に吸収量が多い成分である。また根菜類やイモ類においても可食部発達において、カリウムは要求量が多いので、不足しないように留意が必要である。しかし、カリウムは非常に吸収されやすいため、作物が必要とする以上に吸収される場合が多く、いわゆる贅沢吸収が生じる元素である。また土壌中のカリウム濃度が高すぎると、カルシウムやマグネシウム欠乏を生じやすいため、土壌診断を行い、土壌中の交換性カリウム含量が15~20mg/100g程度を下回らないように注意しながら施肥を行う。

④マグネシウム

葉緑素の中心元素であるため、生育全期間にわたって吸収されているが、果菜類や果樹では、果実肥大期からの吸収が多くなる。この時期に苦土が欠乏すると欠乏症が下位葉から現われ、葉脈間が黄化し収量にも影響する。多くの作物で土壌中の交換性マグネシウムが10mg/100g以下になると、欠乏症が発生するとされている。交換性マグネシウムが10mg/100g以上になるように元肥を施用する。また、マグネシウム欠乏症は塩基バランスの乱れによって発生することが多いので、カリウムとカルシウムとのバランスが重要である。

⑤カルシウム

カルシウムは細胞壁を形成する成分であるため、多くの作物はカルシウムを窒素と同量かそれよりもやや少ない程度まで吸収するので、吸収量は比較的多いと言える。カルシウムは

細胞壁の強化や病原感染のシグナル物質として働くので、作物の病害抵抗性を高める効果も確認されており、トマト青枯病はカルシウム濃度の高い方で発生が抑制されたとの報告もある。しかし、カルシウムは吸収しにくいこと、また体内移動（転流）もしにくいという特性があることから、土壌中に交換性カルシウムが十分あっても欠乏症が発生することがある。カルシウムには、作物に必要な養分としての働きと共に、土壌 pH を調節する働きがある。我が国は降水量が多いので土壌中の塩基が溶脱し、酸性化しやすいので pH 矯正のためにカルシウム含有資材が使用される場合が多い。しかし、土壌中のカルシウムが過剰になると、土壌がアルカリ性となり、マンガン、ホウ素、亜鉛、銅等微量元素の溶解度が低くなり、これら微量元素の欠乏症が発生しやすくなるので注意が必要である。

(6) 微量元素の過不足と作物

微量元素とは、植物の含有率が乾物当たりおよそ 0.01%（100ppm）以下の濃度において、作物体内で正常な働きをする元素のことであり、非常に要求量が低い養分である。しかし、これらは必須元素であり、塩素、ホウ素、鉄、マンガン、亜鉛、銅、モリブデン、ニッケルが今のところ、植物生育になくってはならない元素であることが明らかになっている（表4-8）。

有機栽培においては、有機質肥料や土壌改良資材として動植物や微生物遺体を施用することが多いので、生物に必要な微量元素が多少なりとも含まれており、過不足は生じにくいと言える。しかしながら土壌 pH や酸化還元電位、土質、土壌水分などの圃場環境の影響や作物による特異的な微量元素の要求などもあるので、注意が必要である。

表4-8 有機質資材中の微量元素含量

有機物の種類	微量元素含量（乾物 ppm）				
	Mn	B	Fe	Zn	Cu
魚かす粉末	17	3	946	131	5
カニ殻	314	7	6263	155	58
菜種油かす	64	19	222	61	7
農産物製造かす	57	18	557	38	22
発酵鶏糞	264	1	1029	241	45
発酵牛糞	426	12	2294	119	31
ヤシビート	54	17	1355	32	9
ピートモス	53	4	1732	14	3
バーク堆肥	241	19	2892	126	38
発酵副産肥料	62	7	419	32	13
有機配合肥料	31	9	364	77	10

注：分析点数各 1 点、各成分はいずれも元素表示。
（秋友 2003）より抜粋。

1) 土壌 pH の影響

土壌酸度矯正のため、極端に多量のカルシウム質資材等の施用を行うと、土壌がアルカリ性になり (pH>7)、鉄、マンガン、亜鉛、銅などの元素が溶けにくくなる。また、カルシウムとの拮抗吸収阻害が生じたりして、吸収も阻害されてしまうことになるため、これらの養分が土壌中に十分量存在しても吸収できなくなる。土壌が酸性化 (pH<5) すると、これらの元素は吸収しやすくなるが、酸性化しすぎると過剰障害が現れることになる。さらにモリブデンの溶解度が低下して吸収量が低下し、欠乏症が生じる。土壌酸度評価を行って資材施用の適当量を計算したり、効果を確認しながら徐々に施用するなど、土壌 pH 矯正は慎重に行うことが重要である。

2) リン酸の影響

土壌中の可給態リン酸濃度が高くなると、鉄や亜鉛等と結合するため、これらの元素吸収が抑制されることが明らかとなっている。有機栽培では、リン酸肥料の多投入は行われませんが、家畜糞堆肥を長期連用している圃場においては、土壌中の可給態リン酸量が適正域にあるかチェックが必要である。また動物質肥料 (畜産物残渣) はリン濃度が高いので、微量元素への配慮も必要である。

3) 過湿による酸化還元電位の低下の影響

透水性が悪く、土壌が還元化しやすいところでは、マンガンが還元されて溶解し、過剰障害を生じさせることがある。有機栽培では有機物を施用することが多く、このような還元障害が出やすいので透水性が悪い圃場では注意が必要である。

