

原著論文

化学肥料投与が落葉生変形菌の発生に及ぼす影響を調べる予備的実験

高橋和成¹

Influence of fertilizer for myxomycete occurrence in leaf litter: a preliminary study

Kazunari TAKAHASHI¹

Abstract: Many myxomycetes live in forest floor leaf litters. The present study experimentally investigated influence on the myxomycete occurrence and litter decomposition by fertilization for newly defoliated leaf litter mass in containers. Occurrence of myxomycete fruiting bodies were regularly observed from May to October in weak acid leaf litters without fertilizer. Addition of a neutral mixed fertilizer quickly decomposed leaves and cellulose in the early decomposition stage, and myxomycete fruiting bodies were precociously formed. However, addition of ammonium sulfate and superphosphate was accompanied with acidification of the litter and retarded myxomycete occurrence by more than 1 month. Addition of slaked lime caused neutralization of the leaf litter and a little occurrence of fruiting bodies of a particular species. Changes in litter pH altered decomposition rate and influenced myxomycete community structure and seasonal occurrence pattern.

Key words: Decomposition, Fertilization, Follicolous myxomycetes, Leaf litter, pH

はじめに

近年、人間活動に起因する酸性降下物が森林生態系に影響を与え、樹木の生育を劣化させ(久米ほか 2011)、土壌の酸性化(梨本ほか 1993)や窒素過剰など(徳地ほか 2011, Ramirez et al. 2012)を引き起こしている。また、土壌改良を目的として農耕地や森林に対し大量の石灰施用(Clivot et al. 2012)や過剰な施肥(山崎ほか 2011)が行われている。こうした化学的な環境ストレスは、土壌中の腐生微生物にも影響を与え、菌類の子実体の発生が減少したり(Arnolds 1988)、土壌のバクテリア相を変化させたりしている(Fog 1988, Lutzow et al. 1992, Clivot et al. 2012)。しかし、落葉層で生活する腐生微生物である変形菌に対して、人為的な化学的環境ストレスがどのような影響を及ぼしているかは明らかではない。

変形菌は、原生生物のアメーバゾアに属する生物で、その生活史はアメーバや変形体で栄養増殖する時期と子実体を形成し胞子を結実する時期からなる。変形菌の主な栄養源は、腐植中の細菌や有機物であるため、植物遺体の分解過程における養分動態と関係をもち(Maderin 1984)、キノコなどの分解者生物と同様な環境を好んで生息する。そのため、富栄養なキノコ露地栽培地では変形菌が大量に発生し、キノコに被害を与えることもある(菅原 2007)。森林の枯死木や倒木および落葉などを生育基物とする変形菌は、森林生態系の腐食連鎖や物質循環において何らかの役割を担っていると考えられ、その生態や生理に関する研究が重要になっている。

林床の落葉層には、もとより落葉を生育基物とする落葉生変形菌の多くの種が生活し、落葉分解過程

1. 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1 岡山理科大学附属高等学校 Eメール: kumakusu03@yahoo.co.jp 連絡先: 086-256-8530, 086-256-9734 Okayama University of Science High School, 1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama-ken 700-0005, Japan. E-mail: kumakusu03@yahoo.co.jp Tel/Fax: 086-256-8530, 086-256-9734

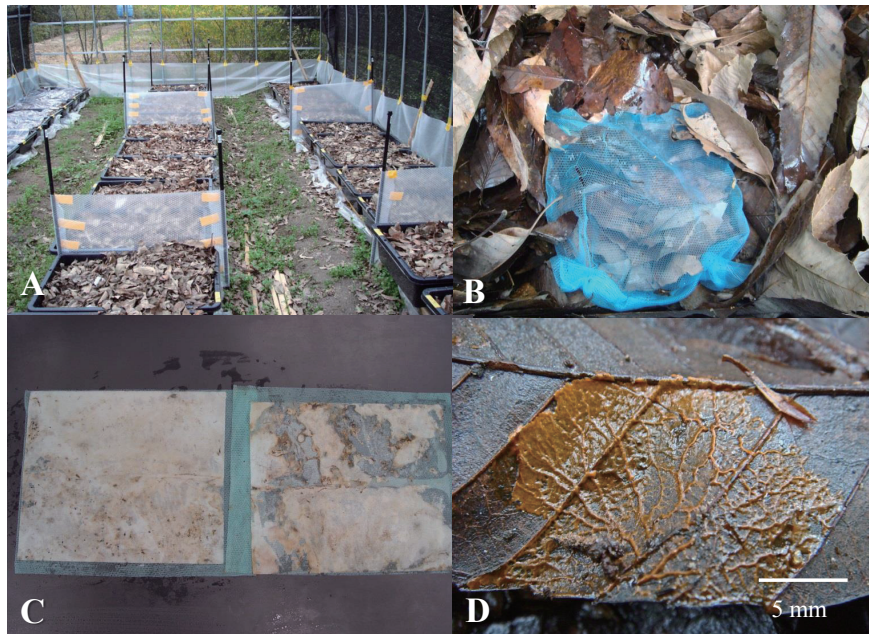


Fig. 1. Experimental aspects in a cheesecloth house. A: Containers incubating leaf litter, B: Litter bag, C: Decomposed cellulose filter paper in bags, D: Plasmodium on a humid leaf.

