

ている。

フルボ酸は、フルボ酸画分を脱塩し、凍結乾燥することによって、淡黄色ないし黄褐色の粉末として得ることができる。各種の物質を含むが、分子量500以下の低分子物質は一部分にすぎない。大部分は高分子物質で、しかも分子量は、従来考えられていたように腐植酸に比べて小さいものではなく、平均分子粒径は、腐植酸よりもむしろ大きい。

フルボ酸には腐植酸の2~3倍の炭水化物が含まれ、加水分解により、ヘキソースおよびウロン酸などが得られる。そのほかに蛋白質、フェノールグリコ

表9 2種類の土壌(A層)から分離した腐植酸およびフルボ酸の性質

		褐色森林土(段戸)		黒色土(猪之頭)	
		腐植酸	フルボ酸	腐植酸	フルボ酸
画分収率 (%)	全分画画分	16.7	32.2	27.3	18.2
	脱塩精製物	7.3	17.5	11.6	11.7
	腐植物質	11.1	2.2	6.1	0.3
光学的性質	RF	46.4	7.44	111	4.26
	$\Delta \log K$	0.594	1.116	0.506	1.103
	E_4/E_6	9.97	14.8	3.98	15.8
元素組成 (%)	C	54.40	45.54	57.25	43.13
	H	5.56	4.07	4.21	4.52
	N	5.10	1.69	4.17	2.58
	S	0.31	0.69	0.14	0.66
	O	34.63	48.01	34.23	49.11
官能基含量 (meg/g)	カルボキシル基	3.22	7.27	3.75	6.11
	フェノール性OH	2.06	1.31	2.06	0.55
	アルコール性OH	3.04	5.47	1.39	3.82
加水分解生成物 含量 (%)	ヘキソース	3.2	8.2	3.5	18.4
	ウロン酸	1.1	4.1	1.3	9.9
	アミノ酸	9.7	8.1	6.5	4.6

段戸土壌: 全炭素含量7.5%, 全窒素含量0.40%, C.E.C. 19.4 me/100 g
 猪之頭土壌: 全炭素含量22.8%, 全窒素含量1.43%, C.E.C. 50.4 me/100 g
 画分収率は土壌中の全炭素量に対する各画分中の炭素量で示す。
 光学的性質および各種含量は脱塩精製物についての値を示す。

シド、タンニン、有機リン酸塩などの非腐植物質も含まれている。高分子着色画分すなわち腐植物質として分離される画分は、フルボ酸画分の約10%程度

にすぎない。またそのRF値は、腐植酸のRF値の1/10~1/5程度であり、この中にはなお非腐植物質とすべきものが多量に含まれていると考えられる。元素組成は腐植酸に比べC含量が少なく、HおよびOが多い。また、カルボキシル基および水酸基の含量が高く、そのためにフルボ酸は酸性溶液中で水溶性物質として分画される。

一例として、表9に性質の異なる2種類の土壌から抽出分離した腐植酸およびフルボ酸の光学的性質および化学組成を示した。

(3) ヒューミン

腐植の20~30%を占めるが、土壌から抽出できない画分であるため、その実態はあまり明らかでない。未分解の植物組織、腐植化が高度に進んで炭化した腐植、アルカリ溶液では抽出できないほど粘土鉱物に強固に結合した物質などが含まれているであろう。全炭素量に対する炭水化物の含量比はフルボ酸より多い。

(4) 非腐植物質

腐植の中の暗色無定形の高分子物質を腐植物質と称し、それ以外の成分を非腐植物質と称しているが、これは概念的な分け方であり、化学的実態を指すものではない。また、その間に明確な区分があるわけではない。また、有機化学的に既知の化合物を総称して非腐植物質と定義する場合もあるが、近年の腐植化学の進歩により、この定義は必ずしも妥当でなくなってきた。

