

서울지역 삼림에서 세포성 점균의 분포와 토양 미생물과의 관계

홍정림·장남기

서울대학교 사범대학 생물교육과

The Distribution of Cellular Slime Molds in Forests of Seoul Area and Relationship between Cellular Slime Molds and Soil Microorganisms

Hong, Jüng-Lim and Nam-Kee Chang

Dept. of Biology Education, Seoul National University

ABSTRACT

In this study, the distribution of dictyostelid cellular slime molds was investigated from F, H and A₁ horizon of pinus, oak forests in Mt. Puk'an, Mt. Nam and Mt. Kwanak. The relationship of cellular slime molds with other soil microorganisms and abiotic factors were analyzed.

The six species were isolated as follows: *Polysphondylium pallidum*, *Dictyostelium purpureum*, *D. mucroides*, *D. crassaule*, *D. capitatum*, *D. implicatum*. The dominant species in pinus forests was *P. pallidum*, and in oak forests it was *D. mucroides*. In Mt. Nam, *D. mucroides* and *P. pallidum* were isolated at only oak forest.

The Correlations of slime mold abundance with bacteria were significant. Even though positive correlations of cellular slime molds with actinomycetes or fungi were not significant, correlations between soil microorganisms were analyzed. Correlation coefficients were high in Mt. Kwanak($r=0.5921$) and Mt. Nam($r=0.7243$) at significant level $P<0.01$. There were significant correlations between total slime molds and abiotic factors.

It supports that cellular slime molds are limited by foods in nature. In low level of pH, water content and organic matter, that community diversity is more affected by bacteria whose organic degradation capacity is regulated by interactions of soil microorganisms.

Key words: Cellular slime molds, Soil microorganisms, Correlations, Abiotic factors.

서 론

세포성 점균(cellular slime molds: Acrasiales)은 썩어가는 낙엽과 같은 유기물에 주로 서식하며 토양 박테리아를 섭식하는 미생물이다(Cavender와 Raper, 1965b). 생태학적 연구는 Singh(1947)과 여러 연구자들에 의해 주로 세포성 점균의 성장과 분화에 영향을 미치는 환경요인이 연구되어 왔다(Whittingham과 Raper, 1957). 1965년 Cavender와 Raper에 의해 토양에서 종을 정량적으로 분리할 수 있는 방법인 'Clonal Isolation Technique'가 발표된 이후 Cavender(1973, 1976a, b), 최근까지 전세계적으로 지역적 환경과 식생에 따른 출현양상 및 분포를 조사하는 세포성 점균의 생태학적 연구가 확산되었다. 이러한 연구 결과 현재까지 약 60여종의 세포성 점균이 동정되었으며(Raper, 1973; Olive, 1975; Cavender, 1973) 임형, 토양조건, 기후 및 온도 등에 따라 그 분포양상이 다르게 나타나는 것으로 보고되었다(Cavender와 Raper, 1965a, b, c).

세포성 점균 서식의 최적온도는 20~25℃ 정도라고 알려져 있으나, 종에 따라 더 낮은 온도나 높은 온도를 선호하는 종들이 있다(Raper, 1984). 또한 토양의 수분함량은 세포성 점균의 생활사 중 myxamoeba의 증식과 이동에 수분이 중요하게 작용하는 것으로 알려져 있다(Singh, 1947). 토양의 pH는 세포성 점균의 분포에 그리 큰 영향을 미치지 않는 종에 따라 특정 pH의 토양에서 잘 나타나는 것들이 있다(Cavender와 Hopka, 1986). 식생의 종 다양성과 세포성 점균의 종 다양성이 밀접한 관련이 있음이 여러 연구에서 밝혀져 있다(Cavender와 Raper, 1965b, c, 1968; Traub 등, 1981). 세포성 점균은 온대의 낙엽 수림 중에서도 참나무림에 가장 많이 서식하는 것으로 알려져 있으며 송백림에서는 상대적으로 적게 출현한다고 보고된 바 있다(Cavender, 1980, 1983; 홍 등 1992a, b).

Kuserk(1980)은 삼림에서 세포성 점균의 분포 양상은 토양속의 세균류의 수와 종류에 밀접히 관련되어 있음을 밝혔다. 토양 생태계에서 유기물 분해는 물질 순환의 중요한 요소로서 생태계의 기능을 유지하는 전제조건이 되며 이러한 유기물질의 분해는 주로 세균류, 방선균류, 진균류의 효소 분비를 통해 이루어진다. 따라서 세균류를 섭식하는 세포성 점균의 출현과 분포는 생태계의 물질 순환에 관여하는 토양 미생물 군집과 밀접하게 연관되어 있다고 볼 수 있다.

우리 나라에서 세포성 점균에 관한 분포 조사는 홍과 장(1990, 1991), 홍 등(1992a, b)에 의해 주로 이루어져 왔으며 여러 삼림을 중심으로 한 출현과 분포 조사에 집중되어 왔다. 그러나 위에서 지적한 바와 같이 세포성 점균의 생태학적 특성을 규명하기 위해 세포성 점균과 생태적 위치와 역할이 다른 토양 미생물과의 상관을 알아본 연구는 아직 한국에서 수행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 서울 지역 삼림에서 세포성 점균의 분포를 조사하였고 이들 세포성 점균의 군집 크기와 세균류, 방선균류, 진균류간의 상관을 분석하였다. 또한 미생물 개체군의 크기와 연관되어 있는 토양의 유기물, 수분, pH 등의 비생물적 환경요인과의 상관도 분석하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

서울 근교 삼림중 북한산(853m), 관악산(629m) 및 도심에 위치한 남산(262m)을 조사 대상으로 선정하였다. 본 조사지의 지질은 節理와 剝離가 발달한 미립질의 화강암으로 구성되어 있으

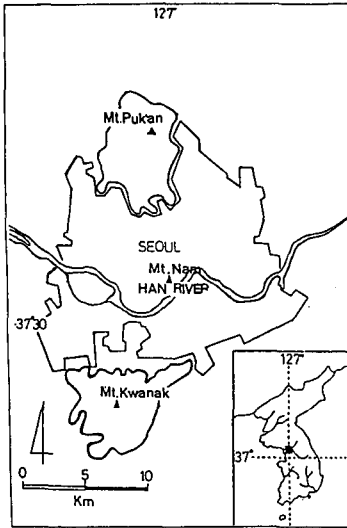


Fig. 1. The map of studied area.

며 谷間에는 배수 양호한 화강암 유래의 토양층이 형성되어 있다. 대부분의 陵線과 山頂은 화강암이 노출되어 있다.