4) 土壌乾燥の影響

土壌が乾燥するとホウ素は吸収量が低下しやすい。有機栽培の圃場は、団粒構造の発達や有機物含量の増加により、比較的土壌水分が高く維持されやすい特性を有するので、土壌乾燥による影響は少ないと言える。微量元素のみならず、保水性は作物生育や収量に大きく影響するので、土づくりによる物理性の維持向上を意識して取り組む必要がある。また粘土含量が低い土壌はホウ素が不足しやすいので留意する。

5) 作物により微量元素の吸収量は大きく異なる

ダイコン、ハクサイ、キャベツなどのアブラナ科野菜やジャガイモ、ダイズは、ホウ素要求量が他の作物に比べて多いので、不足しないように注意する (表4-9)。ただしホウ素の至適濃度は狭く過剰障害も生じやすいので、ホウ砂を施用する場合は過剰施用しないように注意が必要である。一方、イネやコムギはマンガンや鉄を多く吸収する。田畑輪換をするときなど、同じ圃場で異なる作物を栽培するときには留意する必要がある。

表4-9 作物の微量元素吸収量(g/10a)

作物	マンガン	鉄	亜鉛	銅	ホウ素
ダイコン	45	49	34	5	35
ニンジン	43	48	23	4	28
キャベツ	49	50	23	5	32
ハクサイ	31	41	30	4	27
ジャガイモ	120	260	41	9	23
ダイズ	30	140	19	7	38
イネ	580	910	36	8	5
コムギ	140	560	37	8	8

秋友 (2003)

(7) 有機物の適切な施用

1) 堆肥等有機物の肥効

有機質肥料は化学肥料と比べ一般に肥効の発現が遅い。特に窒素の肥効発現は資材によって異なるので注意を要する。一般に地温が低く、C/N比の高いものは分解が遅い。有機質肥料の窒素肥効の特性を把握した上で施肥をしていく必要がある。

①有機質肥料の窒素発現は遅く、地温で左右される。

作物の生育に最も影響を与える有機質肥料の窒素は、化学肥料と比較して無機化率が低く、低温下では特に低い(表4-10)。例えば、菜種油粕を窒素成分で100mgを土壤に施用した場合、10℃の場合には施用後8週間で無機化率(施用窒素に対するアンモニア態窒素+硝酸態窒素の発現量の比率)が46.0%であったのに対し、25℃では57.1となっている。

表4-10 無機化率及び硝化率に及ぼす温度の影響

(米沢) (単位: %)

温度	施用量 (mg)	期間 (週)	菜種油かす		魚かす		尿素		硫安	
			無機化率	硝化率	無機化率	硝化率	無機化率	硝化率	無機化率	硝化率
10℃	20	1	34.9	5.8	20.9	14.4	84.9	9.0	91.6	6.3
		2	42.1	16.9	41.8	15.3	97.8	18.0	95.1	15.4
		4	42.3	27.7	37.7	30.9	98.1	45.8	96.5	27.5
		8	44.5	28.3	40.5	33.9	93.8	47.9	92.1	31.6
	100	1	25.7	—	24.3	—	49.3	—	95.9	—
		2	36.3	—	36.1	—	61.2	2.0	98.1	1.5
		4	37.1	—	41.0	2.2	66.3	5.3	97.2	2.1
		8	46.0	—	42.1	34.0	89.0	25.4	98.1	6.2
25℃	20	1	49.5	16.2	36.1	17.5	84.0	15.8	86.0	10.7
		2	53.3	47.8	48.1	63.2	89.4	49.0	88.2	48.8
		4	55.6	73.9	49.7	92.4	91.5	54.8	88.4	55.9
		8	50.4	100	57.9	100	89.3	100	89.0	100
	100	1	42.6	—	38.3	2.1	65.9	3.5	97.3	0.9
		2	44.8	2.2	52.1	25.1	79.4	27.6	97.4	7.6
		4	47.5	22.7	51.5	44.5	91.8	45.5	92.8	13.7
		8	57.1	51.8	50.9	67.4	92.5	49.7	92.3	15.5

注 pH: 6.0, 水分: 50%/MWHC, 施用量は乾土100g当たりのN

無機化率は施用Nに対する無機化N(NH₄-N+NO₃-N)の割合(%), 硝化率は無機化N
に対する硝酸化N(NO₃-N)の割合(%)

資料: 農業技術体系土壌肥料編 (トマト) 農文協

②堆肥の肥効は窒素成分やC/N比で変わる

窒素は、作物の収量・品質に最も影響を与える養分であるが、堆肥の種類や成分によって肥効はかなり異なる。特に、副資材としてオガクズ、モミガラ等炭素を多く含むものは分解が緩やかで、窒素の肥効が少ないのに対し、家畜糞単独で堆肥化するものは肥効が大きい傾向がある。堆肥の成分表示の中でC/N比が大きい堆肥ほど窒素の肥効率が低く、C/N比20以上のものは、ほとんど窒素の肥効は期待しにくい。ここで肥効率とは、堆肥の肥効を化学肥料の肥効に対する割合で表した値をいう。例えば、化学肥料で窒素10kg/10aを施用した場合と同等の収量を得るために堆肥の窒素成分として20kg/10aを施用する必要があるならば、その堆肥の窒素肥効率は50% (10kg/20kg × 100%) になる。特に鶏糞堆肥については乾燥鶏糞や発酵鶏糞等、発酵条件によって窒素含量に大きなバラツキがあり、窒素肥効率は全窒素含有率の大きなものほど高い傾向がある。

