

1 土づくり関係

1) 家畜ふん堆肥

(1) 家畜ふん堆肥作りの基本

家畜ふん堆肥作りとは、堆肥原料中の好気性微生物が活発に活動し、原料中の有機物を分解できる環境を作ることである。その環境作りには、以下の6つの条件が必要である。

- ① 十分な好気性微生物が存在している
- ② 微生物が活動するための有機物が存在する
- ③ 空気(酸素)が十分にある
- ④ 適度な水分がある
- ⑤ 発酵熱により温度が上昇する
- ⑥ 有機物の分解に必要な時間を確保している

①②に関しては、通常特に手を加えなくても満たされていると考えてよい。

③の空気(酸素)については、家畜ふんを堆積・放置しただけでは短時間のうちに酸素不足になるため、堆肥化前に水分調整(55~70%程度に調整)をして通気性を改善しなければならない。また、堆積後も攪拌や切返し、もしくは強制通気を行い、家畜ふんにまんべんなく空気(酸素)を供給し、均一な発酵を促す必要がある。

④の水分については、過剰であると通気性が悪くなり、乾燥し過ぎても微生物が活動できなくなるため、注意が必要である。

⑤の発酵熱は、好気性微生物が有機物を分解することで発生する。堆肥原料中の病原菌や雑草の種子を死滅させるには、60℃以上を数日間維持しなければならないため、温度管理が重要である。

⑥の処理期間は、原料ふんの性状や、副資材および堆肥化方式の違いによって有機物の分解の進行度は異なるため、その特定は難しいが、完熟堆肥を生産するには、堆肥原料中の易分解性有機物をすべて分解させるのが望ましい。このため、数ヶ月程度の期間を確保すべきである。

これらの条件を踏まえて、腐熟度の高い、良質な家畜ふん堆肥を生産することが求められる。

(2) 具体的な堆肥化作業

① 堆肥化を行うための前処理(通気性の確保)

堆肥原料である家畜ふんは表1に示すとおり水分が高いため、堆肥中の空隙(隙間)が少なく、通気性が悪いことから、好気性微生物が必要な空気(酸素)が確保できない。発酵を促すには、家畜ふんの水分を少なくして通気性を確保し、堆肥内に空気(酸素)を十分供給する必要がある。家畜ふんの水分を少なくする方法は、

水分の少ない材料
〔副資材〕ないし
〔水分調整材〕と

	水分	全炭素	全窒素	リン酸	カリ	石灰	苦土
牛	80.1	34.6	2.19	1.78	1.76	1.70	0.83
豚	69.4	41.3	3.61	5.54	1.49	4.11	1.56
採卵鶏	63.7	34.7	6.18	5.19	3.10	10.90	1.44
ブロイラー	40.4	-	4.00	2.97	2.97	1.60	0.77

いう) (「副資材」ないし「水分調整材」という) を一緒に混合する方法や、ビニールハウス等で予備的に乾燥させる方法がある。

副資材は、吸水性・保水性に富み、原料ふんと混合した場合にその通気性を高められることが必要である。表 2 に代表的な副資材とその特徴を示す。また、表 3 に示すとおり、副資材の成分は家畜ふん成分(表 1)に比べて、乾物中の全窒素やミネラル含有量が少ない。作物によ

表2 主な副資材の特徴

副資材	利点	欠点
稲わら 麦わら	・通気性改善効果大 ・分解が比較的容易	・収集時期が限定される ・収集に労力がかかる ・堆肥化施設によっては細断が必要
モミガラ	・通気性改善効果大(未粉碎) ・粉碎することで吸水性大	・分解が比較的困難 ・粉碎には機械等の設備が必要 ・未粉碎だと吸水性が少ない ・粉碎により通気性改善効果小
オガクズ パーク	・吸水効果大 ・通気性改善効果あり ・臭気の吸収能力が高い	・入手が次第に困難 ・分解が困難 ・作物の生育阻害物質を含むものもある
戻し堆肥	・低水分だと通気性改善効果大 ・低水分だと吸水性大 ・確保が比較的容易	・高水分だと通気性改善効果小 ・堆肥成分が濃縮される

っては窒素分およびミネラルの肥料成分の少ない堆肥が好まれる場合もあるので、これら副資材を混合することで肥料成分が少ない堆肥作りも可能である。

表3 副資材の成分含量(%) (成分は乾物中)

	水分	全炭素	全窒素	C/N比	リン酸	カリ	石灰	苦土
稲わら	10.0	38.0	0.49	77	0.17	1.88	0.51	0.14
大麦わら	10.0	45.2	0.49	98	0.21	2.18	0.50	0.16
小麦わら	10.0	41.2	0.32	129	0.18	1.76	0.36	0.10
モミガラ	10.0	34.6	0.36	96	0.16	0.39	0.04	0.04
オガクズ	30.0	47.1	0.06	785	0.02	0.13	1.70	0.03

通気性の発現する水分含率は、表 4 に示すとおり、原料ふんの畜種や混合する副資材の種類により異なる。しかし、いずれの混合物も比重が 0.7 (容積重 700kg/m³) 以下になることで活発な堆肥化発酵がスタートすることから、比重調整が堆肥化発酵開始において重要である。この比重調整を、現場にて簡易に測定する方法として、10L バケツを用いた方法がある。具体的には、10L のバケツに堆肥原料を入れ (力を入れて詰まさないよう注意)、バケツ重量を差し引いた重さが 6.5kg 程度(バケツ測定では圧密が少ないため)になるよう混合、調整する方法を取る。

表4 堆肥化発酵スタート時の水分

畜種	副資材無使用	戻し堆肥混合	オガクズ混合	モミガラ混合
牛	65%以下	68%以下	72%以下	75%以下
豚・鶏	55%以下	58%以下	62%以下	65%以下

注①上記水分の容積重は、いずれも700kg/m³と設定する。
②畜種や副資材が2種以上の場合は混合率を換算し、その水分率を推察して設定する。

② 堆肥化方式

堆肥化方式は表 5 のように分類でき、大きく分けて、攪拌装置がない場合(堆積方式) と、攪拌装置を備えた場合(攪拌方式) とがある。

堆積方式は、施設構造が簡単で、攪拌装置がないためショベルローダー等を用いて切返しを行う必要がある。堆積方式のうち通気装置のない堆肥舎は、施設の設置経費や運転経費が他の方式と比べて少ないが、切返しを繰

り返す必要があるため労力が多い。また、通気性の確保が切返しによるもののみであるため、堆肥化期間が長くなるとともに、設置施設に広い面積が必要であるという短所がある。一方、通気装置を設置した堆肥舎は、設置経費、運転経費が若干かかるが、強制通気により通気性が確保され、堆肥化期間がやや短縮されるため、通気装置がない堆肥舎と比べて小さい施設面積での処理が可能である。

攪拌方式は、上部が開放された発酵槽に攪拌機が設置されている開放式と、密閉された発酵槽の中に攪拌機と通気装置が備えられた密閉式があり、1次処理として堆肥を数日~1ヶ月程度攪拌処理し、その後、2次処理として堆肥舎で堆積するという方法が多くみられる。攪拌機にはスクープ式、ロータリー式等があり、毎日1~2回運転し、堆肥の攪拌と移送を繰り返す。開放式の長所は、堆積方式と比較して労力が少なく、好气的条件の確保が容易なため発酵が安定して早く進行し、堆肥の品質が均一になりやすいことである。しかし、施設の設置経費、運転経費が大きく、また、石等の異物の混入による機械の破損が生じやすい短所がある。密閉方式は堆肥化に要する労力が少なく、開放式以上に発酵の進行が早い。そして、必要な施設面積も小さくて済むという長所がある。しかし、開放式と同様に設置経費、運転経費が大きく、機械の破損が生じやすいことに加え、装置の負荷軽減のために堆肥原料の水分量を予め十分低下させてから発酵槽に投入する必要がある。

表5 主な堆肥化施設・機械の特徴と利用状況

		施設の特徴				経営別の利用状況						適用地域		
		労力	施設必要面積	施設・運転費	処理期間	畜種別				規模別		積雪寒冷地帯	その他地域	
						酪農	肉牛	養豚	養鶏	大・中	小			
堆積方式	堆肥舎	多	大	小	長	◎	◎	○	△	△	○	○	○	
	通気装置	無	多	中	中	○	○	○	○	○	○	○	○	
攪拌方式	開放式	ロータリー式	少	大	大	中短	○	△	○	○	○	△	△	○
		スクープ式	少	大	大	中短	○	○	○	○	○	△	△	○
	密閉式	横型	少	小	大	極短	×	×	△	◎	○	×	○	○
		縦型	少	小	大	極短	△	×	△	◎	○	×	○	○

注) ◎多く利用されている ○利用されている △一部で利用されている ×ほとんど利用されていない

③ 温度管理

堆肥は有機物の分解により、発酵熱が発生する。この発酵温度の推移により発酵の進行が推測されることから、堆肥化における温度管理は重要である。

堆肥は適切な前処理が行われていると、堆肥管理開始直後から数日で急激に発酵温度が上がり、60~70℃以上の高温状態が続く(高温分解期)。温度が下がってきても、微生物のエサとなる有機物(易分解性有機物)が残っている限り、攪拌・切返しによる空気(酸素)の供給や、適切な水分管理(水分40%以下になると微生物の活動が低下するので注意が必要)によって、再び高温状態になる。この攪拌・切返しによる温度の低下、上昇を繰り返しながら、全体として60℃以上の高温状態を数日~数週間続けるのが一般的である。堆肥中の病原菌や寄生虫、雑草の種子は60℃以上の高温が数日続くと死滅する

ことから、60℃以上の発酵温度を数日間継続して維持することが望ましい。

その後、堆肥全体がムラなく発酵し、有機物が減少するとともに、微生物の数や種類が変化していくことで、攪拌・切返しや適切な水分管理を行っても、温度の上昇がみられない状態となる。この状態になると、易分解性有機物は分解され尽くされ、完熟堆肥となる。

④ 空気(酸素)の供給

堆肥化は通気性が確保されている表面部分でのみ進行し、内部は空気が届きにくくなるため堆肥化は進まず、その状態が続くと、空気の届かない内部が嫌気発酵(腐敗)し始め、悪臭やフェノール類(生育阻害物質)が発生するため、攪拌や切返しによる空気(酸素)の供給が必要である。

攪拌・切返しは、堆肥原料をまんべんなく混ぜ合わせ、破碎することによって、内部を空気(酸素)に触れる表面部分へと作り直し、これを繰り返すことで原料がまんべんなく発酵、堆肥化する。

強制通気は運転経費が必要となるが、空気(酸素)にふれる表面部分が増すことから、発酵促進効果は高く、堆肥化期間の短縮に有効な手段である。適切な通気量は、堆肥舎や開放型攪拌方式では50~100L/分・m³(原則として24時間連続通気)で静圧200mm水柱程度の風量が、密閉型攪拌方式では200~300L/分・m³程度で静圧1,000mm水柱程度の風量が、それぞれ必要とされている。また、通気している場合でも、攪拌・切返しによって堆肥全体を空気に接触させなければ堆肥内部の堆肥化が進まないため、攪拌・切返しは必要である。