서울의 기후는 연평균기온 11.1°C, 월평균 최고기온 25.4°C(8월), 월평균 최저기온 -4.9°C(1월)로써 연교차 30°C, 연평균 강수량은 1,259mm이며 그 중의 72%가 6~9월에 집중되고 있다.

지형과 관련한 식생은 암석지에는 소나무가, 谷間의 퇴적토양에는 신갈나무가 우점하는 모자이크상의 식생경관을 형성하고 있다.

2. 시료의 채집

토양의 시료는 94년 9월 하순에 일주일에 걸쳐 채집하였다. 채집 방법은 Benson과 Mahoney(1977)의 'Simple Sampling Method'에 따라 수행하였다.

관악산과 북한산 삼림에서는 150m의 고도 상승마다 소나무림과 참나무림에서 각각의 4개의 지소를 선정하였으며 Wide와 Voit(1955)의 토양층 분리에 따라 fermentation(F), humus(H), soil(A₁) horizon의 3개의 층으로 분리 채집하였다. 남산은 삼림의 주요 부분이 철망 울타리에 의해 보호되어 있어 채집상의 어려움으로 인해 100m 고도 상승마다 소나무림과 참나무림 식생에서 각각 2개의 지소를 선정하였다. 역시 각 지소마다 다시 3개의 토양층으로 분리 채집하였다. 토양은 플라스틱 스푼이나 채집용 삽으로 한 움큼 정도 채집하였고 채집된 토양은 비닐 봉지에 담아 5°C 냉장고에 보관하였다.

3. 세포성 점균의 분포 조사

채집된 시료로부터 세포성 점균의 분리는 Cavender와 Raper(1965a)의 'Clonal Isolation Technique'에 따라 수행하였다. 분리된 종은 홍과 장(1990, 1991), Olive(1975), Raper(1984), Hagiwara(1989)의 분류 Key와 종기록, 그리고 다른 많은 연구들의 종기록에 근거하여 동정하였다. 종의 정량은 배양 후 5~6일 정도에 형성된 완전한 자실체를 관찰하여 각종의 수를 콜로니

카운터로 계산하고 Traub 등(1981a, b) 및 Cavender와 Kawabe(1989)의 방법에 따라 출현한 모든 세포성 점균류의 밀도, 빈도, 중요치를 계산하였다.

4. 토양 미생물 정량

토양미생물 정량은 각 삼림에서 식생마다 3개의 토양층 F, H, A₁에서 채취된 토양을 2mm의 체로 잘 거른 다음 각 토양을 정확히 1g 재어 멸균 증류수로 차례로 희석시켜 접종하였다. 배양 방법으로는 선택형 배지(selective media)를 만들어 주입 평판법(pour plate method)을 사용하였다. 각 토양층에 따라 각각의 미생물에 대하여 2 plate씩 접종하여 배양하였다.

세균류(bacteria)를 배양하기 위한 배지는 1,000ml의 증류수에 대하여 5g의 peptone, 3g의 beef extract를 넣고 pH 7.0으로 맞춘 후 멸균한 nutrient agar media(Cappuccino, 1983)를 사용하였다. 접종한 petri dish는 25℃의 항온기에 넣어 2~3일간 배양하였다.

방선균류(actinomycetes)를 위한 배지로는 1,000ml의 증류수에 대하여 5g의 glycerol, 2g의 yeast extract, 15g의 agar를 넣고 pH 7.0으로 맞춘 glycerol yeast extract media를 사용하였다. 멸균한 배지를 45℃로 냉각시키고 세균류의 성장을 막기 위해 액체 배지 1ml당 10 μ g의 aureomycin을 넣었다(Cappucino, 1983). 접종한 후 25℃의 항온기에 넣어 7일간 배양하였다.

진균류(fungi)를 위한 배지로는 증류수 1,000ml에 대하여 40g의 dextrose, 10g의 peptone, 15g의 agar를 넣고 pH 5.6으로 맞춘 Sabouraud agar media를 사용하였다. 멸균시킨 액체 배지를 45℃로 냉각시킨 후 박테리아의 성장을 막기 위해 배지 1ml당 aureomycin 1 μ g을 넣었으며 colony가 선명하게 잘 자라도록 0.02% trion X-100을 넣었다(Cappuccino, 1983). 접종한 후 25℃의 항온기에서 7일간 배양하였다.

배양 완료 후에 한천 배지 위에 형성된 colony수를 Quebec colony counter로 측정하여 평균 값을 구하고 희석 비율대로 토양 건조 중량 1g에 존재하는 균체 수를 계산하였다.

5. 토양 분석

pH는 2mm 체로 친 토양 20g에 증류수 50ml을 가하여 30분간 진탕 후 24시간 방치한 다음, Whatman No.44를 사용하여 상등액을 걸러 표준 완충용액으로 pH meter를 보정 후 측정하였다. 수분함량은 fresh sample 10~20g을 용기의 무게를 잰 100ml beaker에 담은 후 건조기에 넣어 105℃에서 무게가 일정하게 될 때까지 말린 다음, 제습기에서 30분 정도 냉각시킨 후 정량하였다. 무게의 손실량으로부터 fresh moisture의 비율을 계산하였다. 유기물함량은 건조기에서 건조시킨 시료 1g을 도가니에 담은 후 furnace에 넣어 450℃에서 4시간 동안 태운 다음, 제습기에서 30분 정도 식힌 후 작열소실량으로 정량하였다.

결과 및 고찰

서울 도심에 있는 남산과 근교에 소재하고 있는 북한산, 관악산에서 F, H, A₁ 층으로 분리 채집하여 세포성 점균을 동정하였다(Table 1~5). 그리고 각 층에서 세포성 점균과 세균류, 방선균류, 진균류의 총 개체수를 정량하고 pH, 수분, 유기물함량을 측정하였다(Table 6~11). 또한 세포성 점균과 세균류, 방선균류, 진균류의 생물적 환경요인 및 pH, 수분, 유기물 함량 등의 비생물적 환경요인과의 상관을 조사한 결과는 Table 12~15와 같다.

세포성 점균집의 다양성과 크기를 조절하는데 영향을 주는 생물 및 비생물적 환경요인에 대

하여 고찰해 보았다.

1. 서울 삼림에서 세포성 점균의 분포 양상

Table 1, 2에서 보는 바와 같이 북한산에서는 4종의 세포성 점균이 분리되었다. 이중 소나무림에서 출현한 종은 *P. pallidum*, *D. mucoroides*, *D. purpureum*이었으며 *P. pallidum*이 전체 개체수의 70%를 차지하였다. 그 다음으로 *D. purpureum*이 23%, *D. mucoroides*가 7%를 나타내었다.