〈鶏糞堆肥の場合の窒素肥効率の例〉

有機栽培においては、鶏糞を用いる事例が多いが、利用する鶏糞の窒素成分を把握して施用する必要がある。一般に鶏糞堆肥（採卵鶏・副資材なし）は、乾物当たり窒素含量が高いほど、施用後4週間の窒素無機化率が高くなるという関係がみられる（図4-12、13）。岐阜県農業技術研究所の報告によると、畑・水田の両条件下で30℃で4週間培養の窒素無機化率と乾物当たり窒素含量との間に高い相関が認められている。

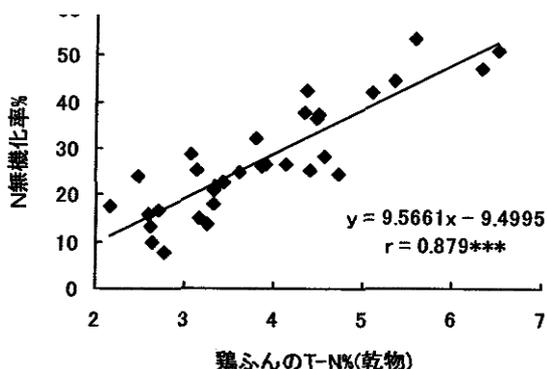


図4-12 畑条件・30℃・4週培養における窒素無機化率(当初の無機態含む)と窒素含量の関係
(岐阜県農業技術研究所)

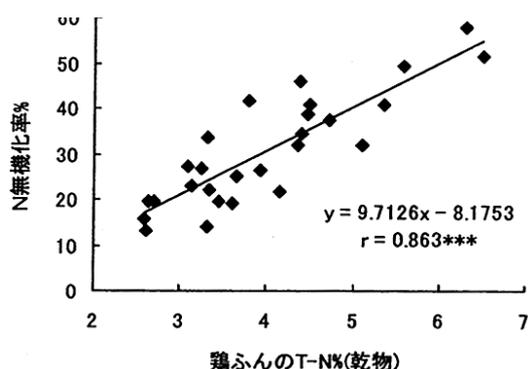


図4-13 水田条件・30℃・4週培養における窒素無機化率(当初の無機態含む)と窒素含量の関係
(岐阜県農業技術研究所)

窒素含量が明らかな鶏糞堆肥を用いて作付けを行う場合、この関係を利用して表4-11から1か月間の肥効が推定できる。窒素含量の高い鶏糞堆肥ほど肥効は速効的であり、窒素無機化率が高くなるといえる。また、1か月以降の肥効はさほど多くなく、鶏糞堆肥乾物1tにつき窒素無機化量は3kg程度なので、必要があれば追肥する程度である。

表4-11 鶏糞堆肥の窒素含有量(乾物)と窒素無機化率（施用後4週間の関係）

窒素含量 (%)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
窒素無機化率 (%)	11	16	21	26	31	36	40	45	50	55
窒素無機化量 (kg/ 乾物 t)	2	4	6	9	12	16	20	25	30	36

資料：岐阜県農業技術研究所

③堆肥の窒素肥効率は堆肥中の窒素含量が目安

堆肥は地域によって出回っている種類や土壌等の環境条件等が異なるので、県によっては肥効率を提示しているところがある。堆肥の肥効は、窒素場合、堆肥の種類よりも窒素含有率に左右されることに留意する必要がある。リン酸、加里の肥効率は堆肥の種類による差は少なく、リン酸で80%、加里で90%と高い。千葉県では堆肥の肥効率の目安を表4-12のように提示しており、このような事例を参考に施肥設計を行う。

表4-12 千葉県における家畜ふん堆肥の肥効率の目安

	堆肥の全窒素含量 (乾物当たり)	窒素	リン酸	加里
牛糞堆肥と豚ふん堆肥	2%未満	10	80	90
	2～4%	30	80	90
	4%以上	60	80	90
鶏糞堆肥	2%未満	10	80	90
	2～4%	50	80	90
	4%以上	60	80	90

資料：千葉県「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム」から抜粋

2) 作物の地力窒素の吸収

土壤有機物は地温が上昇すると分解が進み、無機態窒素の発現（地力窒素）が多くなる。したがって、春作、秋冬作によって土壤中からの無機態窒素の発現が異なり、秋冬作のように地温の低い時期については窒素発現量が低く、野菜の生育が悪いというのが一般的である。大分県農業技術センターのピーマンでの調査結果では、生育初期は窒素吸収量に占める肥料由来の窒素比率が大きいですが、生育中期～後期には土壤や堆肥由来の窒素の占める比率が大きくなり、全期間では施肥窒素が30%で、土壤や堆肥由来の窒素が70%を占めていた（図4-14）。このデータからも高温期である8月～9月には土壤や堆肥由来の窒素の占める比率が大きくなることが分かる。地力窒素は15℃以上で発現しはじめ、20～25℃で最も多く発現してくるとされている。

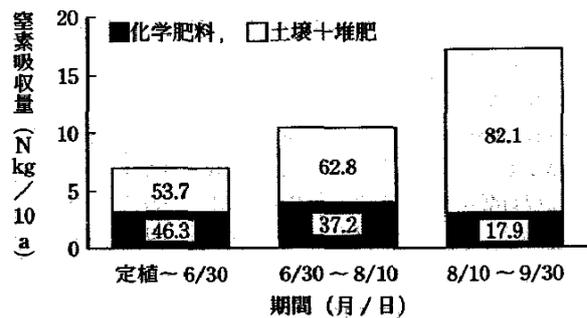


図4-14 肥料、土壌由来の窒素の吸収量と吸収比率(ピーマン)