ここでは、従来の慣習に従って、土壌中に比較的多量に存在する有機化学的に既知な物質群について述べる。

a. 炭水化物 ヒューミン、フルボ酸、腐植酸のどの画分にも含まれ、前者ほど含有量が高い。無機質土壌の炭水化物は、大部分が微生物由来のものであり、ヘミセルローズ、ポリウロナイド含量が高く、セルローズは少ない。構成還元糖として定量される炭水化物は、A₀層の有機物中の5~30%を占め、A層、B層では5~20%程度であるが、下層に行くに従って有機物中に占める炭水化物含量は多くなる場合が多い。

土壌中の炭水化物を構成する単糖類としては、一般に、グルコース、マンノ

ースが多く、ガラクトース、ラムノース、アラビノース等がこれに次ぎ、キシロース、フラクトース、ラクトースなどは少ない。これらの含有比から土壌中の炭水化物の大部分は、微生物起源とされている。これら還元糖のほか、ウロン酸 (1~5%)、ヘキソサミンなども構成糖として存在する。

b. 脂質 脂肪、脂肪酸、リン脂質、糖脂質、ワックス、テルペノイド、炭化水素などとして、土壌中の全有機物中に5~10%存在する。酸性または嫌気条件下の土壌では含有率が高く、泥炭や湖底埋積物などでは全有機物の20%以上に達する。

土壌脂質のうち約40%が中性脂質画分、約50%が糖脂質画分として分離され、リン脂質画分は10%以下である。中性脂質画分中には脂肪および脂肪酸、ワックスの含量が高く、炭化水素の含量は低い。糖脂質では、アシルステリルグルコシドの含有率が高い。これらの含有率は、土壌の種類および層位によって異なる。

土壌から脂質を抽出する場合、アルコールベンゼン (1:1) 混合溶媒で抽出すると抽出率が高い。このようにして抽出された脂質をビチューメンと呼ぶ。クロロフィル様物質もビチューメンとして抽出される。土壌に残留する農薬も、大部分は有機溶媒で抽出される。腐植をアルカリで抽出分画すると、脂質は大部分が腐植酸画分中に分画される。

c. 窒素化合物 土壌中に存在する窒素化合物のうち、アンモニア態や硝酸態などの無機態の窒素は数%に過ぎず、大部分は有機態窒素化合物として存在する。有機態窒素の50%以上は蛋白質態として存在し、残りはインドール核、ピリジン核の窒素あるいは複雑な重合物の中の非加水分解性窒素化合物として存在する。腐植酸の10~20%は、加水分解によりアミノ酸を生成する蛋白質様化合物である。腐植化の進んだ腐植酸ほど、加水分解性窒素含量が減少し、非加水分解性窒素含量が増加する (図15)。

土壌または抽出した腐植を加水分解して生成するアミノ酸の組成については、多数の研究例がある。これまでに約30種類のアミノ酸が確認されており、その組成は土壌の種類にかかわらず比較的類似している。リジン、ヒスチジ

ン、グルタミン酸、グリシン、アルギニンなどの含量が比較的高い。

土壌中の有機態窒素化合物は、微生物によって分解され、無機態の $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{NO}_3\text{-N}$ に変換され、植物の栄養源となる。一方、無機態の窒素は、微生物により有機態窒素に変換される。一般に、微生物活動が活発な土壌では、炭素含量と窒素含量の比 (C/N 比または炭素率) は10前後である。

稲わらなどのC/N比が高い有機物を土壌に与えると、無機態窒素は微生物の増殖のために消費され、作物と微生物の間で無機態窒素の奪い合いがおきる。微生物がとり込んだ窒素はやがて土壌中に還元されるが、作物は一時的に窒素飢餓をおこすことがある。C/N比の低い有機物や無機態窒素のみを土壌に加え、土壌のC/N比が低くなると、土壌から窒素の損失がおこりやすい。

5. 耕地への有機物の施用

古来、農業にとって堆肥^{きゅう}の施用は不可欠のものとされてきた。しかし、昭和30年以降、化学肥料の発達と農村労働力の不足により、堆肥の耕地への施用量は激減した。このため、農耕地、特に畑地における地力低下が問題となり、昭和45年頃から、稲わら・もみがらその他の収穫残渣の耕地への還元、堆肥の施用などが奨励されるとともに、パーク堆肥、おが屑堆肥、産業廃水の汚泥処理物、都市ごみコンポストなどの新しい形態の有機資材も農耕地へ施用されるようになった。