참나무림에서 출현한 종은 *D. mucoroides*, *P. pallidum*, *D. crassicaule*이었고 이중 *D. mucoroides*가 58%, *P. pallidum*이 34%, *D. crassicaule*가 8%를 차지하였다. *P. pallidum*이 소나무와 참나무림 모두에서 가장 높은 밀도를 나타내었다. *D. mucoroides*는 소나무림에서는 제일 낮은 밀도를 나타내었으나 참나무림에서는 제일 높은 밀도를 나타낸 것으로 보아 이들 식생의 환경 요소가 세포성 점균 분포의 영향을 주는 것으로 사료된다.

관악산 삼림에서는 5종의 세포성 점균이 분리되었다(Table 3, 4). 소나무림에서 출현한 종은 *P. pallidum*과 *D. purpureum* 2종 뿐이었으나, 참나무림에서 출현한 종은 *P. pallidum*, *D. capitatum*, *D. implicatum*, *D. mucoroides*의 4종이 출현하였다. 이중 가장 우세한 출현을 보인 종

Table 1. Cellular slime molds in surface soil of Pinus forests in Mt. Puk'an

Species	Total clones	Rel. dens. (%)	Ave. fre. (%)	Pre-sence (%)	Importance value	Rank
<i>P. pallidum</i>	10,201	70	33	67	80	1
<i>D. purpureum</i>	3,316	23	8	17	17	2
<i>D. mucoroides</i>	1,000	7	4	8	9	3
Total clones	14,517					

Table 2. Cellular slime molds in surface soil of Oak forests in Mt. Puk'an

Species	Total clones	Rel. dens. (%)	Ave. fre. (%)	Pre-sence (%)	Importance value	Rank
<i>D. mucoroides</i>	8,625	58	13	17	49	1
<i>P. pallidum</i>	5,026	34	42	25	45	2
<i>D. crassicaule</i>	1,250	8	4	8	9	3
Total clones	14,901					

Table 3. Cellular slime molds in surface soil of Pinus forests in Mt. Kwanak

Species	Total clones	Rel. dens. (%)	Ave. fre. (%)	Pre-sence (%)	Importance value	Rank
<i>P. pallidum</i>	12,483	96	6	17	72	1
<i>D. purpureum</i>	507	4	3	8	6	2
Total clones	12,990					

Table 4. Cellular slime molds in surface soil of Oak forests in Mt. Kwanak

Species	Total clones	Rel. dens. (%)	Ave. fre. (%)	Pre-sence (%)	Impor-tance value	Rank
<i>P. pallidum</i>	9,750	48	14	25	45	1
<i>D. capitatum</i>	5,083	24	8	17	24	2
<i>D. implicatum</i>	3,650	18	6	8	17	3
<i>D. mucoroides</i>	1,967	10	6	8	11	4
Total clones	20,450					

Table 5. Cellular slime molds in surface soil of Oak forests in Mt. Nam

Species	Total clones	Rel. dens. (%)	Ave. fre. (%)	Pre-sence (%)	Impor-tance value	Rank
<i>D. mucoroides</i>	4,691	85	17	34	74	1
<i>P. pallidum</i>	850	15	6	17	18	2
Total clones	5,541					

은 *P. pallidum*으로 48%를 차지하였고 그 다음으로 *D. capitatum*이 24%, *D. implicatum*이 18%, *D. mucoroides*가 10%를 나타내었다.

본 연구에서는 남산에서 2종의 세포성 점균이 분리되었다(Table 5). 이 2종은 모두 참나무림에서 분리되었으며 소나무림의 경우에는 동정되지 않았다. 남산이 서울 근교에 있는 북한산, 관악산에 비해 매우 적은 종이 출현한 것은 여러 가지 측면에서 고찰해 볼 수 있다. 국립환경연구원보(1993)에 의하면 서울의 외곽지역인 북한산과 관악산 지역의 아황산가스의 농도가 8~18ppb 정도의 비교적 낮은 수준을 나타낸 것에 반해 남산은 9~38ppb으로 보고된 바 있다. 산성 강하물이 토양에 미치는 영향은 토양의 pH가 낮아지면 무기양분인 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ 등의 치환성 염기가 용탈되고 유해한 Al, Mn등이 가용화 되어 토양 미생물상 및 식물상에 변화가 초래되어 공중질소를 고정하는 세균이 감소하고 사상균이 증가하게 된다.

그런데 국립환경연구원보(1992)에 의하면 pH의 값은 남산이 4.1로 가장 낮게 나타나고 북한산 지역은 관악산과 남산보다 높게 나타났다. 이상과 같은 사실로 미루어 볼 때 pH 자체가 세포성 점균의 존재와 분포에 크게 영향을 미치지 않는(심, 1994) 낮은 pH에서 우점하는 특정 세균의 존재는 세포성 점균의 먹이에 간접적으로 영향을 주는 것으로 사료된다. 특히 본 실험에서 남산의 소나무림 토양의 pH 값은 F층에서 최저 3.6까지 나타났다. 대체로 활엽수림에 비해 적은 종이 출현하는 침엽수림인 것을 감안한다면 본 연구에서 남산의 소나무림에서 세포성 점균이 분류되지 않은 것은 낮은 pH에 의한 것으로 사료된다. 또한 유기물 함량도 북한산, 관악산에 비해 풍부하지 못한 환경조건과도 관련되어 있다고 볼 수 있다.

본 조사에서 출현된 종수는 6종으로 다른 삼림과 비교해 보면, 지리산에서는 13종(심, 1994) 한라산에서는 21종(장 등, 1991)에 비하여 매우 적은 종수가 동정되었으나 한국의 낙엽수림에서 조사된 평균 출현 종수인 4.1(홍, 1990)과는 큰 차이가 없었다. 이렇게 적은 종이 출현한 것은 우선 서울지역 삼림은 다른 삼림에 비해 개박달나무-들양지꽃군락, 소나무-노간주나무군락, 신

갈나무군락, 느티나무-귀룽나무군락의 4개의 주요 군락과 3하위 군락으로 구성되어 있고 각 군락의 최대평균 종수가 50이하의 단순한 식생을 나타낸다고 하였다(김과 김, 1988). 식생의 종 다양성은 세포성 점균의 종 다양성과 밀접한 관련이 있음이 여러 연구에서 밝혀졌다(Cavender와 Raper, 1965b, c, 1968; Trab 등, 1981). 그러므로 서울지역에서 적은 종수가 출현한 것은 단순한 식생구조와 연관되어 있는 것으로 사료된다.