の初期段階で発生している (Takahashi 2011). しかし, その生育に対する化学的な環境負荷の影響は明かではない. 変形菌の変形体の発生には pH が影響することが知られ (Colins & Tang 1973), 生育基物の pH によって変形菌の群集構造が異なることが報告されている (Takahashi 2014). 本研究では落葉層への化学肥料投与で, 落葉分解の初期段階への影響と変形菌の季節的な発生パターンおよび群集の優占種や種構成の変化を調べることを目的とした.

研究方法

1. 落葉の堆積層の設置

実験は, 岡山県南部に位置する岡山市横井上にある岡山理科大学の自然植物園で行った. 実験試料の落葉は, 現地の落葉広葉樹林 (標高 70 m, N34°42.76', E133°55.04') で当年に落葉した落葉 (新規落葉) を利用することとし, 2007 年 1 月に, 林冠を形成するアベマキの樹下で, 林床の表層から熊手により掻き集めた. ただし, 林分にはコナラの高木もあるため, アベマキの落葉にコナラの落葉がわずかに混じった. 現地では, 先行研究 (高橋・波田 2008) により, 多くの変形菌が落葉層に自然発生することが観察されている. また, 新規落葉をコンテナ

に蓄積しても, その堆積層で変形菌の子実体が発生することが確認されている (Takahashi & Hada 2012).

落葉は, 大型ポリ袋に採集して集め, 小枝を除去し, 均一に混合した. 実験場の寒冷紗ハウス内に, 5 実験区 × 5 反復からなる 25 個のコンテナ (容量 60ℓ: プラスチック製の舟形, L72cm × W41cm × H20cm) を設置した. これらのコンテナに, 落葉を一定量ずつ均質に分配して蓄積した (Fig. 1 A, これを落葉堆積と呼ぶ). コンテナの底には穴 (直径 8 mm) を 4 ヶ所あけ, 水抜きとした. また, 落葉堆積を土壌から隔離するために, コンテナと地表との間に大型のポリ袋を敷いた.

現地の気候は, 温暖少雨な瀬戸内気候に属し, 実験地近隣の岡山市日応寺のアメダス (標高 239m, N34°45.38', E133°51.30') における 2007 年の日平均気温は 14.3°C, 年降水量は 1014mm であった (気象庁). 寒冷紗ハウス内は, 4 月 ~ 11 月までの気温と湿度をデータロガー (TR5i, T&D 社) で記録した. 実験場の寒冷紗ハウス内の気象条件は, 6 月上旬から 10 月上旬までは最低気温が 10°C を越え, 湿度が 70% 以上であった. ただし, 8 月上旬から中旬にかけては高温で乾燥した状況であった (Fig. 2).

2. 落葉分解の測定

落葉の分解量は、先行研究(河原 1985)に従いリターバック法による落葉の重量減少により測定した。リターバックは、2 mmメッシュのナイロン製の袋(20 cm×25 cm)にアベマキの落葉10g(70°Cで一定重量になるまで乾燥した重量)を入れて作成した。リターバックは、落葉の堆積層に埋設し(4月7日, Fig. 1 B), 3袋の残存量(乾燥重量)を定期的に測定し、その平均値を求めた。微生物によるセルロースの分解は、先行研究(小木曾・永井 1999)を参考にしてベンチコートろ紙を利用して測定した。測定方法は、一定量のベンチコートろ紙(7.29g)をナイロン製の袋(2 mmメッシュ, 20 cm×25 cm)に入れ、落葉の堆積層に埋設(5月1日)し、一定期間ごとに3枚の残存量(乾燥重量)を平均値で求めた(Fig. 1 C). 落葉とセルロースの残存する重量は、実験開始時の重量に対する割合として、残存率(%)で示した。

3. 化学肥料の添加

化学肥料は、酸性度の異なる3種類(マグアンプK, 硫安, 過磷酸石灰)の肥料と土壌改良剤(消石灰)を使用した。マグアンプK(含有割合N-P-K-M=6-40-6-15, ハイポネックスジャパン社製)は、中性で長期間の施肥効果がある配合肥料である。硫安($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (アンモニア性窒素20.5%以上含有, 即効性がある)は、土壌を硫酸イオンにより酸性化させる。過磷酸石灰(CaSO_4 と $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の混合物)は、硫酸カルシウムを60%程度, 可溶性リン酸を17.5%程度含み, 酸性の水溶性の肥料として速効性がある。さらに、土壌改良材の消石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$, 含量96%)は、土壌をアルカリ化し一次的に微生物の代謝による有機物の分解を促進する性質がある。これらは、一般的な農業用の化学肥料であり、野外実験では簡便に利用できる。化学肥料の施肥量は、用土や用途により一定ではないため、菜園に対する使用量のマグアンプKの250g/m²を目安とした。施用は、2007年4月中旬に行い、コンテナ当たり過剰と考えられる150gを落葉堆積の表面に均一にばらまいた。無添加のコンテナは対照区(Control)とし、マグ