⑤ 堆肥化期間

堆肥の発酵熱が常温より高い場合は、微生物がまだ有機物を分解している証拠であることから、少なくとも切返し等を行っても発酵熱の上昇がみられなくなるまでは堆肥化をする必要がある。

また、単に堆肥化期間を長くすれば品質が向上するともいえない。適切な比重調整、切返し・攪拌等の堆肥化処理を行い、発酵熱を確認することで、腐熟度の高い堆肥生産が可能となる。堆肥化期間が長引くことで、施設の容量に問題が起きて非効率的な運営や、生産コストの上昇を招く恐れもあることから、各々の堆肥原料の性状に合った適切な処理が大事である。

(3) 腐熟度と障害、安全性

腐熟とは、有機資材中の易分解性有機物を好気性微生物の働きによって発酵熱を伴って分解し、施用しても土壌および作物に悪影響を及ぼすことがなくなるようにすることをいう。その到達目標に合致した時点を「完熟」と呼び、この「完熟」に到達するまでの腐熟の程度を「腐熟度」という。

未熟な堆肥の施用に伴う作物に対する障害は、混合する副資材の有無や種類、その割合によって大別される(表6)。また、これらの他にも畜種の飼料の影響によるミネラルの過剰や、土壌物理性の悪化、低い発酵温度による安全性の問題等がみられる。

また、戻し堆肥や乾燥ふんを用いた水分調整や、堆肥への尿汚水の散布によって、堆肥中の塩類濃度が高まり、他の施肥肥料とのバランスが崩れて、生育阻害

を起こす可能性も高まるので注意が必要である。

表6 家畜ふん堆肥施用による障害と腐熟

原料資材	副資材の 混合比	未熟による障害の原因		腐熟の目的
家畜ふんのみ	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・高濃度の無機態窒素 ・土壌の異常還元 		<ul style="list-style-type: none"> ・ふん中の易分解性有機物の分解
家畜ふん + 作物収穫残 渣	少	主	<ul style="list-style-type: none"> ・高濃度の無機態窒素 ・土壌の異常還元 	<ul style="list-style-type: none"> ・ふん中の易分解性有機物の分解
		副	<ul style="list-style-type: none"> ・作物収穫残渣中の生育阻害物質 	<ul style="list-style-type: none"> ・生育阻害物質の分解
家畜ふん + 木質物	多	<ul style="list-style-type: none"> ・窒素飢餓(C/N比が高い) ・作物収穫残渣中の生育阻害物質 ・土壌の異常還元 		<ul style="list-style-type: none"> ・C/N比の低下 ・生育阻害物質の分解 ・作物収穫残渣およびふん中の易分解性有機物の分解
		主	<ul style="list-style-type: none"> ・高濃度の無機態窒素 ・土壌の異常還元 	<ul style="list-style-type: none"> ・ふん中の易分解性有機物の分解
家畜ふん + 木質物	多	副	<ul style="list-style-type: none"> ・木質物中の生育阻害物質 	<ul style="list-style-type: none"> ・生育阻害物質の分解
		主	<ul style="list-style-type: none"> ・木質物中の生育阻害物質 	<ul style="list-style-type: none"> ・生育阻害物質の分解
家畜ふん + 木質物	多	副	<ul style="list-style-type: none"> ・窒素飢餓(C/N比が高い) ・土壌の異常還元 	<ul style="list-style-type: none"> ・C/N比の低下 ・木質物および家畜ふん中の易分解性有機物の分解
		主	<ul style="list-style-type: none"> ・高濃度の無機態窒素 ・土壌の異常還元 	<ul style="list-style-type: none"> ・ふん中の易分解性有機物の分解

① 家畜ふん堆肥施用による障害

ア. 土壌の異常還元

易分解性有機物が土壌中に大量に入ることにより、微生物が急激に増殖し、土壌中の酸素を消費して極度の還元（酸欠）状態になる。この結果、根に障害が起こり、また嫌気性微生物の働きによって生育阻害物質が生成され、作物に障害を与える。

イ. 窒素過剰

C/N比（全炭素と全窒素の比で、有機物の分解性を示す指標のひとつ）の低い堆肥を過剰施用した時に起きる。土壌中で急激に分解されることにより、無機態窒素（特にアンモニウム態窒素）濃度が高まり、作物根が濃度障害を起こす。また、土壌中のアンモニウム態窒素は硝酸態窒素に変化し、雨水によって容易に流されて地下水を汚染する。

ウ. 窒素飢餓

C/N比の高い堆肥を施用することで、微生物が増殖し、分解によって出てくる窒素のほとんどを菌体成分が合成するために取り込んでしまい、作物は窒素を吸収できず窒素欠乏症を起こす。

エ. 生育阻害物質

副資材として用いられる稲わらや麦稈には、フェノール酸が含まれており、オガクズやバークの木質物には、フェノール酸の他にタンニンや精油等の生育阻害物質が含まれている。また、堆肥化が適切に管理されずに嫌気発酵した場合、フェノール酸や低級脂肪酸が多量に生成される。これらの物質により、作物の生育が阻害されることがある。

オ. ミネラルの過剰による影響

豚や鶏の飼料には、成長促進等を目的に銅や亜鉛が添加されており、それらの堆肥の銅や亜鉛濃度が高くなる傾向がある。銅や亜鉛は作物に

とって必須ミネラルであるが、土壌に多量蓄積することで土壌汚染が心配される。このため、肥料の品質の確保等に関する法律により原物 1kg あたり銅 300mg 以上含む豚ふん堆肥および亜鉛 900mg 以上含む豚ふんや鶏ふん堆肥については含有量の表示が義務付けられているが、現在はあまり問題とはなっていない。

カ. 土壌物理性の悪化

水分の高い未熟堆肥を多量に施用した上から、トラクター等の大型機械を運行させると、土壌の圧密化が促進され、通気や排水が不良になる。また、オガクズを多用した堆肥を多量に施用した場合、土壌中の水分が上方に移動する作用により、干ばつの被害を受けやすくなる。

キ. 低い発酵温度による影響

堆肥の原料ふん中には病原菌、寄生虫の卵や雑草の種子が含まれており、注意が必要である。これらを死滅させるためには、発酵温度が 60~70℃程度を数日以上維持することが必要であるため、温度の管理により 60℃以上の高温状態の維持期間を把握することが望まれる。

ク. 塩類濃度の影響

堆肥の原料ふんには窒素、リン酸、カリ、苦土等の肥料成分となる無機塩類が含まれており、副資材として戻し堆肥や乾燥糞を繰り返し混合することや、尿汚水を堆肥に散布することにより、堆肥の塩類濃度が高まる。これら無機塩類は良質な肥料であるが、施肥の際に化学肥料中の無機塩類とのバランスが崩れることで、土壌に無機塩類が集積し、作物の生育阻害を起こす可能性があるため注意が必要である。また、塩類濃度を抑えた堆肥作りを目指すのであれば、副資材に作物収穫残渣や木質物等を用いることが望ましい。

(4) 腐熟度の評価法

堆肥の腐熟度の評価法は、これまで様々な手法が提案されているが、時間や技術を要するものが多い。そこで、現場で判断するための評価基準について表 7 に示した。しかし、今日の堆肥化の手法は副資材の種類や混合比、堆肥化方式等が多様になっており、外観のみからの判定は困難となっている。例えば、形状については副資材の種類によってその判断は異なってくる。以上の理由から外観のみによる判定は困難であるが、堆積中の最高温度、繰り返し回数、強制通気の有無等の堆肥化条件を加えて総合判断することで、ある程度の評価は可能となる。

表7 腐熟度評価基準

項目	状態区分	点数
形状	原物の形状をとどめる	2
	かなり崩れる	7
	ほとんど認めない	15
臭気	ふん尿臭強い	2
	ふん尿臭弱い	10
	堆肥臭(土の香り)	20
水分	強く握ると指の間から滴る(70%前後)	2
	強く握ると手の平にかなりつく(60%前後)	7
	強く握っても手の平にあまりつかない(50%前後)	15
堆積中の最高温度	50℃以下	2
	50~60℃	10
	60~70℃	15
	70℃以上	20
繰り返し回数	2回以下	2
	3~6回	10
	7回以上	20
強制通気	なし	0
	あり	10

注) 点数を合計し、未熟(30点以下)、中熟(31~80点)、完熟(81点以上)とする。

(5) 堆肥の品質基準

平成6年に全国農業協同組合中央会を事業主体として、家畜ふん堆肥について品質保全のための推奨基準が作成されている(表8)。

ここでいう家畜ふん堆肥とは、牛ふんと豚ふんを主原料とするもので、鶏ふん堆肥は除かれている。また、この基準は家畜ふん堆肥を有機質肥料とみなす場合のもので、窒素、リン酸、カリの三要素の含有率は1%以上と設定されている。しかし、1%以下のものは有機質肥料というより土壌改良材として捉えられ、決して品質が悪いというわけではない。

また、平成12年より堆肥等の品質表示が義務付けられ、表示事項は、肥料の名称・種類、主要な成分の含有量(窒素、リン酸、カリ等)、原料の名称(牛ふん、稲わら等)などとなっている。

表8 家畜ふん堆肥の品質基準

1. 品質表示を要する基準項目

基準項目	基準値(乾物あたり)
有機物	60%以上
炭素-窒素比(C/N比)	30以下
窒素(N)全量	1%以上
リン酸(P ₂ O ₅)全量	1%以上
カリ(K ₂ O)全量	1%以上