注：図中の数字は期間ごとの各窒素給源の比率 (%)
資料：大分県農業技術センター

3) 有機物の窒素肥効の目安となる C/N 比の見方

有機物の C/N 比（炭素率）は、有機物の分解特性を示すものである。各種有機物の土壤中の分解は C/N 比によって異なる（表4-13）。施用される有機物の C/N 比が高いと（20 以上）、分解の際に土壤中の無機態窒素が微生物に利用され、作物は窒素飢餓となる。また、C/N 比が低いと（10 以下）、無機態窒素が有機物から速やかに放出されて作物に供給される。有機物を施用するとき、土壤改良効果を期待して C/N 比の高い資材を用いることがある。そうした場合は、大豆かすなど C/N 比の低い有機質資材を合わせ用いることによって窒素飢餓を避けることができる。

表4-13 各種有機物の C/N 比から見た分解特性と施用効果

大分類	C/N比 (炭素率)	初年目の分解の特徴	有機物の例	施用効果
窒素 放出群	10 前後	炭素、窒素とも速やかに分解する（年 60～80%）	余剰汚泥、鶏糞、大豆かす、野菜残さ、クローバなど	施用年における窒素放出大きく、有機質肥料的に考えて良い。施用絶対量が少ないこと、残存率が少ないことから、累積効果、有機物集積効果は小さい。
	10～20	炭素、窒素とも中程度の速度で分解する（年 40～60%程度）	牛糞豚ふんなど	施用年においてかなりの窒素放出があり、施用量によっては肥料の代替とすることもできる。かなりの量の炭素、窒素が土壌中に残存するので、連用すると土壌有機物の富化や窒素放出の増加が起こる。
	10～20	炭素、窒素ともゆっくり分解する（年 20～40%）	通常の堆肥（中～完熟）	施用年においてある程度の窒素放出があるが、施用量を減らす程ではない。大部分の炭素、窒素が土壌中に残るので、連用により土壌の有機物含量が高まり、数年後から地力的窒素供給が認められる。
	20～30	炭素、窒素とも非常にゆっくり分解する（年 0～20%）	分解の遅い堆肥類（バーク堆肥など）	肥効は少ないが、炭素、窒素のほとんどが土壌中に残るので、土壌中の有機物を増加させる効果は大きい。地力窒素放出が認められるには長期間を要する。
窒素 取込群	50～120	炭素の分解は速やか（年 60～80%）、窒素は取り込みが起こる	稲わら、麦わら、トウモロコシ茎など	施用年における窒素の取り込みが大きい。C/N比や分解率が早いもので1年以内、遅い場合には3年目に窒素の放出が始まり、その後堆肥と同様の窒素放出を示すようになる。連用した場合、C/N比の高いものは窒素放出までに時間がかかる。施用量に比べた炭素の集積は少なく、窒素の集積が多い。
	20～140	炭素の分解が中程度かゆっくり（年 20～60%）で、窒素は出入りが少ない、あるいは取り込みが起こる	未熟堆肥、水稻根、製紙かすなど	施用直後は土壌、作物への影響が明らかでないものが多いが、連用でわら類、堆肥類に近くなる。土壌への炭素、窒素の集積は中程度。
	200 以上	炭素の分解が非常に遅く（年 0～20%）、窒素は取り込みが起こる	おがくずなど	炭素の分解は早くないが、C/N比が高いため、窒素の取り込みが大きい。炭素の集積は初めの数年特に大きい。

資料：三重県農業研究所

〈主な堆肥の肥効と基肥減肥、減肥の計算方法〉

全量基肥としてレタスに牛ふん堆肥を施用する場合の肥料計算例

(前提条件) レタス(春どり)に牛ふん堆肥(水分53%、全窒素(現物)1.0%、全リン酸(現物)1.1%、全加里(現物)1.4%)を1t/10a施用する場合(堆肥の肥効率:窒素10%、全リン酸80%、全加里90%で計算)

i レタスの施肥量(10a当たり)

ある県の施肥基準=窒素20kg、リン酸20kg、加里20kg

ii 土壌からの養分供給量

(= (土壌診断値 - 土壌養分基準値) × 面積(10a) × 作土深 × 仮比重)

無機態窒素 (15mg/100g - 10mg/100g) × 1000 m² × 0.1m × 0.8 = 4.0kg

可給態リン酸 (30mg/100g - 20mg/100g) × 1000 m² × 0.1m × 0.8 = 8.0kg

交換性加里 (10mg/100g - 20mg/100g) × 1000 m² × 0.1m × 0.8 = -10.0kg

*この場合、交換性加里は不足しているため、補給する必要がある。

iii 堆肥からの養分供給量(10a当たり)

窒素 1t/10a × 1.0% (堆肥の全窒素含量) × 10% (肥効率) = 1.0kg

リン酸 1t/10a × 1.1% (堆肥の全リン酸含量) × 80% (肥効率) = 8.8kg

加里 1t/10a × 1.4% (堆肥の全加里含量) × 90% (肥効率) = 12.6kg

iv 基肥成分施用量(10a当たり)

(= ①施肥基準の施用量 - ②土壌からの養分供給量 - ③堆肥からの養分供給量)