또한 서울지역은 심각한 대기 오염도를 나타내는데 대기오염도 역시 종 다양성에 영향을 준 것으로 볼 수 있다. 국립환경연구원보(1992)에 의하면 오염물질 강하량의 증가는 토양의 전기전도도에 직접적으로 반영되는데 전기전도도는 수도권중에서도 남산이 가장 높게 나타났으며 더우기 토양 pH는 전기전도도와 고도의 負 상관을 나타낸다고 하였다. 수도권 지역의 삼림토양은 대부분 pH가 낮고 緩衝能도 낮아 산성강하물의 영향을 크게 받고 있어 이들 지역의 삼림 식생에도 영향을 미칠 것으로 생각하였다. 또한 중금속 오염에 관한 장과 이(1990)의 연구에 의하면 서울의 34개 지소에 식재되어 있는 은행나무 가로수의 떨어진 낙엽을 채취하여 S, Pb, Cd의 함량을 분석한 결과 Pb, Cd 함량은 서울의 도심지역에서 높은 함량을 나타낸다고 하였다. 그리고 장 등(1990)의 소나무 수피에 축적된 Pb, Cd 함량을 조사해 본 결과 서울시내 중심지역(창경궁, 종암동)의 Pb함량은 17.8ppm, 17.1ppm으로 근사한 값을 나타냈으며 도봉산 수락산의 7.6ppm, 3.7ppm에 비해 현저히 높은 함량을 나타내었다. 또한 계룡산 Pb함량은 서울 산악지역의 평균값 8.2ppm과 근사한 값을 보이고 있다고 하였다. 또한 소나무 수피의 Cd함량은 서울시내 중심지역인 종암동이 0.65ppm으로 가장 높고 관악산 0.61ppm, 도봉산 0.52ppm이며 계룡산은 0.62ppm으로 서울지역과 유사한 값을 나타낸다고 하였다.

비록 낙엽과 수피의 중금속은 토양에서만 흡수되는 것은 아니나 이와 같은 연구 결과로 미루어 볼 때 도심에 위치하는 남산이 가장 심각한 중금속오염을 나타내 외곽에 있는 북한산과 관악산도 남산과는 유의한 차이가 있다해도 대체로 서울지역 삼림토양은 심각한 중금속 축적을 나타낸다고 볼 수 있다.

그러므로 이러한 산성 강하물과 중금속은 식생 및 토양 생태계에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 박(1995)의 계룡산에서 세포성 점균의 분포에 관한 연구에 의하면 출현 종수는 6종으로 서울지역 삼림과 유사하다. 또한 Pb 함량이 높을수록 출현 개체수가 적은 경향을 나타낸다고 하였는데 이는 중금속 축적에 있어 서울지역과 유사한 토양 환경이라고 볼 때 본 연구와도 일치된다고 하겠다.

북한산, 관악산, 남산 삼림에서 가장 우세하게 출현한 종은 *P. pallidum*이었으며 특히 소나무림에서는 가장 높은 상대 밀도를 나타내었다. *P. pallidum*은 토양의 F층과 H층에서 비교적 고른 분포를 나타내었으며 이는 최(1993)가 제주도 비자림에서 행한 연구에 의하면 비자림 전역에서 고른 분포를 보인 결과와도 일치된다. 아마도 *P. pallidum*은 침엽수림이나 서울과 같은 토양의 pH가 낮은 삼림에서 우세하게 분포하는 것으로 사료된다. 반면에 *D. mucoroides*는 참나무림에서 높은 출현 빈도를 나타내었다. 이는 홍(1990), 심(1994)이 한국의 주요 낙엽수림과 지리산에서 조사한 세포성 점균의 분포 결과와 일치된다.

2. 세포성 점균과 토양 미생물 및 비생물적 요인과의 관계

토양을 표층으로부터 F, H, A₁으로 분리채집하여 Bacteria, Actinomycetes, Fungi의 총 개체수 및 각 층의 pH, 수분, 유기물 함량을 측정한 결과는 Table 6~11과 같다. 세균류는 토양 1g 당 10⁵~10⁶의 범위를, 방선균류와 진균류는 10⁴~10⁵ 범위로 출현하였다. 세포성 점균과 각 미

Table 6. Micropopulations and abiotic factors of Pinus forests in Mt. Puk'an

Horizon	Bacteria ($\times 10^4$ /g · dry)	Actinomycetes ($\times 10^4$ /g · dry)	Fungi ($\times 10^4$ /g · dry)	pH	Water content(%)	Organic matter(%)
1-F	66.5±16.2	8.0± 2.8	82.5±13.4	3.8	25.5	37.4
-H	178.5±14.8	21.0± 2.8	80.5± 4.9	3.9	22.8	30.0
-A ₁	37.0±11.3	1.0± 0.0	17.0± 4.2	4.2	11.2	14.5
2-F	141.0±62.3	103.0±21.2	106.0±15.5	4.7	33.1	63.8
-H	22.0± 8.4	29.6±10.6	60.0±16.9	4.2	9.2	22.6
-A ₁	14.5± 4.9	8.6± 3.5	24.0± 8.4	4.3	5.7	11.8
3-F	164.0±22.6	16.6± 0.7	99.0± 1.4	4.8	55.5	88.3
-H	183.0±18.3	23.0± 4.2	64.5±20.5	4.5	40.5	81.4
-A ₁	77.0±21.2	26.6± 6.3	39.5± 6.3	3.7	31.1	32.0
4-F	224.0± 8.4	12.6± 3.5	203.5± 9.1	3.7	31.1	55.5
-H	260.5±16.2	6.6± 2.1	72.0± 2.8	3.7	22.3	38.8
-A ₁	22.0± 1.4	15.0± 1.4	10.0± 2.8	3.8	13.6	20.9

Table 7. Micropopulations and abiotic factors of Oak forests in Mt. Puk'an

Horizon	Bacteria ($\times 10^4$ /g · dry)	Actinomycetes ($\times 10^4$ /g · dry)	Fungi ($\times 10^4$ /g · dry)	pH	Water content(%)	Organic matter(%)
1-F	339.5±34.6	13.0± 0.0	14.5±0.7	4.5	15.7	25.9
-H	328.5±33.2	19.5± 7.7	5.5±2.1	4.1	28.4	37.7
-A ₁	226.0±42.4	30.0± 1.4	6.0±1.4	4.3	20.8	25.0
2-F	410.5±26.1	32.5± 3.5	6.0±1.4	4.5	52.6	71.3
-H	539.5±28.9	31.0± 8.4	5.0±2.8	4.8	37.1	55.1
-A ₁	305.0± 9.8	15.5± 0.7	4.0±1.4	4.7	32.5	47.8
3-F	483.0±66.4	63.0± 8.4	25.0±5.6	4.5	27.1	52.5
-H	604.5±95.4	99.0±18.3	32.5±9.1	4.5	21.2	39.8
-A ₁	87.0± 7.0	31.5± 2.1	15.5±0.7	4.7	12.6	20.9
4-F	41.0± 1.4	10.5± 2.1	2.0±0.0	4.0	67.2	75.5
-H	278.5±40.3	19.0±11.3	2.0±0.0	4.3	36.7	50.3
-A ₁	191.0± 5.6	20.5± 0.7	1.5±0.7	4.4	32.4	42.6

미생물간의 상관을 삼림, 식생, 토양층에 따라 분석한 결과(Table 12~15) 관악산, 남산, 소나무림, H층에서 높은 상관을 나타내었다.