2. 品質表示を要しない基準項目

基準項目	基準値(乾物あたり)
水分	70%以下
電気伝導率(EC)	5mS/cm以下

付記: 本肥料の製造には、3ヶ月以上、数回の切返しを伴う堆肥化を行うことが望ましい

(6) 畜種別堆肥の特徴

畜種	乳用牛				肉用牛				豚				
	副資材(試料数)	なし(10)	戻し堆肥(2)	モミガラわら類(28)	オガクズパーク(59)	なし(17)	戻し堆肥(0)	モミガラわら類(15)	オガクズパーク(102)	なし(36)	戻し堆肥(4)	モミガラわら類(11)	オガクズパーク(15)
水分 (%)		56.3	32.4	54.0	53.6	56.7	-	47.0	52.9	28.3	28.7	28.7	41.3
pH		8.5	9.1	8.6	8.6	8.2	-	8.3	8.0	8.8	8.0	8.5	8.6
EC mS/cm		6.8	9.0	5.6	5.5	6.7	-	5.8	5.9	7.6	6.5	6.4	6.9
全窒素(N) (%)		2.8	3.9	2.1	2.2	2.8	-	2.2	2.2	4.4	4.4	3.5	3.2
全炭素(C) (%)		31.1	37.3	33.3	35.9	39.0	-	35.1	41.1	35.6	37.3	35.5	37.4
C/N比		10.8	9.8	17.0	17.0	14.6	-	16.3	19.6	8.7	8.9	11.1	12.6
リン酸(P ₂ O ₅) (%)		1.8	4.2	2.1	1.8	2.6	-	3.0	2.7	6.3	6.3	5.6	5.3
カリ(K ₂ O) (%)		3.0	5.5	2.7	2.8	2.7	-	3.1	2.8	2.9	2.3	3.2	2.9
マグネシウム(MgO) (%)		1.5	3.1	1.5	1.7	1.4	-	1.5	1.3	2.8	2.9	2.3	2.2
銅 (ppm)		38	117	44	51	40	-	22	29	282	376	205	218
亜鉛 (ppm)		173	552	163	172	169	-	157	151	699	1,156	546	576
養可分給含態量													
N (%)		0.3	0.4	0.1	0.1	0.3	-	0.2	0.2	0.7	0.6	0.6	0.4
P ₂ O ₅ (%)		1.5	3.3	1.6	1.4	2.1	-	2.4	2.2	5.0	5.1	4.5	4.2
K ₂ O (%)		2.7	4.9	2.5	2.5	2.4	-	2.8	2.5	2.6	2.1	2.8	2.7
培養無機態窒素 (%)		6.7	8.9	5.1	5.5	13.0	-	9.8	11.3	13.3	14.9	17.8	13.6
畜種	採卵鶏				ブロイラー								
副資材(試料数)	なし(77)	戻し堆肥(20)	モミガラわら類(6)	オガクズパーク(6)	なし(5)	戻し堆肥(1)	モミガラわら類(4)	オガクズパーク(11)					
水分 (%)	19.9	18.2	34.9	30.0	35.6	29.9	37.2	29.8					
pH	9.0	8.9	8.9	9.3	7.7	6.1	8.9	8.1					
EC mS/cm	8.1	8.0	6.5	8.4	9.5	11.8	8.2	8.4					
全窒素(N) (%)	3.1	3.0	2.2	2.4	4.2	5.0	3.3	3.9					
全炭素(C) (%)	25.6	25.6	25.3	26.7	35.9	40.1	30.9	39.7					
C/N比	8.5	8.9	12.2	11.6	9.3	8.0	9.6	10.4					
リン酸(P ₂ O ₅) (%)	6.4	6.6	5.3	7.0	4.1	3.6	6.2	3.9					
カリ(K ₂ O) (%)	3.7	3.9	3.3	3.8	3.4	4.1	4.3	3.8					
マグネシウム(MgO) (%)	2.2	2.5	1.8	2.5	2.3	2.0	2.4	1.7					
銅 (ppm)	60	58	62	63	72	65	96	63					
亜鉛 (ppm)	446	493	383	451	295	278	495	373					
養可分給含態量													
N (%)	0.8	0.6	0.4	0.4	0.6	1.0	0.1	0.7					
P ₂ O ₅ (%)	5.1	5.2	4.2	5.6	3.3	2.8	4.9	3.1					
K ₂ O (%)	3.4	3.5	3.0	3.4	3.1	3.7	3.9	3.4					
培養無機態窒素 (%)	21.6	18.3	20.0	16.1	10.5	19.7	0.8	16.4					

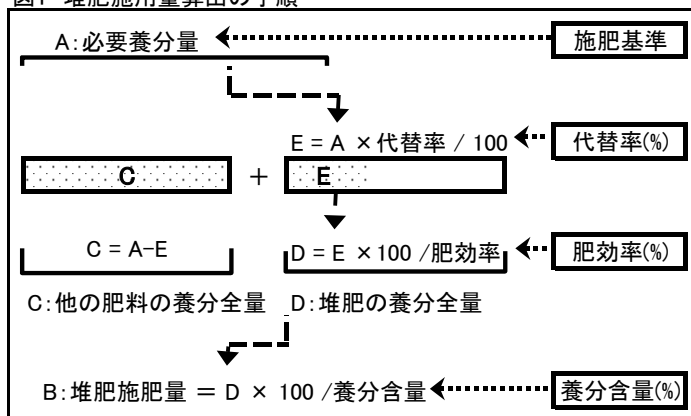
注1) 水分は原物中、それ以外は乾物中

注2) 可給態養分含量のNは全窒素と培養無機態窒素率から算出、P₂O₅とK₂Oは、それぞれ80%、90%とする文献値を用いて算出

(7) 家畜ふん堆肥の施用量の算出法

一般に、堆肥の施用量は農地 10a もしくは 1ha 当りに施用される原物重量で示されているが、堆肥の水分量や養分含有率は大きくばらついている。そのため、図 1 に示す手順で施用量を計算する必要がある。

図1 堆肥施用量算出の手順



① 必要養分量を求める (A)

各作物の三要素(窒素、リン酸、カリ)の必要量を、作物別施肥基準に準じて求める。また、土壌診断等により施肥量増減の指示がある場合にはそれに従う。

② 必要な養分量のうち、窒素について算出する (E)

ふん尿の代替可能率(牛ふん堆肥 30%、豚ふん堆肥・鶏ふん堆肥 60%)に準じ、堆肥で施用する窒素量を算出する。

③ 窒素量を基に施肥量を算出する (D)

化学肥料の肥効を 100 とした場合の堆肥肥料成分の肥効率(表 9)から、堆肥で施用する窒素量を算出し、使用する堆肥の現物あたり窒素含有率から施用堆肥量を算出する。

表9 家畜ふん堆肥に含まれる各肥料成分の肥効率(%)

畜種	全窒素濃度	窒素	リン酸	カリ
牛・豚ふん堆肥	0~2%未満	10	80	90
	2~4%未満	30	80	90
	4%以上	40	80	90
鶏ふん堆肥	0~2%未満	20	80	90
	2~4%未満	50	80	90
	4%以上	60	80	90

注) 堆肥の全窒素濃度は乾物あたり%

④ リン酸やカリ量の過不足を求め、補正する (D、C)

③で求めた施肥量で、表 9 を基にリン酸、カリ量について、施肥基準を超えないか確認する。施肥基準を超えた場合には、超過が大きい要素を基に施肥基準量の水準になるまで堆肥の量を削減する。その結果、不足するようになる成分については他の肥料で補い、最終的に施肥基準に示されている三要素の量とバランスを維持する。

※ 例：愛媛県における春まきハウレンソウ、目標収量 1,500kg/10a の場合、施肥基準は【窒素 20kg、リン酸 16kg、カリ 18kg/10a】

使用する堆肥は牛ふん堆肥とし、水分 50%、乾物あたりの三要素含有率を窒素 2.2%、リン酸 1.8%、カリ 2.8%とする。

窒素代替率は、 $20\text{kg} \times 0.3 = 6\text{kg}$

堆肥で施用する窒素量は、窒素濃度 2.2%のため、 $6\text{kg} \div 0.3 = 20\text{kg}$

窒素含有率からの施用堆肥量は、

窒素の現物あたり量 $2.2\% \times (1 - 0.5) = 1.1\%$

$20\text{kg} \div 0.011 \div 1,818\text{kg}/10\text{a}$

リン酸、カリ量と施肥基準を確認すると

リン酸の現物あたり量 $1.8\% \times (1-0.5) = 0.9\%$
 $1,818\text{kg} \times 0.009 \times 0.8 \div 13.1\text{kg} < 16\text{kg}$ 施肥基準量内
 カリの現物あたり量 $2.8\% \times (1-0.5) = 1.4\%$
 $1,818\text{kg} \times 0.014 \times 0.9 \div 22.9\text{kg} > 18\text{kg}$ 施肥基準量を超過
 カリで堆肥施用量を算出し直すと
 $18\text{kg} \div 0.9 \div 0.014 \div 1,429\text{kg}/10\text{a}$
 カリで求めた堆肥施用量より、窒素とリン酸の施用肥効量を求めると
 堆肥による施用窒素の肥効量 $1,429\text{kg} \times 0.011 \times 0.3 \div 4.72\text{kg}$
 堆肥による施用リン酸の肥効量 $1,429\text{kg} \times 0.009 \times 0.8 \div 10.29\text{kg}$
 化学肥料で施用する窒素とカリ量を求めると
 化学肥料で施用する窒素量 $20\text{kg} - 4.72\text{kg} = 15.28\text{kg}/10\text{a}$
 化学肥料で施用するリン酸量 $16\text{kg} - 10.29\text{kg} = 5.71\text{kg}/10\text{a}$

③ その他の配慮事項

堆肥等の施用量が決まった後、全窒素の合計量（総窒素量）を算出し、その総窒素量を施用した場合、浸透水中の硝酸態窒素濃度が基準値 10mg/L を超えるかどうか、作物によって窒素吸収量が異なるので作物別に検討することが必要である。

また、長期にわたり堆肥を連用した場合、銅・亜鉛等の重金属の還元量が土壌の環境基準や管理基準の指標値を超える恐れがないか検討し、必要な対策をとるべきである。

(8) 家畜ふん堆肥中の窒素の肥効と連用

堆肥中の窒素はその大部分が有機態成分として存在し、土壌中の微生物による分解に伴い無機態窒素となり、それが作物に利用される。

有機態成分の無機化は、温度・水分等の環境条件に影響されるとともに、堆肥の成分組成によって大きく異なり、この無機化の速さや、有機態成分の特性を知る目安として C/N 比がある(表 10)。C/N 比が 30 以上の堆肥では、土壌中に存在する無機態窒素を微生物が取り込む有機化が優先して起こり、その結果「窒素飢餓」を生ずる恐れがある。一方、C/N 比が 10 以下では、施用当初から窒素の無機化が多いとされる。

家畜ふん堆肥を施用した年に分解されずに残った窒素は、翌年以降に無機化する残効となる。そして、同じ量の堆肥を毎年連用すると残効が蓄積される。表

表10 堆肥等有機物の分解特性と施用効果

区分	初年目の分解特徴		主な有機物	施用効果			連用による N吸収増加
	C, Nの分解速度	C/N比		肥料的	肥沃度増	有機物集積	
N 放 出 群	速やか(年60~80%)	10前後	乾燥鶏ふん、野菜残渣など	大	小	小	小
	中速(年40~60%)	10~20	乾燥牛ふん、豚ふんなど	中	中	中	大
	ゆっくり(年20~40%)	10~20	通常の中~完熟堆肥	中~小	大	大	中
	非常にゆっくり(年0~20%)	20~30	パーク堆肥など	小	中	大	小
N 取 込 群	C 速やか(年60~80%) N 取込み	50~120	わら類	初 マイナス 後 中	大	中	中
	C 中速~ゆっくり(年20~60%) N ±0または取込み	20~140	未熟堆肥、水稻根など	初 小 後 中	中	中	小~中
	C 非常にゆっくり(年0~20%) N 取込み	200以上	オガクズなど	マイナス	小	中	マイナス~小