これら有機物を耕地へ施用する場合、以下のことを考慮することが必要である。

(1) 作物の種類と有機物の品質および量との関係

収穫後に残る根や収穫残渣の量は前作物の種類によって大きい差があり、肥料成分の必要量や必要時期、効果も作物の種類によって異なる。一方、施用する有機物の品質や肥料成分の含有量も種類により大差がある。作物と施用有機物の両者を配慮して、適切な施用を行う必要がある。

(2) 有機物の腐熟度

新鮮なまたは未熟な有機物の大量施用は、作物が窒素飢餓を起こしたり、土

壤の還元化、硫化水素など有害物質の生成その他によりかえって有害になる場合がある。また、少量施用でも病虫害伝播の源になる可能性がある。さらに、新鮮なパークや、おが屑などには、作物に有害な有機成分が含まれている場合がある。充分腐熟させたものを施用しなければならない。

(3) 有害物質の混入

産業廃棄物や都市ごみなどの中には Cd, Cu その他の有害な重金属や多量の Al が混入している場合がある。これらの汚泥処理物やコンポストを施用する時には注意を要する。

6. 農耕地における土壌有機物の意義

土壌に新たに添加された動植物遺体や有機資材はもちろんのこと、土壌中にもともと存在する腐植もまた作物の生育にとって重要な意義をもっている。その効果は、次のように大別されよう。

a. 肥料効果 作物収穫残渣や動物排泄物などの腐朽物は、古くから堆肥として利用されてきた。作物残渣や堆肥、あるいは有機資材中には、窒素、リン、カリウムはもとより、化学肥料ではあまり供給されない各種の微量元素も含まれ、植物栄養源として作物の生育に役立つ。

b. 植物栄養源の貯蔵効果 土壌中の窒素の大部分は有機態窒素である。化学肥料として与えられた窒素、あるいは動植物遺体などから分解生成した無機態窒素の大部分は、微生物活動によりいったん有機態窒素に変換貯蔵される。これらの有機態窒素は土壌中で徐々に分解して、長期間植物に有効に吸収利用される。無機リン酸塩もまた有機リン化合物として貯蔵され、徐々に作物に利用される。

c. 微生物活動の増大 土壌有機物は微生物の栄養源としてその増殖をうながし、各種の土壌活性を高め、土壌中における物質代謝を円滑にする。また、有機物の添加は、菌相の単純化を防ぎ、特に細菌および放線菌の生育を活発にし、特定の植物病原菌の増殖を抑制して作物を保護する。

d. 養分保持の能力と緩衝作用の増大 土壌有機物には多量のカルボキソ

ル基や水酸基があり、カチオンを吸収して、pH に対して緩衝作用がある。このため、土壌 pH の急激な変化を抑制して植物を保護する。また、植物に有用な重金属元素を吸着保持し、徐々に作物に供給する。一方、植物に有害な元素も土壌有機物に吸着され、植物への吸収を抑制して保護する。

e. 土壌吸着の抑制 土壌有機物は、粘土鉱物に吸着されやすい物質の直接的接触を妨げて、植物の吸収を円滑にする。例えば、火山灰土壌などリン酸吸収の大きい土壌では、リン酸の不可給化を抑制し、リン酸の効果を高めている。

f. 土壌の物理性の改善 土壌中の有機物は、土壌の固結化を防ぎ、さらに微生物活動と相まって土壌団粒の形成を促進する。このため、土壌の耕作を容易にするとともに、通気および水分保持能を高める。

以上のことは、互いに関係しあっている。また土壌有機物は、作物の生育にとって好ましい土壌条件下でも有効に作用するが、冷害や干ばつなど、作物の生育にとって不良な環境の時に特に大きい効果を発揮する。