세포성 점균과 각 미생물간의 유의한 상관($r > 0.5$, $P < 0.01$)을 나타낸 미생물은 세균류이다. 이는 세포성 점균과 세균류간의 포식과 피식의 관계가 반영된 결과로 사료된다. 본 연구에서는 세포성 점균과 방선균류, 진균류와는 유의한 상관이 분석되지 않았다. 그러나 소나무림에서는 세균류와 진균류간의 상관($r = 0.517$, $P < 0.01$)이 있음이 분석되었고 관악산에서는 방선균류와 진균류간의 상관($r = 0.6146$, $P < 0.01$)이, H층에서는 세균류와 방선균류간의 상관($r = 0.5219$, $P < 0.01$)이 나타났다. 이는 토양의 수분이나 pH 등의 환경적 요소가 다름에 따라 각 토양에서 유기물 분해에 대한 토양 미생물의 역할 비중이 달라지기 때문인 것으로 생각된다(Ronaldb와 Bartha, 1981).

소나무림은 대체로 pH가 낮아 높은 산성도를 나타내어 진균류의 cellulase, xylanase의 활성도가 중요하게 작용함이 알려져 있다(유, 1987). 따라서 소나무림에서는 세균류와 진균류의 작

Table 8. Micropopulations and abiotic factors of Pinus forests in Mt. Kwanak

Horizon	Bacteria ($\times 10^4$ /g · dry)	Actinomycetes ($\times 10^4$ /g · dry)	Fungi ($\times 10^4$ /g · dry)	pH	Water content(%)	Organic matter(%)
1-F	202.5±67.2	3.5±0.7	14.5±6.3	4.1	44.8	68.3
-H	118.0±14.1	8.0±4.2	44.0±8.4	4.3	9.0	36.4
-A ₁	84.0±19.8	3.5±0.7	4.0±1.4	3.9	10.0	13.8
2-F	111.0±12.7	15.0±1.4	13.5±0.7	4.3	24.8	35.7
-H	113.0±29.7	12.0±4.2	9.5±3.5	4.0	13.7	22.9
-A ₁	67.5± 3.5	11.5±0.4	11.5±3.5	4.0	7.0	10.9
3-F	112.5±20.5	7.5±0.4	11.5±0.7	4.3	32.5	46.7
-H	43.0± 4.2	9.5±3.6	8.0±4.2	4.7	17.0	35.2
-A ₁	60.0± 8.4	9.0±2.8	5.0±1.4	3.9	11.3	13.8
4-F	61.0±29.7	28.0±4.2	28.5±2.1	4.4	31.1	51.5
-H	89.5±48.1	22.5±9.9	24.5±3.5	4.0	12.5	23.3
-A ₁	191.0±21.2	7.0±1.4	12.5±3.5	4.7	12.3	17.4

Table 9. Micropopulations and abiotic factors of Oak forests in Mt. Kwanak

Horizon	Bacteria ($\times 10^4$ /g · dry)	Actinomycetes ($\times 10^4$ /g · dry)	Fungi ($\times 10^4$ /g · dry)	pH	Water content(%)	Organic matter(%)
1-F	211.0±32.5	16.0±2.8	14.5±0.7	4.5	46.2	67.4
-H	69.5±19.0	6.0±1.4	5.5±0.7	4.3	16.4	29.4
-A ₁	54.0± 5.6	3.0±0.0	2.0±0.0	4.2	6.9	10.0
2-F	208.5±17.6	7.5±0.9	6.5±0.7	4.2	30.9	43.9
-H	33.5± 7.7	3.5±0.9	5.0±0.0	3.6	17.3	37.8
-A ₁	119.5±21.9	2.0±0.0	2.0±0.0	4.2	12.6	17.0
3-F	88.0± 8.4	2.5±0.9	3.0±0.0	4.7	10.9	20.1
-H	54.5± 9.1	2.0±0.0	1.5±0.7	4.8	6.2	10.1
-A ₁	55.0± 4.2	1.5±0.9	1.5±0.7	4.3	11.4	13.8
4-F	178.0± 0.0	9.5±3.5	13.0±0.7	6.1	22.1	30.1
-H	434.0±60.8	7.5±2.1	3.5±0.7	5.7	11.9	38.5
-A ₁	100.0± 1.4	4.5±0.7	1.5±0.7	5.1	15.4	12.3

용이 유기물 분해에 중요한 역할을 함으로써 이들간의 상관성이 나타난 것으로 생각된다.

또한 수분이 많은 토양에서는 섬유소의 분해가 주로 진균류에 의해 이루어진다(Ronalb와 Bartha, 1981)는 것이 보고되었다. 본 연구에서도 세포성 점균, 세균류, 진균류와 수분양간의 유의한 상관성이 있음이 분석되었고 유기물 함량과도 상관성이 있었다.

남산에서는 세포성 점균과 세균류간의 가장 높은 상관($r=0.7243$, $P<0.01$)을 나타냈는데 남산은 유기물 함량이 북한산이나 관악산에 비해 적게 나타났다. 이런 환경적 차이로 인해 유기물 함량과 세포성 점균, 세균류간의 상관성이 있었으며 세포성 점균과 세균류간의 상관성이 높게 나타난 것으로 볼 수 있다.

즉 수분이나 유기물이 부족한 환경에 대해 포식과 피식의 관계가 민감하게 변동하는 것으로 생각된다. 본 연구에서 남산은 pH값이 낮은 소나무림에서는 세포성 점균이 분리되지 않았고 pH 5 이상의 참나무림 토양층에서만 분리되었으므로 세균류와 pH간에는 정상관을 나타내고 진균류와 세포성 점균간이나 진균류와 세균류간에는 負의 상관성을 나타낸 것으로 사료된다.