10 に示すとおり、鶏ふんは分解が速やかで 1 年目に施肥量の 80% 近くの窒素が無機化される。しかし、C/N 比のやや大きい牛ふんは 1 年目では 40% 前後しか無機化されず、2 年目以降に残りの窒素が徐々に無機化し、持続的に窒素の効果が現れる。この無機化は原料ふんより、堆肥化することによって穏やかに進む。また、堆肥の種類によって、連用初期には分解の速さに大きな差があるが、年数が経過するとともにその差が次第に小さくなり、50 年を経過するといずれの堆肥においても毎年添加する窒素の 80~90% 程度に相当する窒素が無機化される。ただし、表 10 で示した値は、堆肥原料・副資材の質とその組合せ、堆肥化条件によりばらつく値であるので留意が必要である。

このように、堆肥を用いた土づくりにおいては、堆肥の連用による残効の影響も考慮して施肥する必要がある。

参考文献等

- 1) 農林水産技術会議事務局 (2004) : 家畜ふん堆肥の品質評価・利用マニュアル
- 2) 財団法人 畜産環境整備機構 (2005) : たい肥作りの手引き
- 3) 畜産環境整備機構など (2001) : たい肥施用コーディネータ養成研修テキスト
(2)
- 4) 財団法人 日本緑化センター (2002) : 家畜ふん堆肥利活用促進マニュアル
- 5) 財団法人 畜産環境整備機構 (2007) : 家畜ふん堆肥の肥効を取り入れた堆肥成分表と利用法
- 6) 財団法人 畜産環境整備機構 (2010) : 畜産環境アドバイザー研修基礎技術コース (堆肥化処理・利用技術)

2) 緑肥

レンゲなどの植物を堆肥化することなく圃場に施用して、土壌の肥沃化を図る方法は、化学肥料の入手困難であった戦前当時から広く行われていた。肥料としての効果が高く、化学肥料や有機質肥料の代替となるため、緑肥（りょくひ）と称されている。今日、緑肥として用いられている作物（緑肥作物）の種類は多く、その効果も様々である。これらを列挙すると次のとおりである。土壌の肥沃化（肥料効果の高いマメ科植物）、土壌の物理性改善（土壌団粒化促進効果の高いイネ科植物）、土壌の生物性改善（センチュウ被害防止効果等の高い植物）、雑草抑制（果樹園の草生栽培）および花の咲く景観植物等である。また、山野草も緑肥となる。野菜くずも緑肥となるが、病虫害の発生を抑える観点からは堆肥化して用いる方がよい。緑肥作物における種類別の栽培期間等は下表のとおりである。

種類	栽培期間	播種量 (kg/10a)	施肥窒素量 (kg/10a)	生草量 (t/10a)	炭素率 (C/N)
レンゲ	9(上)～5(上)	3	0	4.1	21
クロタリア	6(上)～9(上)	8	0	4.0	19
青刈ダイズ	6(上)～8(下)	6	0	3.5	15
青刈トウモロコシ	6(中)～9(上)	5	15	3.7	41
イタリアンライグラス	9(上)～5(中)	3	5	5.7	50
ソルゴー	6(中)～9(上)	3	10	4.0	70

緑肥作物の栽培に当たっては、一般的にロータリー耕の後、所定量の種子を圃場全体に散播する。播種量が少ない場合は乾いた砂や肥と混ぜて、散粒器や手蒔きによって実施する。播種後、種子と土壌を軽く（浅く）攪拌し、覆土すると発芽率が良くなる。本稿では水田において肥料代替効果の高い、レンゲすき込みについて詳解する。

① レンゲの栽培方法

愛媛県におけるレンゲの播種適期は9～10月である。10a当たり3kgの種子を水稻収穫前の落水期に水田全面に散播するか、収穫後に耕起した後に播種し、軽く上土を攪拌するとよい。水稻収穫後に発芽したレンゲは、晩秋期の温度低下に伴って生育が停止するが翌年春季の温度上昇によって旺盛に生育し、4月に開花、5月に種子が充実するとともに、茎葉が徐々に枯死してくる。レンゲはマメ科植物であり、根と共生している根粒菌の空中窒素の固定により、窒素肥料の施用を必要としない。根粒菌はリンを固定できないため、リン酸肥料を施用するとレンゲの収穫量は増すが、通常の水田においてはリン酸が不足していることは少ないので、リン酸を無施肥としても、10a当たり生草重で4～5t程度の生育が見込める。レンゲの種子は自然発芽が旺盛であり、播種翌年の水稻収穫前の落水時から再び発芽してくる。した

がって、レンゲのすき込み時期や水稻の水管理の工夫により、次年度以降の播種を省略できるが、秋季に発芽量が少な過ぎる場合は再播種する必要がある。

② レンゲの利用方法

レンゲの利用は乾田において実施する。湿田ではレンゲの分解が順調に進まないばかりか、土壌の異常な還元状態等により、水稻の根に障害を与える危険性が高い。レンゲのすき込み適期は、レンゲの窒素含量が最も多く、施肥窒素量が多くなる開花期と言われてきたが種々の要因で制約されることもある。レンゲのすき込み量は10a 当たり 3~4t 程度でよいと考えられるが、水稻の品種や水田の透水性、地温の推移状態等によって異なり、温度はレンゲの生育の早晩を決定する。レンゲの収量もこれらの条件により地域差や年度間差が生じる。したがって、実際のレンゲ施用に際しては、田植え時期とすき込み量により、すき込み時期を決定する方がよい。また、レンゲすき込みにおいて重要なことは、すき込み量により入水までの間隔を調節することであり、10a 当たり 3~4t のレンゲを施用する場合は、すき込み 3 週間後に入水する。これよりレンゲの量が多い場合は、余分なレンゲを田外に持ち出し、他の水田に施用するとよい。施用できる田や労力上の制約があり、レンゲをそのまま元の水田にすき込む場合は、入水までの間隔を長くし、4 週間程度の間隔を取る必要がある。すき込み量が少ない場合（10a 当たり 3t 以下）は、入水までの間隔を 2 週間程度とする方がよい。レンゲすき込みから入水までの適正な期間は、ほかの条件（稲の倒伏性、水田の透水性、地温）もある程度絡んでくるので、農家自ら自分の水田にあった最適期間を見つけ出していく心構えが必要である。普通期栽培で 6 月上・中旬に田植えを行う場合は、レンゲの種子が充実した時期にすき込みができる。レンゲ栽培における中干しの効果は研究報告によって異なっているが、中干しを行うとレンゲの自然発芽が生じ、その後の入水により枯死してしまう。種子の充実を待ってレンゲをすき込み、中干しを軽めか廃止した場合は、水稻の収穫期にレンゲが自然発芽してくるため、次年度からレンゲを播種する必要がなくなる。経費削減の観点からは、レンゲ栽培に労力と費用をかけずに、レンゲの生産費をゼロにすべきである。

水稻栽培においてレンゲを利用する場合、基肥の施用は行わないが、穂肥は本県施肥基準並に施用するのが原則である。過去においては、レンゲすき込みに関する報告の中に、基肥に化学肥料あるいは有機質肥料の施用を行うものもあった。しかしながら、レンゲすき込み技術は発展しており、基肥無施用はもとより、穂肥の削減あるいは省略が可能と考えられている。

③ レンゲの肥効

レンゲは乾物量で 3%程度の窒素を含有している。10a 当たりレンゲの茎葉重（生草重）で 3~4t すき込んだ場合、水田にすき込まれる窒素量は 10~15kg 程度となる。西南暖地においては地上部の 30%程度の根量がある。したがって、レンゲによって持ち込まれる窒素量は更に多くなる。愛媛県施肥基準による水稻の窒素施用量

は 10a 当たり 8kg（品種：ヒノヒカリ、目標収量：540～600kg/10a）であり、この量を基肥と穂肥としてほぼ半々に分けて施用しているが、レンゲすき込みにより供給される窒素量は十分である。田植え後から中干し期直前までの作土の水の無機態窒素含量（アンモニア態窒素）の推移状況を見ると、レンゲすき込み区の方が、化学肥料を用いた区より高くなる。しかも、レンゲすき込み区のほうが、化学肥料区より 1 週間程度長く無機態窒素が水の中に残っている（平成 7～8 年度愛媛農試調査、データ省略）。

レンゲを土壌中にすき込むと、微生物による分解が速やかに進む。畑状態においては、レンゲに含まれる有機体窒素が分解され、アンモニア態窒素を経て硝酸態窒素となる。硝酸態窒素は水に溶解やすく、土壌の保持力も弱いため、入水にとまらないう地下浸透によって失われる。従来、レンゲすき込み後、1か月にわたって入水していたが、これでは窒素の損失が大きすぎる。一方、入水までの期間が短すぎると、未分解のレンゲが多くなり、田植え後の急激な分解により、水稻の根に障害を与える危険性が高くなる。すき込み量によって入水までの期間が変わるのはこのためである。

平成6～8年（愛媛農試）に実施した試験では、レンゲすき込みだけで慣行栽培と同等の収量を得た。また、レンゲすき込み区においては穂肥を施用しないため、玄米の窒素含量が慣行栽培（化学肥料区）よりも少なくなった。食味向上の観点からは玄米タンパク含量は少ないことが良いとされており、レンゲ栽培米のメリットになるものと考えられる。レンゲを緑肥として利用する場合は、レンゲによって水田に持ち込まれる窒素量とその持続時間（長くすること）が重要と考え、レンゲ種子が充実する時期を待ってすき込んだ。レンゲの播種は初年度のみとし、それ以降レンゲにかかる経費はなかった。レンゲの導入に際しては水稻の生育状況をよく観察し、経験を積み重ねることが大切と考えられる。なお、レンゲを連年すき込んでいると土壌が肥えてくるので、水稻の生育状況によっては、土壌診断を活用しながら、3年目からすき込み量を減じていくのが得策である。

3) その他の堆肥

動植物質の有機質物を腐熟させることなく、そのまま作物に施用する場合、それらの資材は有機質肥料あるいは緑肥と呼ばれる。窒素を多く含む魚かすや、植物油かす類およびマメ科植物はそのまま肥料として用いられることも多い。しかし、窒素含量が少なく、炭素含量の多い粗大有機物等をそのまま大量に施用すると、土壌微生物の繁殖のため、土壌中の無機態窒素（アンモニア態窒素および硝酸態窒素）が使われ、農作物に利用できない有機体窒素に変えられ窒素飢餓を生じる。この弊害をなくすために、炭素率（炭素含量/窒素含量、C/N比）20を超える素材は堆肥化して施用する。堆肥の素材としては、稲わら、麦わら、籾殻、ダイズ殻、落ち葉、山野草、樹木の剪定くず等、身近にあるものが使える。完熟した堆肥は炭素率が20以下となっており、土壌中に大量に施用しても窒素飢餓を生じる危険性がない（ただし、未熟堆肥は危険）。