窒素 20kg - 4.0kg - 1.0kg = 15.0kg

リン酸 20kg - 8.0kg - 8.8kg = 3.2kg

加里 20kg - (-10kg) - 12.6kg = 17.4kg

v 計算値を基に適当な有機質肥料を選択し、組み合わせて施肥量を計算する。栽培においては、土壌の種類、温度条件、水分条件の相違によって堆肥の分解が異なり、窒素の発現も違ってくるので、作物の生育状況を観察しながら施用量を調整する必要がある。

(8) 有機質肥料の特性と効果的利用

1) 有機質肥料の種類別特性

通常、土壤微生物の量や活性を高めるためには、有機物を土壤に施用すれば良いが、場合によっては作物に悪影響が生じることがある。すなわち C/N 比（炭素率）が高い有機物（稲わらやおがくず等）を施用すると、微生物がこれらの有機物を分解する際に土壤中の窒素やリン等の可給態養分を吸収してしまう。植物の養分供給が制限される“窒素飢餓”である。

逆に C/N 比が非常に低い有機物（油かす等）においても、微生物が土壤中で非常に活発に分解・代謝するので、酸素欠乏が生じたり、有害代謝産物が生成したりして、植物根の生理状態を悪化させてしまうことになる。そのため一般的には、土壤に施用してもこれらの反応が生じない完熟堆肥の施用が最も安心して利用できる資材と言える。

図4-14は、各種有機物を毎年土壤に施用した時の土壤からの窒素無機化放出量を示したものである。このデータは、水田土壤におけるデータであるため、好気的な条件である果樹園では分解速度がやや速くなると予想されるが、有機物資材の窒素放出パターンや基本的な考え方は同じであると捉えて良い。

図4-14の上図に示された余剰汚泥や各種堆肥、家畜糞は窒素含量が高く、比較的早く分解が進み、ある一定の値に近づくことが分かる。この値は、1年間に施用する有機物に含まれる窒素量に相当する。つまり、投入窒素量と放出量が平行に達することを意味する。余剰汚泥のように分解速度が速い資材ほど、早い時期に平行に達するので、肥料効果がすぐに期待できる。一方、図4-15下図に示された製紙かすや植物残渣などの窒素含量の低い有機物は、平行に達するのに長期間掛かる。しかも施用数年から25年までは、窒素が放出されないものもある。しかし、平行に達するまでに時間が掛かる有機物は、土壤に長く存在することになり、その蓄積量も多くなるので、土壤中の炭素量が増加し、分解過程において腐植が生成されたり、土壤生物の生息場所を提供するなど、土づくりとしての効果が期待できると言える。

表4-14に比較的養分溶出が早い時期に行われ、肥料効果が期待される資材の成分組成と無機態窒素の放出特性を示した。西尾（1997）は、無機態窒素の放出パターンを速効性成分と緩効性成分から3つに分けている。速効性は施用後 30 日までに放出するもので、緩効性成分は 31～200 日目までに放出するものである。

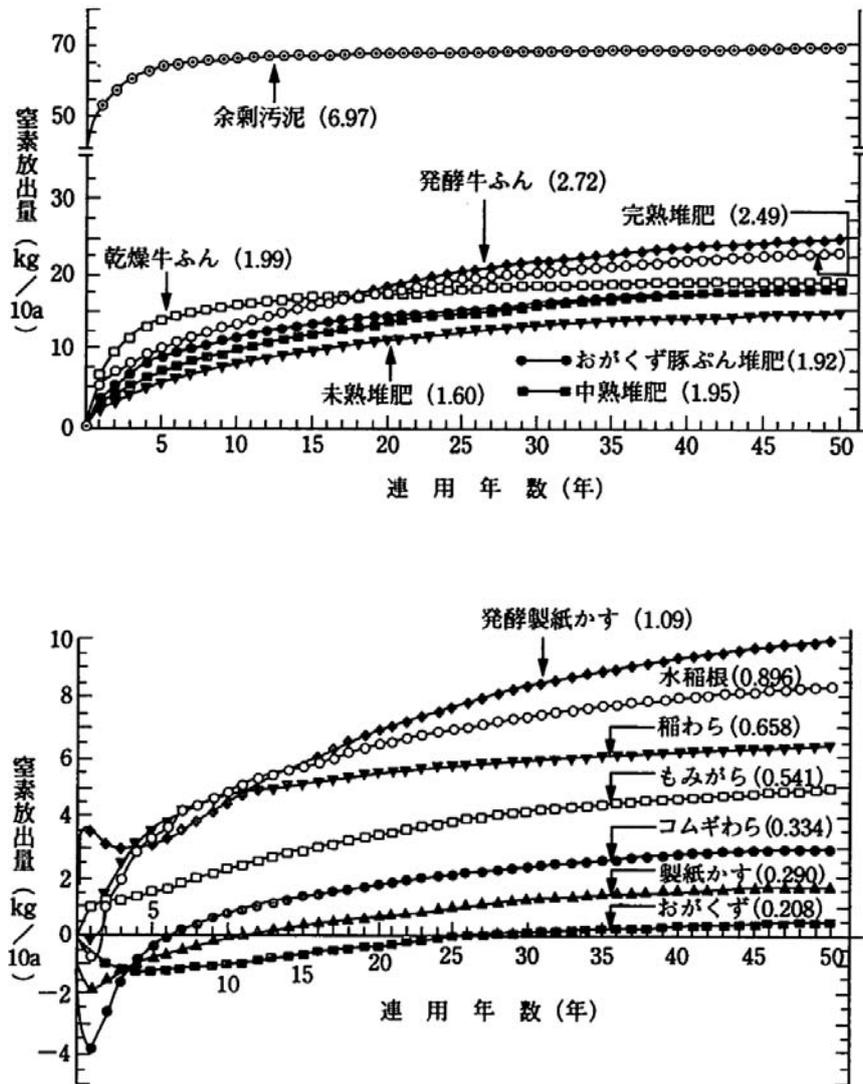


図4-15 各種有機物を水分を除いた乾燥物で毎年1t/10a 連用したときの無機態窒素の放出量の経年変化 (西尾 1997)