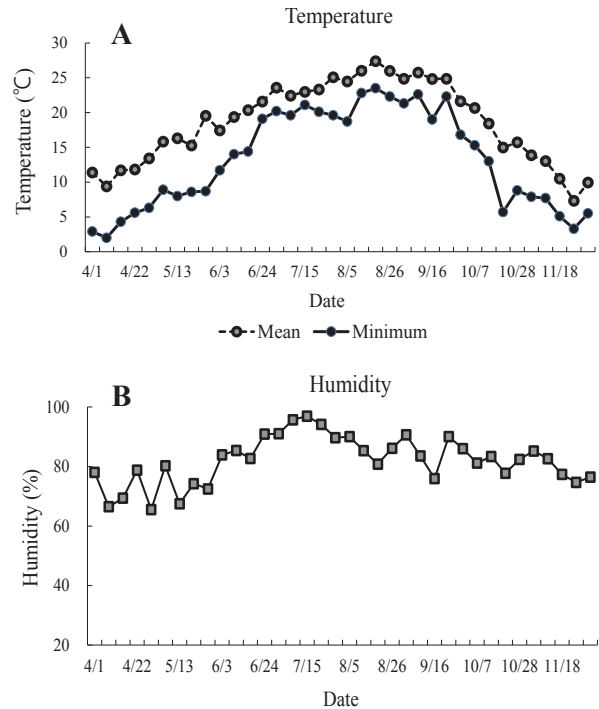


Fig. 2. Temperature and humidity in a cheesecloth house during the investigation season. A: mean temperature and minimum temperature, B: Humidity.

アンプ区(MK), 硫安区(AS), 過リン酸石灰区(PL), 消石灰区(HL)と比較した。落葉堆積層から浸出した液は、コンテナ底部に滞留するため、そのpHをリターpHとしてpH試験紙(メルク社製pH4.0-7.0)で比色測定した。測定は、実験開始4ヵ月後の梅雨明け時期(2007年7月26日)に行った。

4. 変形菌の観察と同定

変形菌は、5月中旬から10月下旬まで2週間おきに定期的に観察し、その季節的な発生パターンを実験区の相互で比較した。落葉上に結実した子実体は、目視とルーペにより徹底的に探索した。子実体が着生した落葉や小枝片は、すべて紙袋に収集した。試料は、葉の半分以上が残存し、子実体が3個以上着生するものを一試料とした。試料数は、調査期間を通して種ごとに累積した。変形菌の種の同定は、子実体の外部形態を実体顕微鏡で観察した後、内部の細毛体や胞子の構造をプレパラートにより顕微鏡観察した。種名は、山本(1998)を参照し、最近の文献(Lado 2005-2016)に従った。実験区ごとの変形菌の出現種とその試料数を群集構造とし、優占種

Table 1. Litter pH, remaining rate of leaf litter and cellulose in a 4-month change of the beginning, and myxomycete communities of control and fertilized experiments in entire season.

	Control	Fertilization			
		MK	AS	PL	HL
Litter					
Litter pH	5.3	5.2	4.7	4.6	6.1
Remaining rate (%)					
Leaf litter	71.3	72.4	73.7	72.9	73.3
Cellulose	52.0	11.0	26.2	31.9	48.9
Myxomycetes					
Individuals	351	209	268	26	45
Species richness	7	9	7	4	3
Chao-1	8	12	7	4	4

Abbreviation for fertilizers; MK: Magamp plus K complete mature, AS: Ammonium sulfate, PL: Superphosphate of lime, HL: Hydrated lime.

や種構成を実験区の間で比較した。

5. データ解析

変形菌の群集構造は、種数と各種の相対的な構成割合によって特徴づけられる。本研究での群集構造の解析は、多変量解析の正準対応分析(Canonical correspondence analysis: CCA)を利用した。この解析方法は、群集間の関係を低次元空間における点の布置で表現し、環境要因との関係を直接的に分析できるため、先行研究(Takahashi 2014)でも利用されている。CCAの第1軸と第2軸のスコアにより、実験による5つの群集と出現種を序列化し、リターpH、落葉の分解率、セルロースの分解率の3つの環境要因との関係性を求めた。多変量解析は、フリーソフトのPAST(Hammer et al. 2001)を利用した。また、推定される出現種数は、群集構成種の試料数をもとにChao-1(Chao 1984)により統計的に求めた。

結果

1. 落葉の分解とpHの比較

落葉分解の初期は、窒素を含む施肥区で対照区よりも加速されていた(Fig. 3)。しかし、4ヶ月後の7月下旬には、対照区で落葉重量の残存率が71.3%、施肥区では72.4%~73.3%であった(Table 1)。

8月からは、消石灰区(HL)で分解が速まり、過リン酸石灰区(PL)で分解が遅れた。落葉の分解は、10月まで進み、残存率が安定化した。10月下旬の残存率はFig. 3に示すように、対照区の49.6%に対

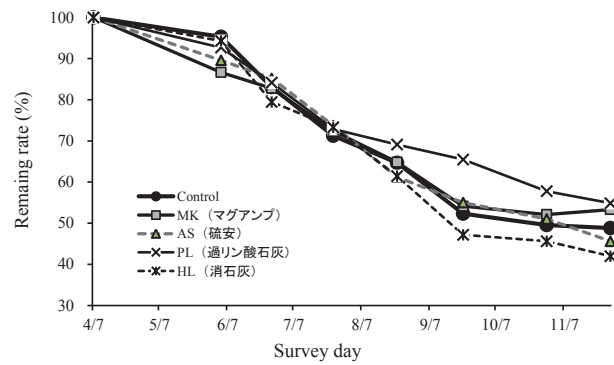


Fig. 3. Changes of the residual leaf litter (percentage of dry weight) in litter bags after application of different fertilizers.