Table 10. Micropopulations and abiotic factors of Pinus forests in Mt. Nam

Horizon	Bacteria ($\times 10^4$ /g · dry)	Actinomycetes ($\times 10^4$ /g · dry)	Fungi ($\times 10^4$ /g · dry)	pH	Water content(%)	Organic matter(%)
1-F	45.5±19.0	34.0±12.7	26.5± 0.7	3.6	33.6	24.8
-H	62.5±12.0	25.0± 1.4	35.5± 0.7	3.6	14.6	18.9
-A ₁	45.0± 7.0	25.0± 1.4	25.0± 2.8	3.7	15.3	19.3
2-F	121.0± 9.8	88.5±16.2	25.0± 2.8	3.8	5.4	12.8
-H	113.0±29.7	56.5±20.5	63.5±16.2	4.0	7.4	13.2
-A ₁	78.0±36.7	40.0± 2.8	28.0± 1.4	4.2	7.9	12.1

Table 11. Micropopulations and abiotic factors of Oak forests in Mt. Nam

Horizon	Bacteria ($\times 10^4$ /g · dry)	Actinomycetes ($\times 10^4$ /g · dry)	Fungi ($\times 10^4$ /g · dry)	pH	Water content(%)	Organic matter(%)
1-F	303.0±21.2	84.0±36.7	31.5±3.5	5.7	32.9	37.8
-H	141.5±26.2	33.5± 0.7	6.5±0.7	5.4	12.6	27.0
-A ₁	144.5± 6.3	44.5± 4.9	14.0±1.4	4.2	16.6	22.0
2-F	177.5±17.6	16.0± 1.4	13.0±1.4	6.5	15.4	25.9
-H	199.5±14.8	18.5± 2.1	14.5±0.7	6.1	18.3	28.7
-A ₁	133.5± 4.9	7.0± 1.4	4.0±1.4	4.9	11.2	20.1

Table 12. Correlation matrix between total number of clones in slime molds and other bio-physical parameters in Pinus forests (n=30)

	1. SM.	2. Bac.	3. Act.	4. Fun.	5. pH	6. Wat.	7. OM.
1. Slime molds							
2. Bacteria	0.6253**						
3. Actinomycetes	-0.1624	0.0531					
4. Fungi	0.1200	0.5117**	0.2364				
5. pH	0.3374*	0.0714	0.0622	-0.0368			
6. Water content	0.4298**	0.4816**	-0.0269	0.4115*	0.2597		
7. Organic matter	0.4532**	0.5497**	0.0320	0.5027**	0.4361**	0.9156**	

*Significant level at $0.05 < P < 0.01$ **Significant level at $P < 0.01$

Slime molds, Bacteria, Actinomycete, Fungi: total number of clones.

관악산에는 세포성 점균과 세균류($r=0.5921$, $P<0.01$)간의 정상관이 있었으나 세포성 점균과 방선균류나 진균류간에는 負상관을 나타내었다. 또한 방선균류와 진균류간에는 정상관이 분석되었다. 이는 세균류의 활동이 방선균류나 진균류에 비해 상대적으로 활발하게 진행됨으로써 세균류가 적게 출현하는 곳에서 방선균이나 진균류의 비율이 높아진 것으로 생각된다.

Table 13. Correlation matrix between total number of clones in slime molds and other bio-physical parameters in Nt. Nam (n=12)

	1. SM.	2. Bac.	3. Act.	4. Fun.	5. pH	6. Wat.	7. OM.
1. Slime molds							
2. Bacteria	0.7243**						
3. Actinomycetes	0.3595	0.3346					
4. Fungi	-0.1257	-0.1758	0.4506				
5. pH	0.5592*	0.7799**	-0.2053	-0.4600			
6. Moisture	0.4448	0.3225	0.0661	-0.0582	0.1728		
7. Organic Matter	0.7488**	0.7208**	-0.0154	-0.3509	0.6694**	0.7801**	

*Significant level at $0.05 < P < 0.01$

**Significant level at $P < 0.01$

Slime molds, Bacteria, Actinomycete, Fungi:total number of clones.

Table 14. Correlation matrix between total number of clones in slime molds and other bio-physical parameters in Mt. Kwanak (n=24)

	1. SM.	2. Bac.	3. Act.	4. Fun.	5. pH	6. Wat.	7. OM.
1. Slime molds							
2. Bacteria	0.5921**						
3. Actinomycetes	-0.1224	0.0121					
4. Fungi	-0.0217	0.0230	0.6146**				
5. pH	0.4646*	0.5344**	-0.0414	-0.0785			
6. Moisture	0.2718	0.3169	0.3283	0.2199	0.0053		
7. Organic Matter	0.3071	0.4152*	0.3653*	0.4180*	0.0185	0.9061**	

*Significant level at $0.05 < P < 0.01$

**Significant level at $P < 0.01$

Slime molds, Bacteria, Actinomycete, Fungi:total number of clones.

H층에서는 세포성 점균과 세균류, 세포성 점균과 수분, 유기물 함량간의 정상관을 나타내었다. F층은 H층에 비해 수분이나 유기물 함량이 많아 미생물 군락도 크지만 세균류와 더불어 진균류의 역할이 크다. 그러나 H층은 F층에 비해 전체 미생물 수가 적어지는 반면 세균류의 역할이 높아지며 진균류의 활동이 감소하는 경향이 나타나 더 민감한 먹이와의 상관이 있는 것으로 사료된다.

Table 15. Correlation matrix between total number of clones in slime molds and other bio-physical parameters in H horizon (n=20)

	1. SM.	2. Bac.	3. Act.	4. Fun.	5. pH	6. Wat.	7. OM.
1. Slime molds							
2. Bacteria	0.5121**						
3. Actinomycetes	-0.0783	0.5219**					
4. Fungi	-0.0767	-0.1144	0.2768				
5. pH	0.2118	0.3026	-0.0137	-0.4126**			
6. Moisture	0.4539*	0.5153**	0.0794	0.0049	-0.0237		
7. Organic Matter	0.4567*	0.4611*	0.0252	0.0690	0.0930	0.8598**	

*Significant level at $0.05 < P < 0.01$ **Significant level at $P < 0.01$

Slime molds, Bacteria, Actinomycete, Fungi:total number of clones.

토양 생태계에서 식물에 의해 유입된 섬유소는 주로 곰팡이, 버섯들에 의하여 먼저 분해된다. 세균류는 곰팡이가 분해시킨 산물을 취하거나 직접 유기물을 분해하며 선충류나 원생동물에 의해서 먹힌다. 그러나 이때 토양 조건에 따라 이들 미생물간의 역할이 달라지는데 습기가 많은 토양에서는 균류에 의해 주로 섬유소 분해가 일어나고 약간 건조한 토양에서는 세균이 우점종을 이룬다. pH는 미생물 활성에 중요한 영향을 끼쳐 pH 5.5 이하에서는 진균류가 우점을 이루고 pH 5.5 이상과 중성 및 알칼리에서는 다양한 세균류가 주로 관계한다. 호기성 조건에서는 다양한 세균류와 진균류가 섬유소를 분해하고 혐기성 조건에서는 세균류는 섬유소 분해에 중요한 역할을 하지만 진균류의 역할은 미비하다.