注：() 内の数字は、図中有機物の乾燥物中の窒素含量の%を示す。

表4-14 有機質肥料の成分組成と無機態窒素の放出特性 (西尾 1997)

試料名	全窒素 (%)	全リン酸 (%)	全K (%)	全Ca (%)	全Mg (%)	炭素 (%)	C/N	無機態窒素放出型
蹄角	13.75	0.24	0.03	0.62	0.03	35.32	2.56	30日までと31~200日目とで25g/kg以上の無機窒素を放出するもの
乾血	12.93	0.78	0.61	0.09	0.12	36.79	2.85	
フェザーミール	13.78	0.60	0.10	0.37	0.04	43.05	3.12	
大豆油粕	7.72	1.69	2.22	0.40	0.48	32.95	4.27	
乾燥酵母	9.71	1.14	0.18	0.32	0.17	39.57	4.08	
魚粕	9.75	8.54	0.47	10.09	0.37	35.53	3.64	30日目までは25g/kg以上の無機窒素を放出するが、その後の放出量が少ないもの
肉粕	10.23	2.47	0.41	3.19	0.08	37.68	3.68	
肉骨粉	7.21	10.25	0.23	23.18	0.40	30.56	4.24	
皮粉	9.68	0.16	0.03	2.73	0.26	34.56	3.57	
毛粉	7.17	0.34	0.21	0.64	0.12	35.28	4.92	
蛹粕	9.30	1.81	1.07	0.20	0.67	41.28	4.43	
蒸製骨粉	5.30	21.30	0.12	31.39	0.74	21.75	4.10	2つの時期の無機窒素放出量が25g/kgには達しないが、30日目までと31~200日目との両期で無機窒素を放出するもの
生骨粉	4.90	24.72	0.07	34.02	0.80	10.73	2.19	
カニガラ	4.24	5.34	0.22	41.16	1.83	14.42	3.40	
菜種油粕	6.22	2.84	1.38	0.94	0.90	35.72	5.74	
綿実油粕	5.66	2.29	1.38	0.29	1.09	32.94	5.82	
ひまし油粕	6.64	2.02	1.03	0.81	1.02	29.99	4.52	
カポック油粕	5.39	2.22	1.74	0.65	0.93	39.33	7.30	
米ヌカ	3.20	6.68	1.51	0.38	2.36	33.65	10.52	

注：全リン酸：P₂O₅、全K：K₂O、全Ca：CaO、全Mg：MgO

蹄角、乾血、フェザーミール、大豆油粕、乾燥酵母は、速効性成分と緩効性成分の両方を持ち、魚粕、肉粕、肉骨粉、皮粉、毛粉、蛹粕は速効性成分が主体であり、蒸製骨粉、生骨粉、カニガラ、菜種油粕、綿実油粕、ひまし油粕、カポック油粕、米ヌカは、緩効性成分が主体である。このように、有機質肥料でありながら、化学肥料のように速効性や緩効性を選べることは、慣行栽培から有機栽培へ転換する際の肥培管理における技術移転が比較的行いやすいと言える。しかし、窒素以外の成分については、有機質肥料毎に濃度が大きく異なることから、肥料種類を組み合わせるなど、バランスを保つことも留意しなければならない。

さらに実際の施用場面においては、有機質肥料は通常の速効性化学肥料とは異なり、施肥してもすぐに肥効が発現しない場合が多い。端的には、化学形態や溶解性の面で、そのままでは作物がすぐ吸収できないものであることが、その主たる原因と言える。有機質肥料が化学形態や溶解性が変化し、養分として供給されるには複雑な要因が関わり、その総合的な作用を受けて供給量が規定されることになる。有機質肥料の肥効コントロールが難しいのはそのためである。

図4-16に有機栽培における施用有機質資材からの養分供給に関する主な要因を示した。便宜上、1次要因、2次要因に分けて階層化して示したが、実際、これらの要因間には相互関係があり、複雑に作用し合っている。また要因の強度、作物種、作柄、地域、栽培法等の栽培条件により大きく変動する。慣行栽培において化学肥料を施用する場合にも、これら

の要因群について考慮する必要はあるが、慣行であれば主に施用位置、施用時期、養分保持、環境保持に留意すれば良い。



図4-16 有機栽培における施用有機物からの養分供給に関係する要因群

2) 有機質肥料の土壌微生物性

有機農業は生態系とも調和した形で進めていくもので、土壌についても生物の多様性が保たれ、一定の病原微生物が繁殖しないようなバランスを保っていくことが重要である。土壌微生物の多様性と土壌病害との関係については、土壌微生物多様性の高い土壌では土壌病害が発生しにくい。有機質肥料は肥料効果とともに、土壌微生物の多様性を高める作用性が期待される。