して、消石灰区(HL)で45.6%、硫安区(AS)で51.0%、マグアンプ区(MK)で52.1%、過リン酸石灰区(PL)で57.8%となった。季節を通してみると、落葉重量の残存率は消石灰区で低く、過リン酸石灰区で高くなった。

セルロースの残存率は、7月下旬に対照区で52.0%であったが、消石灰区で48.9%、過リン酸石灰区で31.9%、硫安区で26.2%、マグアンプ区で11.0%となった(Table 1)。セルロースの分解は、施肥区で促進されていた。これは、落葉分解の初期と同様に窒素を含む施肥区でより速まっていた。

リターpHは、7月下旬に対照区で弱酸性のpH=5.3であった(Table 1)。施肥区では、MK区がpH=5.2でpH変化はほとんどなかった。しかし、AS区ではpH=4.7、PL区ではpH=4.6にまで低下した。また、酸性土壌の改良材を投与したHL区は、アルカリ化してpH=6.1になった。

2. 変形菌の群集構造

落葉の堆積中では、変形体の発生(Fig. 1 D)と子実体の結実が観察された(Fig. 4)。全体で子実体の発生量として899試料を記録し、5属14種(1変種を含む)の変形菌が確認された(Table 2)。相対優占度を発生量(試料数)の割合で示すと、落葉堆積の優占種はシロジクキモジホコリ(Fig. 4 A)51.2%、次にハイロフクロホコリ(Fig. 4 B)17.6%、サウンデルシホネホコリ(Fig. 4 C)12.9%、アカモジホコリ(Fig. 4 D)7.6%、ゴマシオカタホコリ(Fig. 4 E)6.5%とな

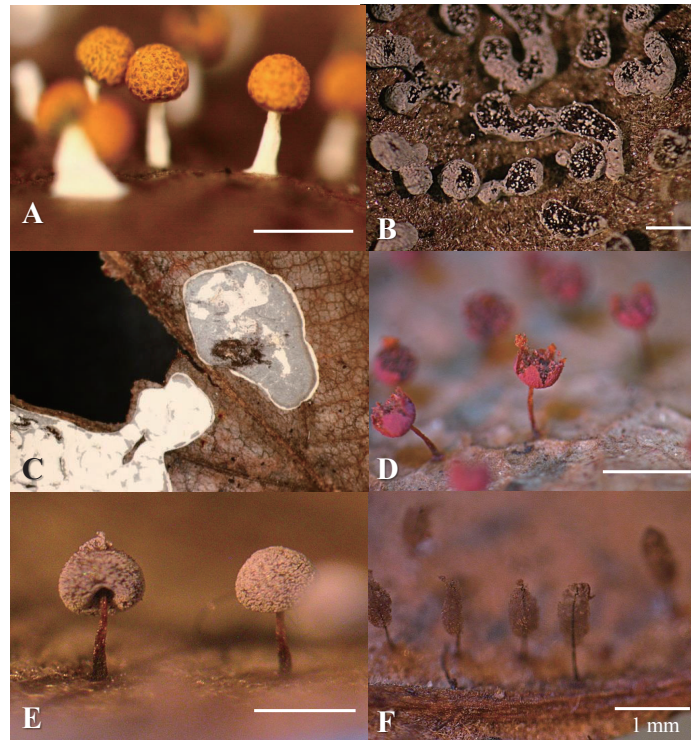


Fig. 4. Myxomycete species. A: *Physarum melleum*, B: *Physarum cinereum*, C: *Diderma saundersii*, D: *Physarum roseum*, E: *Didymium iridis*, F: *Comatricha pulchella*. Bars show 1 mm scale.

った。アカカミノケホコリ *Comatricha pulchella* (Fig. 4F) は、ムラサキホコリ目 (Stemonitales) に属する種であったが、その他の13種は *Physarum* 属, *Diderma* 属, *Didymium* 属, あるいは *Craterium* 属の種で、すべてモジホコリ目 (Physariales) に含まれる種であった。モジホコリ目は、発生量の99.1%を占め、落葉の堆積層で優占した。施肥区ごとに出現種の試料数をもとに推定した種数は、対照区で8種、マグアンプ区で12種、硫安区で7種などとなった (Table 1)。実際の観察種数はそれぞれ7種、9種、7種であり、全体の調査精度は87.5%であった。未発生種の種や未確認種もある可能性を含め、調査努力は十分にされていた。

3. 変形菌の季節的発生パターン

変形菌の季節的な発生パターンを Fig. 5 に示した。実験の全体では、7月下旬までに総出現種数の14種のうち11種が出現し、その発生量は全体の83%を占めた。対照区では6月上旬から10月中旬までの発生があり、通年で7種が出現した (Fig. 5A)。出

現種数のピークは7月下旬の4種で、シロジクキモジホコリが優占した。その後、高温乾燥する8月上旬はサウンデルシホネホコリ1種のみとなり、8月下旬からはアカモジホコリなどの3種が発生した。

施肥区では、マグアンプ区 (Fig. 5B) の発生量は対照区の60%であったが、6月上旬から3種が発生し、8月中旬までに累計9種が出現した。優占種は6月上旬のゴマシオカタホコリから7月下旬にはシロジクキモジホコリに変わった。8月には新たにシロアシモジホコリとサウンデルシモジホコリが出現したが、その後の発生は見られなかった。

硫安区 (Fig. 5C) では発生量が対照区の76%で、7種が出現した。発生時期が7月上旬にずれ込み、対照区よりも1ヶ月遅くなった。発生のピークは7月下旬で、ハイイロフクロホコリ、シロジクキモジホコリが優占した。8月から10月にかけてもサウンデルシホネホコリの発生があった。

過リン酸石灰区 (Fig. 5D) では発生量が対照区の7%で、4種が出現した。発生時期は7月上旬にずれ込み、対照区よりも1ヶ月以上遅くなった。それ

Table 2. Myxomycete species and number of samples in order of abundance on leaf litters without (control) and with fertilizer application.