①堆肥の作り方

風乾物の窒素含量は、稲わら 0.6%、麦わら 0.5%程度である。両者ともに炭素率が高く、稲わら 50~60、麦わら 60~80である。ダイズ殻(茎葉)は窒素含有率1%、炭素率も50程度であるため、わら類に比べて優良な堆肥が生産できる。落ち葉は炭素率 50~70である。これらの有機質資材は炭素率が高いため単独の堆肥化には長期間を必要とする。半年程度で堆肥化を完了するには、堆肥作りにおける原則がある。炭素率の高い資材には窒素を添加し炭素率を40程度に調整することにより、資材を分解する微生物の繁殖を促進できる。堆肥化に関わる微生物は数多くあり、これらの微生物の繁殖を促進するために、水分の補給と空気量の調節(ふみ込み)は重要な作業である。また、均質な堆肥の作成と適正な温度管理による堆肥の腐熟促進のため、繰り返し作業を実施する。これらの事柄に配慮しながら、身近な所にある有機質資材を用いた堆肥作りが可能である。堆肥化に際して、窒素供給源として硫酸、石灰窒素、尿素等の化学肥料が用いられる。有機農法の観点からは化学肥料を用いることができないため、昔から行われている、窒素供給源として家畜糞尿を添加する方法を記述する。

(わら類)

仮積み：収穫後の稲わらを同量の牛ふんと混ぜて1か月程度積んでおく。

本積み：木枠を利用し、稲わらと牛糞を交互に積んでゆく方法である。枠内の最下層は厚さ20cm程度に土を盛り、堆肥からしみ出る汁液を吸い取らせる。その上に仮積み堆積物と新鮮な牛糞(半々)を10~15cmの厚さに積み、さらに、その上に稲わらを30cmくらい積み込む。この作業を2m程度まで繰り返し積み上げてゆく(下図)。

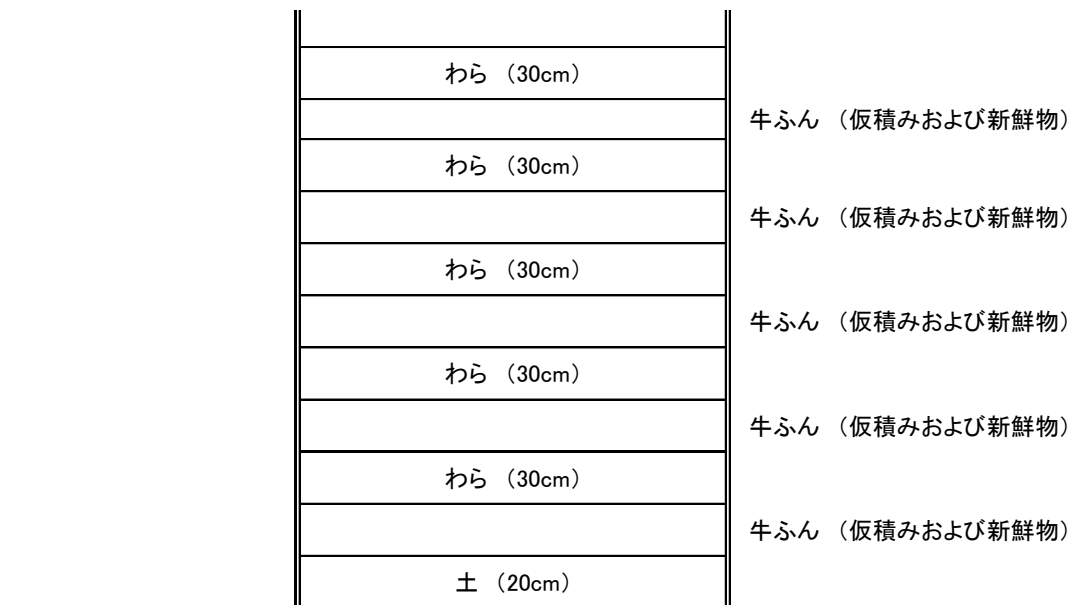


図 稲わら堆肥の積み込み方法

一層毎に資材から少ししみ出る程度に水をかけて踏み込む。最上部はムシロなどで覆っておく。

繰り返し：1週間程度で発熱してくる。水をかけて温度の上がり過ぎを抑えて、

窒素の揮発による損失を防ぐ。1週間くらい発熱が続き、その後に温度が低下してきた所で切り返しを行う。切り返しによって好気性菌の働きがふたたび活発になる。1週間後に発熱してくるので、堆積物からしみ出る程度に水をかける。発熱後1週間ほどで温度が下がり安定する。3～4か月後に完熟堆肥ができあがる。

本県においては1950年代まで、使役用に牛を1頭飼う農家が多かった。稲わらは畜舎内で敷料として用いられ、数週間に一度搬出された。畜舎から搬出された稲わら（麦わら）と糞尿の混和物と籾がらを、交互に層状に堆積して行くと優良な堆肥ができあがった。堆積物は木枠を用いることは少なかったが崩れることはなかった。麦わらは稲わらより炭素率が高く、稲わらに比べて堆肥化に時間を要するが、稲わらに準じた方法で堆肥化できる。一方、ダイズ殻は稲わらより炭素率が低く、堆肥化が容易であり、稲わらより窒素成分の観点から優良な堆肥が作られる。

わら類に乾燥鶏糞（N3～4%）や米ぬか（N0.5%）を添加し、炭素率を40にすることができる。緑肥は炭素率が15くらいであり、稲わらに半々に混ぜるとこれ以外に窒素源を加える必要がなくなる。山野草はわら類に比べて窒素含量が多く、堆積しておくで半年程度で堆肥化できる。庭木や街路樹の剪定くずは窒素源を添加すると容易に堆肥化する。また、枝葉のみの堆積で堆肥化が可能であるとの試験報告もある。

②堆肥作りの場所

堆肥作りは野積みで行わない。堆積物を降雨に当てると堆肥中の養分損失を招くばかりか、流失成分による環境負荷が懸念される。良質堆肥を作るためには、堆肥舎か簡易な雨よけ施設（農舎、ビニルハウス等）を用いる（下図）。



図 堆肥舎と堆肥作り(農水研)

屋外で堆肥を作る場合は地面をコンクリートで舗装し、堆肥から流れ出す汁液を収集する構造にするとともに、堆肥を防水シートで覆い、雨水の浸入を防ぐ必要がある。このような条件下において養分含量の高い、優良な堆肥が生産できる。

③堆肥の利用方法

窒素の大部分は有機体であるため速効性は期待できない。初年度には約30%だけしか作物に利用されないが、肥効は長続きする。リン酸含量は少ないが作物に利用

されやすく、リン酸が欠乏している圃場では効果が高い。加里は大部分が可溶性であり速効性がある。ケイ酸を多く含むため水稻に対する施用効果が高い。乾田では多量に施用できるが、湿田では還元状態が強いため少ない施用量にとどめる。畑地では作物の種類や土性によって施用量を加減する。増収と品質向上（特に糖度を重要視する温州ミカン等の果実類）の観点からは適正施用量が異なる。速効性の高い化学肥料と異なり、堆肥類は窒素量のコントロールが難しいためである。また、堆肥といえども過剰投入は環境負荷の原因となる。堆肥類の施用に際しては多くの要因が働くために、各県によって堆肥の施用基準量に差がみられる。これらの施肥基準は多くの場合、化学肥料と堆肥の併用を前提としている。有機栽培においては有機質肥料と堆肥の併用が合理的と考えられる。したがって、本県施肥基準における堆肥の適正施用量が有機栽培においても参考になると考えられる。

水田は半年近く水を張っており、畑地に比べて酸素の供給量が少なく、土壤有機物（腐植）の消耗は少ない。しかし、化学肥料だけで水稻を栽培していると地力の消耗は明らかである。特に、化学肥料による多肥栽培を行った場合に地力の消耗が大きくなる。土壤の理化学性や生物性によって消耗する腐植量は異なるが、平均として年間2%の消耗が見込める。作物の生育にとって好適な腐植含量は5%程度といわれている。仮比重を1として、地表から10cmの土壤の重量は10a当たり100t、腐植含量は5tとなる。その2%は100kgとなり、稲わら堆肥に換算して1t程度となる。愛媛県は西南暖地にあり、腐植の消耗は大きいと考えられる。したがって、地力増進あるいは地力維持の観点から、有機質肥料と併用して、10a当たり1t以上の稲わら堆肥を施用することが望ましい。なお、水田における堆肥の施用適期は春季の耕起時である。

堆肥は肥料に比べて施用量が多く、人力による堆肥散布は重労働である。今日、労働強度の軽減をねらいとしたペレット堆肥が開発されている。今後の試験研究結果が待たれるが、ペレット堆肥の特長は、平坦地はもとより傾斜地においても、機械化散布が可能である。家畜糞尿等をベースに窒素その他の養分含量の高い原料を配合しペレット化したものを利用し、施肥と堆肥散布を兼ねあわせた省力施肥が注目されている。

④堆肥の肥効

土壤の肥沃度の向上：庭先で作った堆肥は原料や作り方が異なるため、農家によって養分含量が異なるが、稲わら堆肥は通常窒素0.3%、リン酸0.2%、加里0.7%を含有する。堆肥は窒素、リン酸、加里等の3大要素をはじめ、各種の微量元素を含んでおり、「完全肥料」と言われている。化学肥料や有機質肥料に比べて、堆肥類の養分含有率は低いが、分解が穏やかで、徐々に養分を放出するため多量に施用することができる。したがって、長期に渡り優れた肥料効果が期待できる。堆肥を施用すると土壤腐植含量が高まる。砂質土に比べて粘土は保肥力が強いが、土壤腐植は粘土よりさらに保肥力が強い。したがって、砂質土においては、堆肥施用により保肥力が向上し、水稻はもとより野菜や果樹への好影響が期待できる。また、堆肥自体は硫酸根等の酸性物質を含まず、土壤を酸性化することが少ないうえに、土壤の緩衝能を高めるため、

土壌の酸性化を抑えることができる。土壌 pH は根による土壌養分の吸収を考える時、非常に大切なものであり、土壌pH(水浸出)は通常6ぐらいがよい。

土壌の物理性改善：堆肥を施用すると土壌の腐植含量が高まる。収量の観点からは5%程度の腐植含量が好ましいと考えられるが、愛媛県下において腐植含量5%を満たしている圃場は少ない。土壌腐植は土壌の粒子をつなぎ合わせて、団粒構造とする働きがある。土壌が団粒構造となると、養水分の補給と、過剰な水の排出（酸素補給）が速やかとなる。団粒構造の土は膨軟となり、植物根の伸張が容易となる。この働きは粘質土の改善において重要である。また、腐植の増加に伴って土壌が黒色を帯びてくるため、太陽熱の吸収が容易となる。春先の地温上昇が速やかとなり、春作野菜の基肥やカンキツ類の春肥の吸収率が高まる。