(財)日本土壌協会では各種の有機質肥料について微生物多様性を測定した結果、有機物肥料間で微生物多様性指数に大きな差があることがみとめられて認められている。

①有機質肥料間で微生物多様性が異なる

有機質肥料は化成肥料よりも微生物多様性指数が高いが、有機質肥料の中でも原料が多様なもの、動物性の原料が多いもので微生物多様性が高い傾向がある(表4-15)。

表4-15 有機質肥料の種類による微生物多様性

使用資材名	特 徴 (N-P-K)	微生物多様性指数
市販 JAS 有機ぼかし肥料 A	動物性主体 (5-4-2)	2,364,603
市販 JAS 有機ぼかし肥料 B	動物性主体+植物性 (6.3-4.4-2.6)	1,772,479
自家製ぼかし肥料 A	原料:油粕、魚粉、米糠、骨粉等 (1.5-1.48-0.66)	1,386,348
自家製ぼかし肥料 B	原料:米糠等 (0.9-2.54-0.77)	397,778
食品堆肥	原料:かんな屑、食品残渣 (1.87-0.64-0.58)	275,062
化成肥料	(8-8-8)	196,762
コントロール (赤玉土小粒)	無処理 (赤玉土小粒+水)	144,882

注:1. 資材の乾燥度合等によって測定値が異なってくるので、赤玉土(小粒)200gに供試資材20gを加えそれに水50ccを加えて攪拌し、室温で2週間放置したあと測定。(財)日本土壤協会調査

2. (独)中央農研(横山)が開発したアムニログ PM システムにより測定。

3) 微生物多様性の低い有機質資材も連用で高まる

土壤微生物多様性は有機質肥料の種類のみでなく、土壤物理性、化学性の影響を受けるので、微生物の棲息に適した環境づくりを行うことが重要である。微生物多様性の異なる上表の資材を未耕作地の土壤に施用し、実際にコマツナを栽培し微生物多様性の変化を調査した。

微生物多様性指数の高い自家製ぼかし A は施用開始時期から高く、資材の微生物多様性を反映した結果になっている。しかし、当初、微生物多様性が低かった資材も連用すると土壤の微生物多様性は高くなる(表4-16)。

表4-16 有機質肥料を土壤施用した場合の微生物多様性の変化

試 験 区	平成 21 年		平成 22 年	
	第 1 回播種時 (H21.4)	第 2 回播種時 (H21.9)	第 1 回播種時 (H22.4)	第 2 回播種時 (H22.9)
ほかしA 1t + 食品堆肥 S2 t区	1,178,330	1,391,933	1,417,089	1,395,131
ぼかしB 1t + 食品堆肥 S2 t区	683,559	989,066	1,091,507	1,191,475
食品堆肥 S2 t区	624,120	735,830	815,940	856,989
化成肥料区 (8-8-8)	243,163	288,656	234,630	417,308
対照区 (無処理区)	501,991	579,928	952,519	612,492

注:各試験区の作土の生土をサンプリングして、生土により(独)中央農研(横山)が開発したアムニログ PM システムにより測定。

4) 堆肥施用における留意点

①腐植が多い肥沃土壌では施肥量を減らす

地力窒素の発現に大きく関係してくるのは、土壌中の有機物含量（腐植含量）である。堆肥等有機物を連用すると地力窒素の発現が大きくなるので、その施肥量を減らす必要がある。また、地力窒素の発現は土壌有機物含量との関係が大きいので、土壌診断で時には作物の生育の旺盛な圃場と適正な圃場について腐植含量等の地力関係項目を調査し、生育の適正な圃場の腐植含量や地力水準になるように堆肥等有機物の施用量を調整する必要がある。作物生育が旺盛過ぎる場合には、葉内の硝酸含量が高く、病虫害発生の誘因にもなるので、堆肥の施用量を控えたり、肥料成分の低い堆肥を用いるようにする必要がある。

②低温期には速効性有機肥料を利用する

一般に葉菜類の生育に適した土壌中無機態窒素の適正レベルは 10mg ~ 20mg/100g である。堆肥は窒素が発現してくるのに時間がかかり、また、地温により窒素の発現が左右されるので、無機態窒素の適正レベルを維持していくために、比較的速効性の油粕等の有機資材やぼかし肥料と併用するのがよい。地温の低い時期は極力速効性の有機質肥料を用いるようにして、後作に残効窒素が残らないようにする配慮が必要である。長年、ハウスでのレタスの有機栽培を行い、圃場の肥沃度が高まってきている農家の例では、地温の上がる春から夏にかけて収穫する作型では無施肥で栽培し、秋冬作のみ施肥をしている。また、堆肥も肥沃度の高まってきているハウスでは窒素成分が少ないものとし、施用量も控えている。

③土壌養分バランスが崩れていることによる生育障害

有機栽培を長年実施している複数のハウレンソウ農家で、葉に黄色斑の発生が見られた。この要因を調査するため、障害が発生している圃場と正常な生育を示している圃場の土壌分析を行った。表4-17は、ハウレンソウの葉に黄色斑の発生がみられた圃場の土壌分析の結果であり、pH が高く、有効態リン酸が過剰であった。

高 pH 化した土壌では微量元素である Fe、Mn、B が不溶化し、その吸収抑制を起こしやすい。特に、ハウレンソウの葉色異常に、黄色または褐色の斑入り葉や濃淡まだらな葉が認められた。これは易還元性マンガンが 30ppm 以下の圃場において顕著に発生する。発生圃場の易還元性マンガンは 30ppm 以下であった。一方、リン酸が過剰になるとマンガンは不可給態化し吸収されにくくなる。