*shows a species of Physarales.

Myxomycete species	Code	Control	Fertilization				Total
			MK	AS	PL	HL	
<i>Physarum melleum</i> (Berk. & Broome) Massee	Pm	184	129	93	11	43	460
<i>Physarum cinereum</i> (Batsch) Pers.	Pc	22	15	114	7		158
<i>Diderma saundersii</i> (Massee) Lado	Ds	72	1	38	4	1	116
<i>Physarum roseum</i> Berk. & Broome	Pr	68					68
<i>Didymium iridis</i> (Ditmar) Fr.	Di	3	55				58
<i>Craterium aureum</i> (Schumach.) Rostaf.	Cra			17			17
<i>Comatricha pulchella</i> (C. Bab.) Rostaf.	Cop		2	2	4		8
<i>Craterium leucocephalum</i> var. <i>cylindricum</i> (Massee) G. Lister	Crhc		1	3			4
<i>Diderma globosum</i> Pers.	Dig		4				4
<i>Diderma effusum</i> (Schwein.) Morgan		1		1			2
<i>Craterium leucocephalum</i> G. Lister			1				1
<i>Didymium leoninum</i> Berk. & Broome		1					1
<i>Didymium melanospermum</i> (Pers.) T. Macbr.						1	1
<i>Physarum leucopus</i> Link			1				1
Total		351	209	268	26	45	899

Abriviation for fertilizers; MK: Magamp plus K complete mature, AS: Ammonium sulfate, PL: Superphosphate of lime, HL: Hydrated lime.

でも発生のピークは7月下旬で、シロジクキモジホコリが優占した。9月から10月にかけてもハイイロフクロホコリの発生があった。

消石灰区(Fig. 5E)では3種が出現し、発生量は対照区の13%に減った。6月中旬から10月まで発生がみられたが、8月から9月は全く発生しなかった。発生量の96%はシロジクキモジホコリであった。

4. 変形菌群集の比較

対照区と施肥区の変形菌群集の種構成と環境要因(Table 1)との関係性をCCAにより分析した(Fig. 6)。第1軸の固有値は0.269($p=0.693$, 寄与率69.1%), 第2軸の固有値は0.120($p=0.662$, 寄与率30.9%)であった。セルロースの分解は、第1軸と第2軸への相関係数が $r=-0.922$ と $r=0.242$ であった。リターpHは、同様に相関係数が $r=0.216$ と $r=-0.941$ で、落葉の分解は、 $r=0.461$ と $r=-0.200$ であった。

第1軸と第2軸のスコアで序列化した群集の配置(Fig. 6)から、対照区とそれぞれの施肥区では遠い配置となり、類似性は低い関係であった。硫酸区と過リン酸石灰区は近い配置となり、類似性は高くなった。しかし、これらはマグアンプ区と消石灰区に対しては類似性が低い関係であった。また、マグアンプ区と消石灰区の類似性は低い関係であった。こうした群集の配置は、第1軸に高い負の相関をもつセルロースの分解($r=-0.922$)と第2軸に高い負の相関をもつリターpH($r=-0.941$)との関係性が強いこ

とが示された。

出現種の配置からは、対照区でアカモジホコリ(Pr), 酸性化した施肥区でアカカミノケホコリ(Cop), ハイイロフクロホコリ(Pc), サカズキホコリ(Cra), ツツサカズキホコリ(Crlc), マグアンプ区でゴマシオカタホコリ(Di), マルホネホコリ(Dig)が特徴的に出現していた。

考察

1. 落葉分解への影響

森林が生態系機能を発揮する上で、落葉層における腐生微生物の働きは基本的で不可欠な役割である。微生物による植物遺体や落葉の分解は、養分を放出して植物に供給するとともに安定な腐植を形成して養分を貯蔵する機能がある。こうした腐植形成には、基質の化学性の変質と微生物作用が変化する側面がある(斉藤 1963)。耕作地では、有機物資材や化学肥料の施用によって土壌中の微生物バイオマスの種類組成が変化する(坂本・大羽 1995, 金澤・田角 2006)。本研究では、化学肥料の添加により落葉堆積の化学性が変化した、落葉分解速度と変形菌の群集構造、および季節的発生パターンが変化した。

窒素肥料の添加により、落葉堆積が弱酸性化したとき、初期の落葉分解とセルロース分解が促進された。一方、消石灰で中性化したときには、初期の落葉分解とセルロース分解はどちらも促進されなかった。これらは、施肥が腐生微生物の働きに影響した