본 연구에서 세포성 점균과 세균류간의 상관성이 분석되었고 세균류, 방선균류, 진균류간에는 부분적인 상관성이 분석되었다. 이 상관은 pH가 낮은 소나무림이나 수분, 유기물이 북한산에 비해 상대적으로 적은 남산에서 나타났으며 F층에 비해 산소가 적고 수분, 유기물이 적은 H층에서 나타났다. 이것은 방선균류나 진균류가 토양의 pH, 수분, 유기물 함량 등의 요인들이 변화하면 세균류와 유기물 분해에 대한 역할과 비중을 달리함으로써 세포성 점균의 분포와 군락을 조절하는데 관여하는 것으로 사료된다.

적 요

북한산, 관악산, 남산의 소나무림과 참나무림에서 F, H, A₁ 토양층별로 세포성 점균의 분포를 조사하고 세포성 점균과 토양 미생물의 총 개체수간의 상관 및 미생물적 환경 요소와의 상관을 분석하였다.

분포 조사결과 *Polysphondylium pallidum*, *Dictyostelium purpureum*, *D. mucoroides*, *D. crassaule*, *D. implicatum*, *D. capitatum* 등 6종의 세포성 점균이 분리 동정되었다. 소나무림에서

는 *P. pallidum*이, 참나무림에서는 *D. mucoroides*가 우세하게 출현하였다. 남산에서는 참나무림에서만 *D. mucoroides*와 *P. pallidum*의 2종이 출현하였다.

출현한 각 세포성 점균과 토양 미생물간의 상관성을 분석한 결과 세균류와 유의한 상관이 있었으나 방선균류와 진균류와의 상관성은 유의하지 않았다. 세균류, 방선균류, 진균류간에는 부분적으로 상관이 분석되었다. 관악산($r=0.5921$, $p<0.01$), 남산($r=0.7243$, $p<0.01$)에서 높은 상관이 나타났으며 식생별로 분석했을 때는 소나무림($r=0.6523$, $p<0.01$)에서, 토양층에서는 H층($r=0.5121$, $p<0.01$)에서 상관이 나타났다. pH, 수분, 유기물함량과의 상관도 분석되었다.

본 연구결과, 세균류는 세포성 점균 군집을 조절하는 한 요소로 작용한다고 볼 수 있다. 또한 pH, 수분, 유기물 등의 비생물적 요소에 따라 토양생태계에서 물질 순환에 관여하는 세균류, 방선균류, 진균류들간의 유기물 분해능이 변화된다. 따라서 pH가 낮고 수분이나 유기물이 적은 토양 환경에서는 세포성 점균군집은 세균류에 의해 더욱 강하게 조절되는 것으로 사료된다.

인용문헌

1. 박미아. 1995. 중남부 삼림 지역에서의 세포성 점균의 출현과 분포. 서울대학교 석사학위 논문(인쇄중).
2. 김종호, 이기성, 최영길. 1988. 서울 근교 산지의 삼림 식생에 대한 식물 사회학적 연구. 한국생태학회지, 11(2): 67-74.
3. 김중희, 이호원. 1989. 낙엽 세탈액에 따른 토양 미생물의 성장. 한국생태학회지, 12(2): 67-74
4. 심규철. 1994. Cellular Slime Molds in Mt. Chiri. 서울대학교 석사학위 논문.
5. 유준희. 1987. 리기다 소나무림의 부식토에 있어서 Cellulose, Xylanase 및 토양 미생물의 연간 활성도와 층별 분포. 서울대학교 석사학위 논문.
6. 이홍재, 이민효, 김동호, 김상돈. 1992. 대기오염과 산성비에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구(II-5). 국립환경연구원보, 14: 255-263.
7. 장남기, 배진호, 김승철. 1990. 서울 지역의 대기 오염이 강수와 생물에 미치는 영향 -4. 지역별 소나무 수피의 Pb와 Cd 함량 변화-. 한국생태학회지, 13(3): 173-180.
8. 장남기, 이경형. 1990. 서울지역의 대기오염이 강수와 생물에 미치는 영향 -3. 지역별 은행나무 낙엽의 S, Pb, Cd의 함량-. 한국생태학회지, 13(3): 165-172.
9. 조홍범, 이기성, 최영길. 1985. 극상림 토양과 토양 미생물의 분포. 한양대학교 환경과학 논문집, 6: 105-116.
10. 최두문, 김종균. 1981. 한국산 점균식물의 분류학적 연구. 공주사범대학 과학교육 연구. 13: 83-112.
11. 최선영. 1993. 제주도 비자람에서 세포성 점균의 분포 및 비자열매 추출액의 성장 효과에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문.
12. 홍정수, 장남기. 1990. 남한의 주요 낙엽수림에서 세포성 점균의 출현과 분포. 한국식물학회지, 33(3): 159-168.
13. 홍정수, 장남기. 1991a. 인천 근해 도서지역의 해안식물 군락에 따른 세포성 점균의 출현과 분포. 한국생태학회지, 14(4): 457-467.
14. 홍정수, 장남기. 1992a. 고등학교 생물교육에서 세포성 점균의 교재성과 탐구활동 내용 및 전