有機栽培ハウレンソウの葉の黄斑の発生は、pH が高くなるとともにリン酸が過剰となったことからマンガンが不可給態化し、マンガン欠乏を起こしたことが原因であった。

これは、鶏糞堆肥の長期連用が要因と考えられ、対策としては pH を下げる必要があり、カルシウムの多い鶏糞堆肥や乾燥鶏糞を他の資材に切り替えて施用することと、マンガン資材を施用することが必要である。現在、産地では鶏糞堆肥以外の堆肥施用に切り替えている。

同一の有機質資材を長年連用しているとバランスが崩れやすいので、土壌診断しバランス

をチェックする必要がある

表4-17 有機栽培のハウレンソウ圃場の土壌分析結果

	仮比重	pH	CEC	リン酸吸収 係数	有効態 リン酸	加里
A氏露地野菜	1.12	7.3	29.9	963	309.1	35.1
県診断基準(葉菜)	—	6.0~6.5	—	—	20~60	70~85
	苦土	石灰	銅	亜鉛	マンガン	ホウ素
A氏露地野菜	91.4	579.4	0.19	24.27	9.81	2.78
県診断基準(葉菜)	80~100	380~440	—	—	—	—

資料：(財)日本土壌協会

引用文献

- 辻 剛宏「水田裏作に適する秋播き緑肥・景観作物と栽培上の注意点」『牧草と園芸』(2002) 第50巻第9号5-8
- 奥村健治「レンゲ」(2005a) 農業技術体系 畜産編 第7巻 飼料作物 (基礎編-飼料作物の栽培利用便覧-寒地型マメ科牧草) 基 649
- 奥村健治「シロクロバ」(2005b) 農業技術体系 畜産編 第7巻 飼料作物 (基礎編-飼料作物の栽培利用便覧-寒地型マメ科牧草) 基 642~643
- 藤井義晴「草種とアレロパシー」(2005) 農業技術体系 果樹編 第8巻 共通技術 (草生管理-草生栽培をめぐる新研究) 草生管理 6-2~9
- 川瀬昭「レンゲ跡イネの施肥」(1994) 農業技術体系 土壌施肥編 第6-1巻 作物別施肥技術 (イネの施肥技術-肥効を左右する諸要因) 技術 20-2~5
- Asagi, N. and Ueno, H. (2009) : Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various ¹⁵N-labelled green manures. *Plant and Soil*. 322: 251-262
- 佐藤徹・南雲芳文・市川岳史・東聡志 (2010) 「新潟県における緑肥作物「ヘアリーベッチ」鋤込みが水稻の生育と収量に及ぼす影響」 *北陸作物学会報* 45: 46-49
- 佐藤孝「優良ヘアリーベッチ根粒菌の分離と接種効果」(2008) 農業技術体系 土壌施肥編 第1巻 土壌の働きと根圏環境 (IV 根と根圏微生物-有用微生物の有効利用技術-2. 養分吸収向上等の利用) 土壌と根圏IV 166-2~7
- 青木宏史 (1995) 「野菜の品質と栽培条件」、『野菜・果実・花きの高品質化ハンドブック』、養賢堂、12-24
- 中野明正 (2009) 「現代有機農業論 生産者と生活者をつなぐ循環の仕組み 第5回 有機農産物の品質」、タキイ最前線、秋号 69-74
- 中央農研成果情報「土壌懸濁液の炭素源資化反応に着目した土壌の微生物性迅速評価手法」((独)中央農研生産支援システム研究チーム)
- 岐阜県研究成果情報「鶏糞堆肥の窒素無機化量の推定技術」(岐阜県農業技術研究所)
- 東北農業研究 27(1980)ハウス土壌の塩類集積対策第一報緑肥作物による塩基の収奪について(宮

城県園芸試験場)

三重県主要作物の施肥基準 2005 年版参考資料「各種有機物の窒素発現特性」

土壤肥料用語事典 (農文協)

農業技術体系土壤肥料編 (農文協)

有機農業技術の現状と適用条件に関する調査結果 ((財)日本農業研究所、(財)日本土壤協会、平成 21 年)

堆肥連用による土壤環境の変化と作物生育 ((財)日本土壤協会、平成 21 年)

秋友勝「ホウ素の欠乏症と過剰症」(2003) 農業技術体系土壤施肥編 第 4 巻 土壤診断・生育診断 (診断の実際－生理障害の診断－各種生理障害の診断と対策) 実際 357～358-3 ページ

幸田浩俊「野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究 第 1 報地下水位と作物の生育・収量 (作土層の水分吸引圧・気相率、および土壤養分の動態との関係)」(1983). 茨城県農試研究報告. 22. p25-64.

単行本 - 2010/4

藤原俊六郎・小川吉雄・加藤哲郎・安西徹郎「新版 土壤肥料用語事典」(2010) 農山漁村文化協会

安田典夫「土壤 pH (診断の基本)」(1998) 農業技術体系 土壤施肥編 第 4 巻 土壤診断・生育診断 (診断の基本－調査・分析項目の意味と診断) 基本 105～110 ページ

「土づくりと作物生産」(2014) (一財)日本土壤協会

本資料の複製、転載及び引用は、(一財)日本土壌協会の
了承を得た上で行って下さい(個人的な利用の場合は除く)。

有機農業支援事業・有機農業栽培技術体型化促進対策
有機農業営農ビジョン構築支援事業報告書

有機農業の基礎知識 [土づくりと施肥管理]

平成 27 年 3 月 印刷・発行

編集・発行 一般財団法人 日本土壌協会
東京都千代田区神田神保町 1-58 パピロスビル 6 階
TEL 03-3292-7281 FAX 03-3219-1646