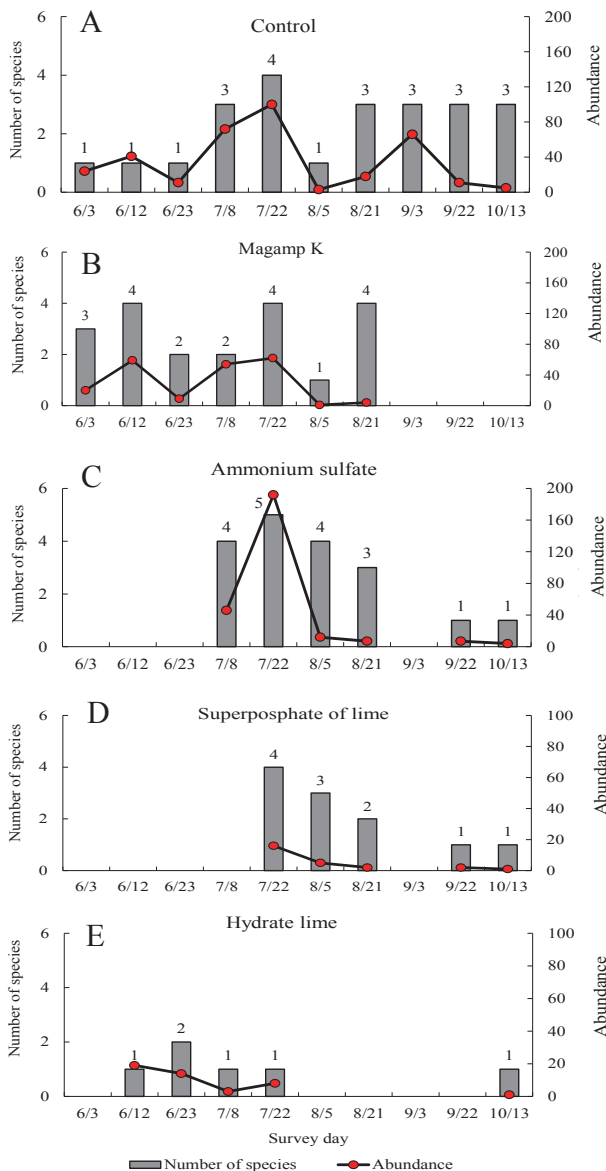


Fig. 5. Seasonal patterns of myxomycete occurrence on leaf litter after application of different fertilizers. A: Control, B: Magamp K, C: Ammonium sulfate, D: Superposphate of lime, E: Hydrate lime.

現れと考えられる。

Kuperman(1999)は、大気汚染由来の窒素が、アルバオーク(*Quercus alba*)の落葉分解を促進すると報告している。大量の窒素添加は腐植の分解を促進し、その理由が微生物活性の上昇にある(Fog 1988)。初期の落葉分解速度は、窒素だけでなく、リン、硫黄の初期濃度とも相関をもっている(Berg & McClaugherty 2004)。本研究においても、配合肥料のマグアンプKと硫安添加において、実験開始1カ月間の落葉分解が促進された。化学的に中性なマグアンプKは、落

葉分解だけでなくセルロース分解も促進した。そのような、初期の有機物の分解が促進された落葉堆積では変形菌の出現種数が増加していた(Table 1)。

硫安区と過リン酸石灰区の酸性化した落葉堆積では、セルロース分解は対照区より促進されていたが、変形菌の発生は1カ月以上遅れた(Fig. 5)。一方、中性化した消石灰区では、初期の落葉分解が進まず、変形菌の発生は2種に抑制された。これは、消石灰によるpHの上昇と殺菌効果によるものと推定され、微生物の働きに影響したと考えられる。このように窒素添加とpHの変化が変形菌の発生に強く影響したと考えられる。

本研究は、微生物による落葉分解やセルロース分解と変形菌の発生との関係を直接的に示すものではない。しかし、変形菌の生育する腐植の環境要因として、基質のpHなどの化学的環境や腐生微生物の活性などがあり、それらが相互に関係して変形菌の生育に影響していると考えられる。

2. pHによる影響

変形菌においては、大気汚染による樹皮の酸性化が樹皮生変形菌の分布に影響を与えることが知られている(Wrigley de Basanta 2000, 2004)。また、別の研究(Keller & Everhart 2010, Takahashi 2014)から、変形菌の分布には基質のpHが影響することが知られている。本研究では、酸性化した硫安区でハイイロクロホコリが優占し、対照区でみられなかったキサカズキホコリが出現した。個々の出現種とpHとの関係をみると、シロジクキモジホコリとサウンデルシホネホコリはどの施肥区でも出現し、シロジクキモジホコリは硫安区以外では優占種となっていた。一方、アカモジホコリは対照区で出現するのみであった。また、ゴマシオカタホコリは施肥によりpHが大きく変動した区では出現しなかった。こうした特徴から、シロジクキモジホコリとサウンデルシホネホコリは生育できるpH範囲が広い種(pH4.6~6.1)であり、逆にアカモジホコリ(pH=5.3)やゴマシオカタホコリ(pH=5.2~5.3)はpH範囲が狭い種であった。基質のpHは、種によってアメーバの増殖

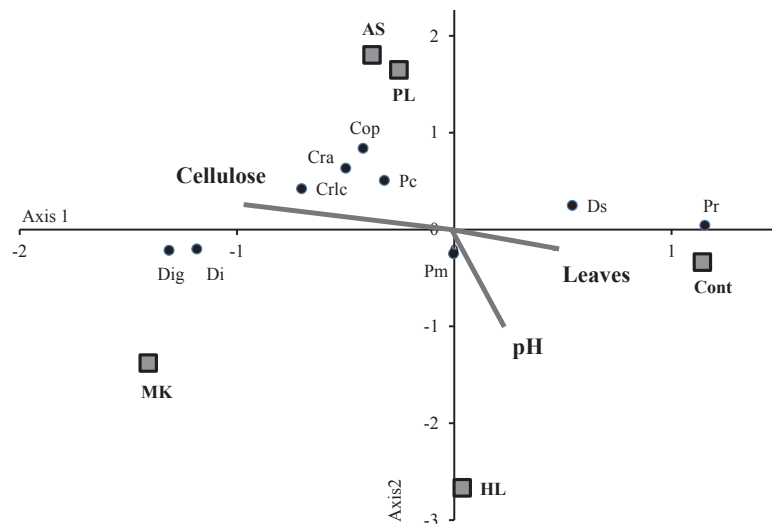


Fig. 6. Canonical correspondence analysis of myxomycete communities and environmental factors: Bars show environmental factors; Cellulose: cellulose decomposition rate, Leaves: leaf decomposition rate, pH: litter pH, ■ Myxomycete community, ● Myxomycete species, abbreviations are shown in Table 2.