土壌の生物性改善：堆肥を施用すると土壌の有益な微生物やミミズなどの小動物が多くなる。化学肥料はもとより有機質肥料や緑肥も微生物の働きによって分解が進行する。有機体窒素は作土層が還元状態に保たれる水田ではアンモニア態窒素、酸素の供給される畑地や果樹園では硝酸態窒素となる。これらの働きに関与する細菌はアンモニア化成菌や硝酸菌である。土壌の酸性化が進行するとこれらの細菌数は減少する。

堆肥の効果はこれまで述べてきたとおりであるが、それぞれの項目が絡み合っ総合的に作用する場合が多い。化学肥料が普及する以前は、下肥や一部の有機質肥料とともに、堆肥が水稻その他の農作物の生産を担っていた。今後とも身近にある有機質資材を用い堆肥化を図り、安全な農業を実践したい。

4) ぼかし肥料

有機質肥料を多量に土壌に施用すると、急激な分解に伴う酸素欠乏（植物根の障害）や、有害物質の発生（発芽障害）、施設栽培に置けるアンモニアガス発生（ガス障害）の危険性がある。有機質肥料の分解は地温や土壌水分含量の影響を受けやすく、ハエなどの衛生害虫発生の恐れもある。ぼかし肥料はこのよう弊害を回避するために有機資材を熟成させた肥料であり、以前から農家によって作られていたが「ぼかし」は各肥料メーカーから市販されている。菜種油かすや米ぬか等を他の資材と混和し、適切な水分管理のもとで堆積し、乳酸菌や酵母菌の働きによって発酵させたものである。ぼかしに用いられる材料は下表のとおりである。これらの有機質肥料に等量の土や木炭を加え、混和しながら水をかける。この作業を繰り返して堆積してゆく。水分含量は 50～55% が適当であり、手で資材を握り固めて割れるぐらいがよい。防水シートかむしろをかけて堆積物の表面を覆う。資材を40～50℃で発酵させ、温度が50℃を超えた時の切り返しにより温度を下げる。温度が上がりすぎると、有用な微生物が死滅して、窒素の気散を生じて肥料価値を損なう。資材の温度を把握するため、表面から10cmの深さに温度計を差し込んで堆積物の温度を計ると便利である。

化学肥料を用いると、ぼかし肥料や有機質肥料に比べて、比較的安価に窒素成分を土壌に供給できる。しかし、施肥窒素量が多過ぎる場合は環境負荷の要因となりやすい。化学肥料の中には副成分として硫酸根を含んでいたり、土壌のカルシウムやマグネシウムの流亡を促進するものがある。その結果、土壌の酸性化が生じ、作

物の生育に悪影響を与えることがある。石灰類を施用して酸度改良を行うが、土壌 pH を適正に維持するには技術を要する。ぼかし肥料に使われる有機質肥料の保証成分含量を下表に示す。

表 ぼかし肥料に使われる有機質肥料の成分含量（保証成分量、%）

資材名	窒素	リン酸	加里
大豆油かす	6	1	1
米ぬか油かす	4.5	2	1
なたね油かす	2	4	1
わたみ油かす	5	1	1
ごま油かす	6	1	1
ひまし油かす	5	1	1
魚かす	4	3	-
肉かす粉末	6	-	-
肉骨粉	5	5	-
生骨粉	3	16	-
蒸製骨粉	1	17	-
蒸製皮革粉	6	-	-

ぼかし肥料は堆肥類に似た効果（化学性、物理性および生物性）があり、植物の根や環境に優しい肥料と言える。材料が有機質由来であり、粗大有機物を利用した堆肥に比べ窒素含量が多く、肥効が高い。堆肥類に比べ速効性であり、肥効は 100 日程度とされている。ぼかし肥料は有機質肥料のもつ生育阻害物質の分解とガス発生量の削減、養分のある程度の可溶化（初期の肥効を高める）、有機質肥料の分解に伴う中間生成物や微生物が分泌するアミノ酸、核酸、ビタミンおよびホルモンによる生理的効果が期待される。また、有機物の分解過程で増殖する有用微生物による生育促進や病原菌の増殖抑制効果もある。ぼかし肥料は経費的には高価な肥料であり、基肥や追肥として使用できるが、基肥では溝施用、追肥では局所施用として効率よく肥料成分を作物に吸収させることが重要である。各農作物に対する施肥量（施肥成分量）は本県施肥基準を参照する。

5) 有機質肥料の特徴

有機質肥料は動植物の一部、あるいは処理かすである。前述のとおり有機質肥料の欠点を改善したぼかし肥料の原料になる場合もあるが、大部分はそのまま利用される。有機質肥料は肥料の 5 大要素（N、P₂O₅、K₂O、CaO、MgO）以外に微量要素を含んでおり、肥効は比較的速効性のものから遅効性のものまで幅が広い。化学肥料に比べて根に穏やかに働き、濃度障害が起きにくい。土壌の化学性、物理性および生物性改善効果がぼかし肥料と同様に期待できる。また、肥効はぼかしに準じたものと考えられ

るが、有機質肥料の種類は多く、肥料成分も産地や肥培管理、処理方法によって様々である。窒素の無機加速度も材料の種類とともに、地温や水分含量の影響を受けて変わる。したがって、栽培する作物や、栽培体系および圃場条件等を考慮して、施用する必要がある。

植物質肥料としては多くは植物油かす類であり、動物質肥料としては魚かす類が多いが肉骨粉等もある。本稿では入手しやすい油かす類と魚かすについて説明する。

①油かす類

種子から油をしぼった残渣を総称して油かすと言い、菜種油かす、米ぬか油かす、大豆油かす、ワタ実油かす、ヒマ子油かす、ラッカセイ油かす、ゴマ油かす等である。各種油かすの成分量を下表に示す。

表 油かす類の成分

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	C	C/N
ダイズ油かす	6.95	1.49	2.46	0.44	0.15	32.74	4.7
ナタネ油かす	5.03	2.61	1.42	0.90	0.34	28.23	5.6
ヒマ子油かす	6.05	2.50	1.28	0.53	0.53	27.72	4.5
ワタ実油かす	6.25	2.95	1.94	0.30	0.36	28.47	4.5
米ぬか油かす	2.40	2.58	2.04	0.08	0.74	36.15	15.0

太平洋戦争以前は、魚かすとともに、販売肥料の主要なものであった。窒素が主要な成分であり、その形態は主としてタンパク態である。リン酸はフィチンの形態をしており、加里の大部分は水溶性である。油かす類の肥効発現の早さは種類の違いによる差が少なく、一般的に魚かす類より肥効の発現が遅い。条件が良ければ窒素の無機化は1か月で終了し、即効的な肥効の発現が期待できる。硫安の70%の窒素利用率と考えられる。リン酸は遅効性であり、リン酸含量そのものが少ないのでリン酸肥料としての効果は低い。加里は水溶性であり速効性であるが、含量がリン酸よりも少ない。したがって、リン酸および加里については両成分含量の高い、家畜糞尿や有機質肥料との併用が必要である。油かす類はわずかではあるがカルシウム、マグネシウムおよび微量元素を含んでおり、作物に好影響を与える。分解が比較的緩やかなので施肥量を多く必要とする施設栽培にも向いている。

有機栽培によって収穫された農作物は食味や外観品質（着色や日持ち）がよいといわれる。この事に関し低窒素濃度と低水分が相まって、収穫物の糖度やビタミン含有量を増すとする知見がある。土壌の低窒素濃度は環境保全上、有利なことと考えられるが、収量確保の観点からは減収に注意する必要がある。油かす類の施用において、野菜の外観と収量に与える影響に関する事例は下表のとおりである。

表 野菜の品質に及ぼす油かすの影響

(浅野ら、1982)

品目	品質項目	効果	要因
ナス	果実表面の褐変・硬化	+	窒素の遅効性
	がくの褐変・変色	+	窒素の遅効性
	貯蔵後の貫入応力	±	
キュウリ	日収穫本数の変動係数	+	窒素の遅効性
	曲がり果	+	窒素の遅効性
	形状不良果	+	窒素の遅効性
トマト	落下不良果	+	窒素の遅効性
	窪あき果	+	窒素の遅効性
キャベツ	芯腐れ症状	+	pHの上昇
ダイコン	す入り	+	窒素の遅効性
	貯蔵後の黒斑	+	窒素の遅効性
	貯蔵後の横しま	±	
	曲がり	-	
レタス	結球不良	+	窒素の遅効性

注) 良好となる場合は+、不良となる場合は-で示した。

②魚かす

イワシ、ニシン、タラ、雑魚等を原料としており、窒素7~10%、全リン酸4~9%、加里1%前後を含んだ物が多い(下表)。魚かすの分解は比較的速やかで速効性の化学肥料に近い肥効を現し、基肥および追肥としても適している。畑作物は通常、硝酸態窒素を好んで吸収する。魚かすから無機化したアンモニア態窒素の90%は2週間後に硝酸態窒素となるが、施用量が多すぎた場合は、硝化速度が遅くなり、農作物の品質低下を招くので施肥基準量を守る必要がある。魚かすは化学肥料に比べ団粒を形成する働きが強く、透水性の改善効果もある。また、魚かすを毎年、連用していると土壌が肥沃になってくる。水稻や小麦にいわしかすを施用すると、収量において数年間は化学肥料(硫安)にやや劣ったが、その後増収傾向となった事例がある。カンキツ類の夏肥に魚かすを施用する場合は、施用時期を化学肥料より1週間程度早くするとともに、施用過多を避け、窒素の遅効性を防止する。水田では魚かすの分解が畑状態より遅く、施肥過多や追肥時期により、倒伏が生じ易くなる。魚かすは種子の発芽抑制物質は含まれていないようであるが、一度に多量施用すると分解によって発生する有機酸による発芽や初期生育の阻害があると言われている。魚かすは保管時や表面施用に際してはカラスやネズミ等の鳥獣害に注意する必要がある。肥料養分の観点からは加里成分が少ないため、家畜糞尿の施用や他の有機質肥料による加里の補給を考える必要がある。

表 魚かす類の成分(%)

	N	P ₂ O ₅
イワシかす	9.1	4.1
ニシンかす	9.0	4.9
タラかす	8.6	9.3
雑魚かす	9.1	5.9

6) 果樹の土づくり

果樹が健全な樹勢と生産性を維持するためには「土づくり」が必要である。「土づくり」とは、根が伸びやすく、養水分を吸収しやすいように土壌の化学性や物理性を改善することである。本項では果樹園の土壌改良について解説する。