7. 有機・無機複合体（腐植粘土複合体）

前述のように、土壌をアルカリ溶液で抽出すると腐植の半分以上が抽出されるにもかかわらず、水では腐植のごく一部分しか抽出されない。このことは、腐植が粘土鉱物と何らかの結合をしていることを示すもので、腐植と粘土鉱物が複合体を形成しているものと考えられている。この複合体を、腐植粘土複合体または有機・無機複合体と呼んでいる。

腐植と粘土鉱物の結合すなわち腐植の粘土鉱物への吸着の機構については不明の部分が多いが、イオン吸着、水素結合、ファンデルワールス (Van der Waals) 吸着、錯体形成などによるものとされている。腐植は大部分が高分子電解質から成り、粘土粒子の荷電により電子的に吸引される。またこの高分子物質は、当然のことながら、ファンデルワールス力により粘土粒子表面に吸着される。さらに腐植物質には、カルボキシル基、フェノール性水酸基、キノンカルボニル基、アミノ基なども多数存在するので、粘土鉱物の末端の金属原子

が、直接または水酸基を介して、腐植分子と水素結合をする。さらに、腐植分子中のこれらの官能基は、粘土鉱物の Al, Fe, Zn イオンなどと錯体を形成し、さらに強く結合する。腐植の巨大な分子では、おそらくこれらの結合の様式が複合して粘土鉱物に強く吸着しているものと推定される。

近年、電子顕微鏡の発達により、腐植粘土複合体の状態が直接観察されるようになった。

土壌を水中に懸濁させ、超音波処理により充分に分散させ、いくつかの粒径別画分に分けて炭素含量を測定すると、腐植の集積は粘土画分に多いことがわかる。腐植の性質は粒径によって異なり、シルトおよび粗粘土画分には腐植化度の高い腐植酸とフルボ酸が多く存在している。粗粒の砂画分には腐朽植物遺体が多く、細粘土画分には微生物遺体が集積していることが認められている。

V. 土壌生物の働き

1. 土壌中の生物

(1) 体の大きさによる分類

陸上生物の多くは、土壌と密接な関係を保ちながら生活している。土壌もまた、こうした生物たちによって、大なり小なり影響をうけ、変化している。本章では、陸上生物のうち、より重要な影響を土壌に及ぼしているものたちに着目し、これらの生物の働きについて概観することにしてしよう。

土壌中で働き、生活している生物を考える場合、その生物の体の大きさが重要な意味をもつので、その分類にも体の大きさが大きな意味をもってくる。すなわち、目に見えない程小さい生物（約 0.2mm 以下）は微生物（microorga-

表 10 主な土壌生物の大きさと食性

大きさ (グループ名)	生 物 名	食 性
0.2mm 以下 (マイクロフロラ)	細菌 (Bacteria) <放線菌を含む> 藻類 (Algae) 糸状菌 (Fungi)	(無機物だけのもの (無機物と有機物の両方のもの 無機物 無機物と有機物
(マイクロファウナ)	原生動物 (Protozoa)	細菌, 藻類
0.2~2mm (メソファウナ)	線虫類 (Nematoda) ダニ目 (Acari)	細菌, 糸状菌, 植物, 藻類など 動物や植物への寄生, 植物遺体, 捕食
2~20mm (マクロファウナ)	アリ科 (Formicidae) トビムシ類 (Collembola)*	捕食, 動物遺体, 菌類, 植物 菌類, 植物遺体, 動物遺体, 植物根
20mm 以上 (メガファウナ)	ミミズ (Opisthopora)	植物遺体

* トビムシ類の中には 2mm 以下のものもあり、その場合は厳密にはメソファウナに類別することになる。

nism), それより大きい動物はメソファウナ (mesofauna, 0.2~2mm の大きさ), マクロファウナ (macrofauna, 2~20mm), メガファウナ (megafauna, 20mm 以上) と呼ばれる。微生物のうち、原生動物はマイクロファウナ (microfauna), 細菌, 糸状菌, 藻類をマイクロフロラ (microflora) と呼ぶこともある。