The first axial eigenvalue was 0.269 ($p=0.693$, contribution ratio 69.1%). The second axial eigenvalue was 0.120 ($p=0.662$, contribution ratio 30.9%). As for the cellulose composition rate, the correlation coefficients to the first axis and the second axis were respectively $r=0.922$ and $r=0.242$. As for litter pH, the correlation coefficients to the first two axes were $r=0.216$ and $r=-0.941$, and likewise the fallen leaves was $r=0.461$ and $r=-0.200$.

や変形体の形成に影響する (Collins 1973). そのため、落葉層のpHの違いが、栄養増殖段階のアメーバや変形体の成長に影響し、子実体の結実にも影響したと考えられる。施肥による基質のpH変化は、群集の優占種と種構成に影響を与えていた。

酸性雨の影響は、森林の樹木の生育 (伊豆田ほか 2001) だけでなく、土壤中の微生物相 (Lutzow et al. 1992) や小型節足動物 (Kaneko et al. 2000) にも影響している。実験的に酸性雨処理と石灰施用が土壤微生物に与える影響について調べたスウェーデンの針葉樹林での研究 (Persson et al. 1989) は、炭素の無機化速度が酸性雨処理によって低下し、石灰処理によって増大すると報告している。また、一連の落葉の分解段階で微生物相の菌/細菌の比が、pH=5 よりも pH=3 で低くなり、群集構造が変化すると述べている。土壤の酸性化は微生物の細菌や菌類の多様性は変えないが、そのバイオマスを減少させるという報告もある (Cha et al. 2013)。このように、腐植環境のpHの違いは、有機物の分解速度や微生物相に影響を与えている。本研究では実験に配合肥料や混合物を使用しているため、特定の化学成分と落葉分解や腐生生物との関係は明確ではない。しかし、施肥による

基質pHの変化が、変形菌の群集構造や季節的な発生パターンに強い影響を与えたと考える。

近年は大気環境が改善されてきたが、岡山市の大気汚染測定南輝局における雨の酸性度は2007年から2010年の間はpH=4.8~4.9であり (山下ほか 2013)、酸性雨の基準値のpH=5.6よりずっと低い状況にあった。大気汚染による窒素酸化物や二酸化硫黄などの酸性物質は環境負荷として都市部に存在している。こうした大気環境汚染による酸性降下物や農耕地の過剰な化学肥料の施用、および森林の土壤改良などは、森林の落葉層で生活する変形菌にも影響を及ぼしていると考えられる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、実験方法の指導を頂いた岡山理科大学生物地球学部の波田善夫教授と実験地の施設利用を快諾してくださった岡山理科大学自然フィールドワークセンター長 西村直樹教授に感謝の意を表します。また、落葉の採取や変形菌の発生の定期観察に協力してくださった友人や家族に感謝します。

摘要

本研究では、コンテナ中に集積した落葉の堆積に化学肥料を添加する実験により、変形菌群集の優占種と種構成および季節的な発生パターンに現れる影響を調べた。4種類の化学肥料を一定量で落葉堆積に散布し、変形菌の発生を5月から11月に渡って定期的に観察した。その結果、対照区では7種が出現し、シロジクキモジホコリが優占した。中性の配合肥料添加区では、初期の落葉分解とセルロース分解が速まり、変形菌の発生も速まった。しかし、硫安と過リン酸石灰の添加区では落葉堆積が酸性化し、1か月以上も変形菌の発生が遅れるとともに発生量が減少した。また、中性化した消石灰添加区では、特定の種がわずかに発生するにとどまった。pH変化を伴う化学的な環境ストレスは、落葉分解やセルロース分解に影響を与えただけでなく、落葉生変形菌群集の優占種や種構成および季節的な発生パターンに影響を与えた。