(1) 化学性の改善

① 土壌pHと樹体の反応

果樹に限らず作物の生育は、土壌のpH（酸・アルカリの程度）の影響を大きく受ける。土壌が酸性化するとカルシウム・マグネシウム・カリウムなどの塩基が少なくなり、逆に水溶性のマンガンが増加する。このため、カンキツ樹ではマグネシウムの欠乏症やマンガンの過剰症（図1）が発生することがあり、症状が進むと著しい落葉を引き起こす場合がある。土壌の酸性化は根群の伸長にも影響を及ぼし、酸性化が進むとともに細根量が減少する（図2）。また、pHが5以下になるとアルミニウムイオンが急激に増えてリン酸を固定（根が吸収できない状態）してしまうため、リンの肥効が低下することも知られている。このように、土壌の酸性化は根群の発達を妨げ、樹体内の栄養分の過不足を引き起こす要因となる。



図1 マグネシウム欠乏症（左）とマンガン過剰症（右）（山田原図）

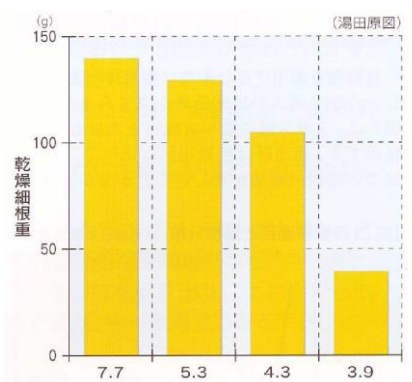


図2 土壌 pH とミカンの細根量

② pHの矯正方法

化学性の改善とは、土壌のpHを表1に示す各樹種の好適値内に入るように矯正することである。そのためには、土壌分析を行って自園の土壌pHの状態を把握することが必要になる。一般的な露地栽培の果樹園では、土壌がアルカリ化（pH7以上）していることは極めて稀であり、多くは酸性化傾向を示している。

酸性化した土壌を改善するには、石灰質資材を施用する。資材の施用量を正確に求めるためには緩衝曲線法を用いる。これは、対象となる土壌にアルカリ剤（水酸化ナトリウムなど）を数段階に分けて添加し、そのpHを測定して中和曲線を求め、矯正したい値までpHを上げるのに必要な石灰質資材の量を算出する方法である。この方法は土壌条件に応じた資材の施用量が得られるが、

表1 樹種別好適 pH

種類	好適 pH (H ₂ O)
カンキツ	5.5 ~ 6.3
ピワ	5.2 ~ 6.1
カキ	5.5 ~ 6.1
モモ	4.9 ~ 5.2
ブドウ	6.0 ~ 7.0
ナシ	5.2 ~ 6.1
キウイフルーツ	6.0 ~ 7.0
イチジク	6.5 ~ 7.0

（愛媛県施肥基準）

操作が煩雑である。

大まかな資材施用量の目安は表2のとおりである。これは苦土石灰の施用量を示したものであるため、実際に施用する資材に記載されているアルカリ分(度)に応じて量を加減する必要がある。表中の低CEC土壌とは、花崗岩・和泉砂岩などを母材とする地力の低い土壌、高CEC土壌は結晶片岩などを母材にする地力の高い土壌を示している。なお、石灰質資材は土壌の下層への移行が悪いため、施用後に土壌と混和することが望ましい。

表2 矯正苦土石灰量

pH (H ₂ O) の範囲	苦土石灰施用量 kg/10a	
	低CEC土壌	高CEC土壌
5.0 ~ 5.4	80	120
4.5 ~ 4.9	120	150
4.4 以下	160	200

(愛媛県施肥基準)

(2) 物理性の改善

① 有機物の投入

物理性の改善とは、土壌の通気性・透水性さらに保水性を良好にして根が伸びやすい土壌に改良することである。そのためには、土壌に堆肥などの有機物を入れて腐植を増やすことが基本となる。腐植は有機物が微生物などによって分解される過程で作られる物質で、土壌の微細な粒子同士を結び付ける糊の役割を果たす。このため、土壌の団粒化が進み通気性や保水性が良くなって土壌が膨軟になる。また、腐植は肥料成分を保持する力が強いため土の保肥力が向上するなど、化学性にも好影響を及ぼす作用がある。

労働性の悪い傾斜地果樹園における堆肥の施用は、地表面施用が精一杯で、土壌との混和作業を行うことは容易ではない。しかし、地表面への施用だけでも長年連用することによって、カンキツ樹の主根域層である25cm層(細根は大部分が0~30cm以内に分布)までCEC(保肥力の目安)の増大がみられ(図3)、細根量の増加が認められる(図4)。

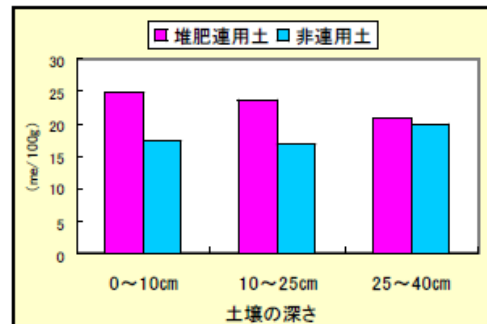


図3 堆肥の地表面施用とCEC (施用後9年目 岩本より作図)

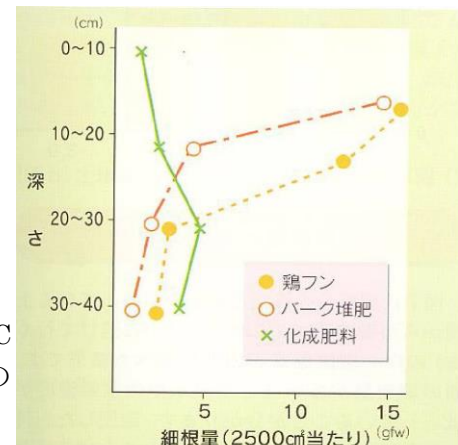


図4 有機物施用と細根分布 (施用後9年目 赤松ら)

② 有機物の施用量

土壌改良を目的として堆肥類を施用する場合の投入量は、表3を目安にする。例えば温州ミカン園を対象にオガクズ牛ふん堆肥を施用する際は2~3t/10a程

表3 堆肥類の施用量

項目	種類	オガクズ牛ふん堆肥	オガクズ豚ふん堆肥	乾燥鶏ふん
		窒素含有成分量	0.5%	1.0%
化学肥料に対する肥効率		30%	70%	100%
10a当たり施用量	温州ミカン	2~3t	1t	200~300kg
	中晩生カンキツ	3~4t	1~2t	250~350kg

(愛媛県施肥基準)

度にとどめる。落葉果樹の施用量は中晩生カンキツに準ずる。施用時期は収穫直後から春先までが望ましい。

③軽量の堆肥

本県で流通している一般の堆肥は水分率が 50% 前後あり、重量の割に体積が大きい。急傾斜地の多い本県では、かさばる堆肥の園内への搬入や施用に多大な労力を要している。このような状況の中、県内ではペレット化された堆肥が販売されており、省力化に有効である。堆肥ペレットは、重量約0.5g FW/個、直径6mm程度の円柱形であり、水分率が約15%

と少ない。このため、堆肥ペレットは一般堆肥より現物投入量を約40% 削減しても、一般堆肥と同程度の乾物投入量を得ることができる。また、ペ



図5 堆肥ペレット (左) とペレットの機械散布状況 (右)

レット状のため1～3樹列毎に園内作業道が整備されている園では機械散布も可能である (図5)。

④堆肥類の投入と施肥量削減

堆肥類は肥料成分の含有率こそ低いものの、土壌改良を目的として施用される場合は、その量が数 t/10a と多いため、園内に多量の堆肥由来の肥料成分が投入されることになる。堆肥類を施用した状態で通常量の施肥を行うと、園内には必要以上の肥料成分が投入されることから、堆肥類を施用した場合は、表4を参考に施肥量を削減することが妥当である。本表は堆肥を1 t 施用した場合における施肥成分の削減可能量の目安を示している。

表4 堆肥等1t当たりの減肥量

種類	減 肥 量 (kg/10a)					
	窒素		りん酸		加里	
	非連用	連用	非連用	連用	非連用	連用
牛ふんたい肥	1.0	2.9	8.8	11.7	12.3	13.7
豚ふんたい肥	7.5	15.0	31.7	40.8	21.1	23.4
パークたい肥	0.8	2.3	8.5	11.4	6.4	7.1
鶏ふんたい肥	9.8	17.2	39.0	43.9	26.1	29.0
乾燥鶏ふん	26.8	35.8	40.0	45.0	28.9	32.1

愛媛県原油・資材高騰対策推進班編、肥料高騰対策マニュアル

ける施肥成分の削減可能量の目安を示している。

⑤改植 (新植) 時の土壌改良

深耕は機械を利用できない場合、多大な時間と労力を要し、しかもカンキツ類などの密生した成木園ではかなり実施しにくい作業である。また、植栽樹の真下の土壌改良を行うことは不可能である。このため、下層土の土壌改良は、実施しやすい改植時に行う方が効率的である。植穴は図6の例のように、40～50cm程度掘り、下層にせん定クズやワラ・刈草等の粗大有機物を入れ、堆肥類や石灰などの土壌改良材と土壌をよく混和してから定植する。植穴の直径は広い程よい。定植前に一度深耕と深い土層への有機物投入を行えば、その効果は長期間継続し、樹体生育が良好になって収量も増加することが知られている。

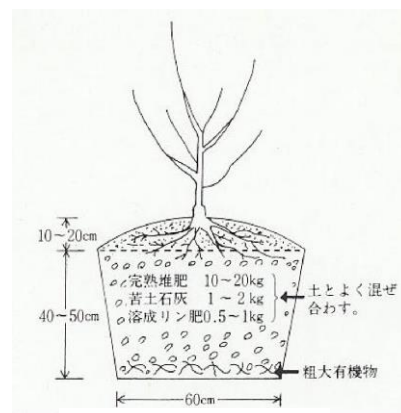


図6 植穴の例

(3) 草の利用

図7はマメ科のウマゴヤシ草生を始めてから10年後に調査した土壌の塩基置換容量(CEC)を示している。草生区の土壌は、裸地区に比べて著しく保肥力が高まっていることが理解できる。草生栽培は、園外から堆肥などの有機物を投入できない場合でも、園内で勝手に有機物を作り、それを再び土壌に還元することができる。そして、草生を長年続けると園内への有機物の補給が続き、土壌は腐植に富み、深い層まで腐植を含有するようになる。このような腐植の増加が土壌の保肥力を高める原因となっている。また、草生園の土壌は窒素や各種の塩基も増えて土が肥沃化するとともにpHも高くなることが知られている。草による土壌改良効果はマメ科草種に限ったことではなく、ナギナタガヤ(図8)のようなイネ科の草の場合でも十分に期待できる。

ただし、草は生き物なので、その生育が旺盛になる時期は土壌中の養水分を収奪することがあるため、草種によって樹体や収量・品質、あるいは作業性等に様々な影響を及ぼすことがある。このため、草生栽培を実施する場合は、栽培している樹種の特性を把握するとともに、導入する草の利点や欠点をよく理解する必要がある。