- 락의 개발. 한국생물교육학회지, 20(1): 73-82.
15. 홍정수, 장남기. 1992b. 한라산의 세포성 점균 (Ⅲ). - 한국산 미기록 극낭 양성 종의 기록. 한국식물학회지, 35(4): 307-316.
 16. 홍정수, 장남기, 1992c. 한국산 세포성 점균의 1 신종, *D. flavidum* sp. nov.의 기록. 한국식물학회지, 35(3): 197-203.
 17. 홍정수, 장남기. 1993. 한라산의 세포성 점균 (Ⅲ). - 한국산 미기록 극낭 음성 종의 기록. 한국식물학회지, 36(1):9-17.
 18. 홍정수, 권혜련, 장남기. 1992a. 한라산의 세포성 점균 (Ⅰ). -해발 900m 이상의 삼림에서 세포성 점균의 출현과 분포. 15(2): 181-189.
 19. 홍정수, 권혜련, 장남기.(1992b). 한라산의 세포성 점균(Ⅱ). -난온대 지역에서의 출현과 분포. 15(2): 191-200.
 20. Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons Int. America, : 148-163.
 21. A. P. Gutierrez. 1992. The physiological basis of ratio-dependent predator-prey theory: The metabolic pool model as a paradigm. Ecology, 73(5): 1552-1563.
 22. Benson, M. R. and D. P. Mahoney. 1977. The distribution of Dictyostelid cellular slime molds in southern California with taxonomic notes on selected species. Am. J. Bot., 64: 496-503.
 23. Blaskovics, J. C. and K. B. Raper. 1957. Encystment stage of *Dictyostelium*. Bilo. Bull., 113: 58-88.
 24. Bonner, J. T. 1967. The cellular slime molds, Princeton Univ. Princeton, p.205.
 25. Cappuccinelli, P. and J. M. Ashworth. 1977. Development and Differentiation in the Cellular Slime Molds. Elsevier /North-Holland Biomedical Press. Amsterdam, 317 p.
 26. Cappuccino, I. G. and N. Sherman. 1983. Microbiology, a laboratory manual. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. America, Canada, : 315-320.
 27. Cavender, J. C. 1980. Cellular slime molds of the southern Appalachians. Mycologia, 72: 55-63.
 28. Cavenders, J. C. and K. Kawabe. 1989. Cellular slime molds of Japan. I. Distribution and Biogeographical considerations. Mycologia, 81: 683-691.
 29. Cavender, J. C. and K. B. Raper. 1965a. The Acrasiales in nature. I. Isolation. Am. J. Bot., 52: 294-296.
 30. Cavender, J. C. and K. B. Raper. 1965b. The Acrasiales in nature. II. Forest soils as a primary habitat. Am. J. Bot., 52: 297-302.
 31. Cavender, J. C. and K. B. Raper. 1968. The occurrence and distribution of Acrasieae in forests of subtropical and tropical America. Am. J. Bot., 55(4): 504-513.
 32. Cavender, J. C. 1969a. The occurrence and distribution of Acrasieae in forest soils. I. Europe. Am. J. Bot., 56(9): 989-992.
 33. Cavender, J. C. 1969b. The occurrence and distribution of Acrasieae in forest soils. II. East Africa. Am. J. Bot., 56(9):993-998.
 34. Cavender, J. C. 1970. *Dictyostelium dimigraformum*, *Dictyostelium latersorum*, and

- Acytostelium ellipticum*: New Acrasieae from the American tropics. J. Gen. Microbiol., 62: 113-123.
35. Cavender, J. C. 1972. Cellular slime molds in forest soils of eastern Canada. Can. J. Bot., 50: 1497-1501.
 36. Cavender, J. C. 1973. Geographical distribution of Acrasieae. Mycologia, 65: 1044-1054.
 37. Cavender, J. C. 1976a. Cellular slime molds of Southeast Asia. I. Description of new species. Am. J. Bot., 63: 60-70.
 38. Cavender, J. C. 1976b. Cellular slime molds of Southeast Asia. II. Occurrence, and Distribution. Am. J. Bot., 63: 60-70.
 39. Cotter, D. A. and K. R. Raper. 1966. Spore germination in *Dictyostelium discoideum*. Proc. Natl. Acad. Sci, USA 56:880-887.
 40. Cotter, D. A. and K. R. Raper. 1968. Spore germination in strains of *Dictyostelium discoideum* and other members of the Dictyosteliaceae. J. Bacterio., 96: 1680-1689.
 41. Dengler, R. E., M. F. Filosa and Y. Y. Shao. 1970. Ultrastructural aspects of macrocyst production in *Dictyostelium mucoroides* (Abstr.). Am. J. Bot. 57: 737.
 42. Frank T. Kuserk. 1980. The relationship between cellular slime molds and bacteria in torst soil. Ecology, 6(16): 1474-1485.
 43. Gross, J. D., M. J. Peacey and D. J. Trevan. 1976. Signal emission and signal propagation during early aggregation in *Dictyostelium discoideum*. J. Cell Sci., 22: 645-656.
 44. Hagiwara, H. 1973. The Acrasiales in Japan. II. Rept. Tottori Mycol. Inst., 10: 591-595.
 45. Hagiwara, H. 1989. The taxonomic study of Japanese Dictyostelid cellular slime molds. Natl. Sci. Mus. Tokyo, p. 131p.
 46. Horn, E. G. 1971. Food competition between cellular slime molds. Ecology. 52: 475-484.
 47. Ishikawa T. O., H. Urushihara and K. Yanagisawa. 1991. Involvement of cell surface carbohydrates in the sexual cell fusion of *Dictyostelium discoideum*. Delop. Growth & Differ., 33(2): 131-137.
 48. Landolt, J. C. and S. L. Stephenson. 1990. Cellular slime molds in forest soils of West Virginia. Mycologia, 82: 114-119.
 49. McRobbie, S. G. 1986. Chemotaxis and cell motility in the cellular slime molds. CRC Critical Reviews in Microbiology. 13: 335-375.
 50. Nickerson, A. W. and K. B. Raper. 1973. Macrocysts in the life cycle of the Dictyosteliaceae. I. Formation of the macrocysts. Amer. J. Bot. 60: 190-197.
 51. Olive, L. S. 1967. The *Protostelida*-a new order of the mycetozoa. Mycologia, 59: 1-29.
 52. Olive, L. S. 1975. The mycetozoa: A revised classification. Bot. Rev., 59-89.
 53. Raper, K. B. and J. C. Cavender. 1968. *Dictyostelium rosarium*: a new cellular slime mold with beaded sorocarps. J. Elisha Mitchell Sci. Soc., 84: 31-47.
 54. Raper, K. B. 1935. *Dictyostelium discoideum*, a new species of slime mold from decaying forest leaves. J. Agr. Res., 50: 135-147.
 55. Raper, K. B. 1984. The Dictyoselids. Princeton Univ., Princeton, p. 453.

56. Roos, W., Scheidegger, C. and G. Gerisch. 1977. Adenylate cyclase activity oscillations as signals for cell aggregation in *Dictyostelium discoideum*. Nature, 266: 259-261.
57. Ross, F. M. and P. C. Newell. 1981. Streamers: Chemotactic mutants of *Dictyostelium* with altered cGMP metabolism. J. Gen Microbiol, 127: 339-350.
58. Singh, B. N. 1947. Studies on soil Acrasieae. I. Distribution of species of *Dictyostelium* in soils of Great Britain and the effect of bacteria on their development. J. Gen. Microbiol., 1: 11-21.
59. Smith, K. L. and R. P. Keeling. 1968. Distribution of the Aceasieae in Kansas grasslands. Mycologia, 60: 711-712.
60. Stephenson, S. L., J. C. Landolt and G. A. Laursen. 1991. Cellular slime molds in soils of Alaskan tundra. Arctic and Alpine Research, 23: 104-107.
61. Traub, F. and H. R. Hohl. 1976. A new concept for the taxonomy of the family Dictyosteliaceae (cellular slime molds). Am. J. Bot., 63: 664-672.
62. Traub, F., H. R. Hohl and J. C. Cavender. 1981. Cellular slime molds of Switzerland. I. Description of new species. Am. J. Bot., 68: 162-172.
63. Wurster, B. and U. Butz. 1980. Reversible binding of the chemoattractant folic acid to cells. Eur. J. Biochem., 109: 613-618.