引用文献

- Arnolds, E. (1988). The changing macromycete flora in the Netherlands. *Transactions of the British Mycological Society* 90: 391-406.
- Berg, B. & McClaugherty, C., 大園亨司訳(2004). 森林生態系の落葉分解と腐植形成. シュプリンガー・フェアラーク. 東京.
- Cha, S., Lim, S-M. Amirasheba, B., & Shim, J-K. (2013). The effect of simulated acid rain on microbial community structure in decomposing leaf litter. *Journal of Ecology and Environment* 36: 223-233.
- Chao, A. (1984). Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11: 265-270.
- Clivot, H., Pagnout, C., Aran, D., Devin, S., Bauda P. Poupin, P. & Guerold, F. (2012). Changes in soil bacterial communities following liming of acidified forests. *Applied Soil Ecology* 59: 116-123.
- Collins, O. R. & Tang, H. (1973). *Physarum polycephalum*: pH and Plasmodium Formation. *Mycologia* 65: 232-236.
- Fog, K. (1988). The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biological Reviews* 63: 433-462.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1). http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (2016年7月11日閲覧)
- 伊豆田 猛・松村秀幸・河野吉久・清水英幸(2001). 樹木に対する酸性降下物の影響に関する実験的研究. *大気環境学会誌* 36: 137-155.
- 金澤晋二郎・田角栄二(2006). 施肥管理の異なる野菜畑土壌における微生物菌群集構造の解明. *日本土壤肥料学雑誌* 77: 145-155.
- Kaneko, N. & Kofuji, R. (2000). Effects of soil pH gradient caused by stem flow acidification on soil microarthropod community structure in Japanese red cedar plantation: An evaluation of ecological risk on decomposition. *Journal of Forest Research* 5: 157-162.
- 河原輝彦(1985). 森林生態系における炭素の循環-リターフォール量とその分解速度を中心として-. *林試研報* 334: 21-52.
- Keller, H. W. & Everhart, S. E. (2010). Importance of Myxomycetes in Biological Research and Teaching. *Fungi* 3: 13-27.
- 久米 篤・渡辺幸一・永淵 修・朴木英治(2011). 広域大気汚染の現状と森林生態系への影響-屋久島と立山の事例-. *日本生態学会誌* 61: 97-106.
- Kuperman, R. G. (1999). Litter decomposition and nutrient dynamics in oak-hickory forests along a historic gradient of nitrogen and sulfur deposition. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 237-244.

- Lado, C. (2005-2016). Nomen.eumycetozoa.com, An online nomenclatural information system of Eumycetozoa; <http://eumycetozoa.com/data/index.php> (2016年7月11日閲覧)
- Lutzow, M., Zelles, L., Scheunert, I. & Ottow, J. C. G. (1992). Seasonal effects of liming, irrigation, and acid precipitation on microbial biomass N in a spruce (*Picea abies* L.) forest soil. *Biology and Fertility of Soils* 13: 130-134.
- Madelin, M. F. (1984). Myxomycetes, microorganisms and animals: a model of diversity in animal-microbial interactions, in *Invertebrate-Microbial Interactions* (eds Anderson, J. M., Rayner, A. D. M. & Walton, D. W. H.), Cambridge University Press, Cambridge. pp.1-33.
- 梨本 真・高橋啓二・芦原昭一(1993). 関東・甲信地方におけるスギ社寺林の衰退地と健全地の土壌化学性の比較. *環境科学会誌* 6: 121-130.
- 小木曾 正敏・永井裕史(1999). 21-3有機物資材の簡易検定法: (1)ベンチコートろ紙を用いた有機物分解能の検定(21. 土壌改良資材). *日本土壌肥料学会講演要旨集* 45: 231.
- Persson, T., Lundkvist, H., Wiren, A., Hyvonen, R. & Wessen, B. (1989). Effects of acidification and liming on carbon and nitrogen mineralization and soil organisms in mor humus. *Water, Air, and Soil pollution* 45: 77-96.
- Ramirez, K. S., Craine, J. M., & Fierer, N. (2012). Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes biomes. *Global Change Biology* 18: 1918-1927.
- 斉藤 紀(1963). 落葉の分解過程における微生物の相互作用. *土と微生物* 5: 33-38.
- 坂本一憲・大羽 裕(1995). 各種有機物資材の施用が土壌中の糸状菌と細菌のバイオマス比に及ぼす影響. *日本土壌肥料学雑誌* 66: 418-421.
- 菅原冬樹(2007). きのご露地栽培地に発生する真性粘菌(変形菌)-マイタケとトンビマイタケの変形菌病-. *日本きのこ学会誌* 15: 9-16.
- Takahashi, K. (2011). Occurrence of myxomycetes associated with decaying state of leaf-litters in a secondary forest of western Japan. *Hikobia* 16: 95-103.
- Takahashi, K. (2014). Influence of bark characteristics on the occurrence of corticolous myxomycetes in Western Japan. *Journal of Japanese Botany* 89: 35-47.
- 高橋和成・波田善夫(2008). 岡山県南部の二次林における異なる林分の葉リターに発生する変形菌群集の比較. *Naturalistae* 12: 21-32.
- Takahashi, K. & Hada, Y. (2012). Seasonal occurrence and distribution of myxomycetes on different types of leaf litter in a warm temperate forest of western Japan. *Mycoscience* 53: 245-255.
- 徳地直子・大手信人・臼井伸章・福島慶太郎(2011). 窒素負荷に伴う森林生態系の窒素循環過程の検討. *日本生態学会誌* 61: 275-290.
- Wrigley de Basanta, D. (2000). Acid deposition in Madrid and corticolous myxomycetes. *Staphia* 73 155: 113-120.
- Wrigley de Basanta, D. (2004). The effect of simulated acid rain on corticolous myxomycetes. *Systematics and Geography of Plants* 74: 175-181.
- 山崎秀太郎・中山大地・松山 洋(2011). 施肥に伴う硝酸態窒素の河川流出に関する実証的研究-狭山茶園地帯を対象に-. *水文・水資源学会誌* 24: 202-215.
- 山下栄治・江國真幸・松尾太郎・正木智美(2013). 岡山におけるろ過式採取法による降水の観測(V)-2007年~2011年の年平均値の考察-. *Naturalistae* 17: 23-40.
- 山本幸憲(1998). 図説日本の変形菌. 東洋書林, 東京.

(2017年1月4日受理)