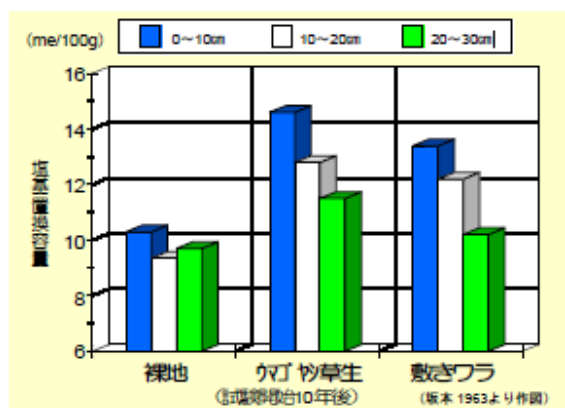


図7 土壌管理法の違いと塩基置換容量



図8 現地ナギナタガヤ草生園の状況

7) 米の土づくり

(1) 土づくりの考え方

水稻の有機栽培では、地力窒素を主体にして稲体の健全な生育を図る必要があることから、土づくりは極めて重要な役割をもつ。水稻の生育に必要な窒素は地力窒素に依存する割合が高く、基肥窒素の利用率はほぼ30～40%の範囲にとどまっていると言われている。その点からも、有機稲作で一定水準の収量を上げるには、従来土づくり以上の地力が求められ、生物性の改善及び耕種管理手法や透・排水性の改善も含め、水稻の生育に望ましい生態系づくりを進める必要がある。

土づくり効果を実現するためには、

- ・ 稲わら、冬季雑草等の有機物をすき込むとともに良質な堆肥を投入する。
- ・ 根の健全な生育を促すため、透・排水性を良好にする。
- ・ レンゲ等の緑肥作物を積極的に活用する。
- ・ 田植え時期の土の硬さは活着に大きく影響するため、碎土に配慮する。

表 10a 当たり収量の高い有機稲作農家と低い農家の収量と窒素肥沃度

区分	農家	土壌の種類	腐植含量 (%)	全窒素 (%)	可給態窒素量 (mg)	10a収量(kg) (平成19年)	備考
収量の高い農家	A	厚層黒ボク土	16.1	0.77	27.3	470	堆肥施用
	B	黒ボク土	12.6	0.64	36.2	420	堆肥施用
	C	灰色低地土	5.9	0.32	25.2	600	堆肥施用
収量の低い農家	D	黒ボク土	2.9	0.17	12.8	230	基肥米糠のみ
	E	黒ボク土	3.7	0.19	12.8	360	米糠ぼかしのみ

注) (財)日本農業研究所2010を一部改変

(2) 米の土づくりの課題

ここでの課題としては、地力の低下や作土層が浅くなり高温障害を受けやすいことが挙げられる。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、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、実肥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、ほとん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等も施用されなくなり、地力が低下するとともに、作土層が浅くなっている水田が多くなっている。

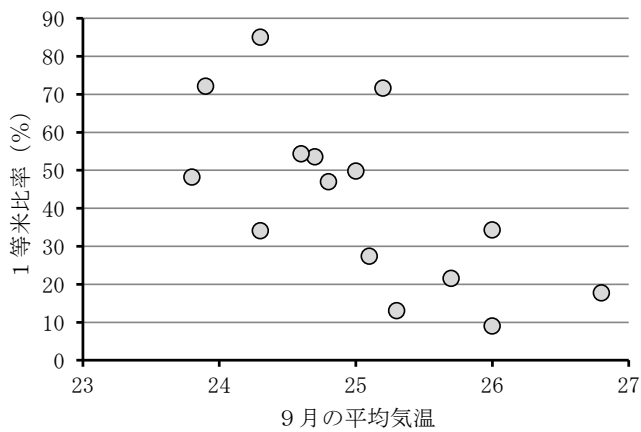
こうした水田土壌環境の変化は、近年問題となっている高温障害を受けやすくしている。

水稻の高温障害の影響は、米の品質低下となって現れている。特に、下図のとおり、玄米の胚乳部に白濁を生じる白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ってい

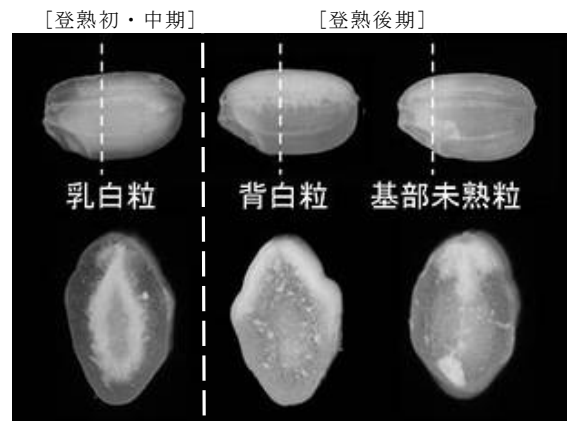
るものの、近年、地力の低下や作土層が浅くなることにより、白未熟粒が発生している。

したがって、有機栽培においても、堆肥投入や作土を深くすること等により地力を向上させることが重要である。



注) 1997-2015のデータで、台風等の特異年を除く

図 9月の平均気温と1等米比率
(愛媛県産ヒノヒカリ)



写真：九州沖縄農業研究センター
デンプンの蓄積異常のあった時期により、白未熟粒のタイプは異なる。

図 高温で発生する白未熟粒

8) 野菜の土づくり

(1) 土づくりとは

有機農業は地力に依存した生産方式であり、野菜の生育を支える土壌肥沃度の向上と良好な生育環境を支える土壌の物理性や生物性の向上など、いわゆる「土づくり」が最も重要視されている。バランスの良い土づくりを念頭に、堆肥等の有機質資材や植物の機能を活用して、土壌の生態系の富化と活性化を図りながら作物を持続的に栽培することが大切である。

(2) 地力の向上と養分バランスの適正管理（化学性の改善）

有機農業を新たに開始する農家は、長年耕作放棄された農地を利用することが多く、こうしたほ場では一般に地力の低下が懸念されることから、耕作開始時には堆肥や有機質肥料の積極的な投入が必要となるが、短期間で生産の安定化を図るためには、その投入量とともに窒素成分を考慮した施用が重要である。また、堆肥の品質、特に腐熟度にも留意する必要がある、未熟な堆肥投入は生育阻害や病害虫の発生を促すことになる。

一方、野菜の有機栽培では他の農作物に比べ、集約的に短期間で多収、高収益を実現するために、過剰な有機物の投入がしばしば繰り返されることがあり、これは土壌の養分過多や養分バランスの不均衡化を起こす原因になることがある。さらには、有機農業の重要な役割である環境負荷軽減に反すること、例えば地下水汚染や温室効果ガス増大に繋がることにもなる。したがって、有機栽培では投入する有機物資材の特性を十分把握し、その種類や量、組み合わせなどを考慮したうえで計画的に施用することが重要で、土壌の適正な維持管理には定期的に土壌診断を実施する必要がある。

表1 窒素成分の異なる堆肥連用年数とキャベツの収量

	施用堆肥の成分含量 (%)				1 個体平均調整重 (kg)			化成肥料区を100とした時の指数		
	全窒素量	全磷酸量	加里全量	C/N比	1年	2年	3年	1年	2年	3年
食品堆肥M4 t /10a	1.8	1.4	3.0	20.8	0.9	0.9	1.1	42	46	58
牛糞堆肥O4 t /11a	4.4	1.7	2.5	9.9	1.8	1.2	2.6	90	61	137
牛糞堆肥K4 t /12a	2.3	2.6	4.7	15.8	1.2	1.5	1.7	59	76	89
化成肥料（窒素20kg/10a）	—	—	—	—	2.0	1.9	1.9	100	100	100

資料：有機栽培技術の手引(葉菜類等編)、(財)日本土壌協会を一部加筆。

(3) 土壌の物理性の改善

有機物の土壌施用は、土壌微生物の活性化等により土壌の団粒化を促すため、野菜にとって好適な土壌三相バランス（固相 40%、液相、気相各 30%）が保たれ、保水性、通気性が良好で保肥力の高い土づくりが可能になる。また、一般に土壌硬度（山中式）が 20～22 になると根の伸長は抑制されるが、有機物の施用により作土層の膨軟化が進むことで根張りは良好になる。なお、野菜類の栽培では、根域確保のための作土の厚さは 20～25cm 以上、ダイコン、ニンジンなどの根菜類では 30cm 以上、ゴボウでは 60cm 以上が望ましく、その品目に適した農地の選定や耕起、碎土、畝づくりに留意する必要がある。

表2 堆肥連用年数の異なる露地野菜ほ場の
土壌硬度（中山式硬度計）

土壌の深さ (cm)	硬度 (mm)	
	堆肥1年施用	堆肥3年連用
5	20	14
10	22	15
15	22	16
20	21	18
25	23	19
30	24	20

資料：(財)日本土壌協会

表3 堆肥連用年数の異なるほ場での土壌の三相分布

	三相分布 (%)			易有効 水分 (%)	仮比重
	固相	液相	気相		
堆肥3年 連用	38.5	39.1	22.4	7.1	0.83
堆肥1年 連用	54.3	36.8	8.9	2.6	1.04

資料：(財)日本土壌協会

(4) 土壌生物性の改善

野菜類では同じ種類の品目を同一ほ場で連作することが多く、これに伴って収量、品質が低下する現象を連作障害と呼ぶ。その主要因には、「いや地」と称するものもあるが土壌病害虫が関与する場合が多い。しかし、根圏土壌の微生物相が多様になると、土壌病原菌の生存や増殖が抑制されることから、良質な堆肥等の施用により多様な微生物環境へと整えていくことは重要である。さらに、種類の異なる作物を組み合わせた輪作体系での栽培、水田化、対抗植物等の栽培も有効な手段になる。

(5) 緑肥等作物の利用

緑肥作物やクリーニングクロープは、土壌の物理性の改善、化学性の改善、生物性の改善効果のほかに、雑草抑制や景観美化等の効果があり、有機栽培ではその目的に応じて輪作体系の中に取り入れて利用されている。

表4 緑肥作物、クリーニングクロープの効果と主な該当作物

効果	内容	該当作物
①物理性の改善	通気性、透水性等	ソルゴー、青刈トウモロコシ、ギニアグラス等
②化学性の改善	土壌の肥沃化	クロタラリア、レンゲ、クローバー類、ヘアリーベッチ、セスバニア等
	クリーニングクロープ	ソルゴー、青刈トウモロコシ、ギニアグラス等
③生物性の改善	ネコブセンチュウ	クロタラリア、ギニアグラス、エンバク、マリーゴールド等
	ネグサレセンチュウ	マリーゴールド、クロタラリア、ギニアグラス等
④雑草抑制	雑草抑制、敷料	ヘアリーベッチ、マルチムギ等
⑤景観美化等	景観、土壌保全	レンゲ、クリムゾンクローバー、シロカラシ、マリーゴールド等

資料：(財)日本土壌協会