

*Rhizopus*屬의 染色體에 關한 研究

— I. *Rhizopus*屬 7種에 對하여 —

閔 丙 禮 · *李 澤 俊 · **崔 榮 吉

(淑明女大 · *中央大學校 **漢陽大 生物學科)

Chromosomal Studies on the genus of *Rhizopus*

— I. Chromosomal studies on 7 species of genus *Rhizopus* —

MIN, Byung-Re, Taik Jun Lee,* and Yong-Keel CHOI**

(Sookmyung Women's Univ., *Chungang University, and** Hanyang University)

ABSTRACT

This experiment was designed to elucidate the life cycle of 7 species (*Rh. nigricans*, *Rh. delemar*, *Rh. oryzae*, *Rh. acidus*, *Rh. tritici*, *Rh. formosaensis* and *Rh. japonicus*) in genus *Rhizopus* isolated from Korean soil, so as to seize the appropriate stage for detecting their chromosomal number and nuclear size under the method of thin layer slide culture using modified Rogers(1965a) medium. The results are summarized as the followings;

1. The haploid chromosome number are found 16 in *Rh. nigricans*, the highest number among 7 species. In *Rh. formosaensis*, the haploid chromosome number are 12, in *Rh. tritici* are 9, and in *Rh. delemar*, *Rh. acidus*, *Rh. oryzae* and *Rh. japonicus* are 8, respectively.

2. Comparing the 7 species of *Rhizopus* with each other, it may be concluded that the basic haploid chromosome number of genus *Rhizopus* distributed in Korean soil are 8 and that *Rh. nigricans* is double of the basic haploid chromosome number ($n=16$). Besides them, the other two species (*Rh. tritici* and *Rh. formosaensis*) are believed aneuploids.

緒 論

곰팡이 무리의 細胞分裂에 關한 研究는 1890 年代부터 始作되었다고 생각된다. Olive(1953)는 곰팡이의 核은 細胞分裂 동안의 構造와 行動이 高等한 植物과 다른 點이 없으며 核分裂이 일어날때 명확한 染色體를 확인할 수가 있고 減數分裂의 과정도 高等한 生物에서 일어나는 과정과 同一하다고 說明한바 있다. 또한 一般적으로 營養核(vegetative nuclei)의 크기가 다른 生

物에 비하여 매우 작기 때문에 細胞分裂 研究에 많은 난점이 있음을 보고하였다.

곰팡이의 染色體를 研究하기 위하여는 여러가지 어려움이 있다. 그 중의 하나로는 染色體의 크기가 매우 작은 점으로 *Echinosteleium*과 같은 곰팡이의 染色體 크기는 1μ 미만인 것으로 알려져 있다(Haskins 1979, Heath 1978, Alexopoules and Mims 1979). 또 다른 점으로는 곰팡이의 核物質에는 단백질 構成이 보통의 動植物과는 달리 히스톤(histone)이 없기 때문에 染色體가 잘 나타나지 않는다는 것이다(Heath

1978). 그 외에 細胞分裂이 매우 짧은 時間內에 끝나는 점이다. *Puccinia graminis*의 경우를 보면 生活史 中에서 染色체를 관찰할 수 있는 中期 및 前中期를 나타내는 細胞가 약 5,000~10,000개의 細胞中에서 단 몇 개의 細胞에 지나지 않았으며 그것도 단 몇초 동안만 계속되었음이 알려져 있다(McGinnis 1953).

現在까지 分類 定着된 菌類는 약 40,000여種이 되는데(Ainsworth, 1973) 전술한 여러가지 어려운 때문에 染色體 數가 확인된 곰팡이의 수는 약 400여종에 불과하다(Min and Choi 1981). 그중에서도 대부분의 報告는 광학 현미경을 이용한 것이고 주로 자낭균과 담자균의 減數分裂時에 관찰한 結果들이다.

*Rhizopus*屬에 對한 細胞分裂 과정 및 染色體 數에 대한 보고는 많지 않다. *Rh. nigricans*의 減數分裂 과정 中에서 Sjowall(1945, 1946)은 二倍體의 核을 觀察하였으며, 菌糸內의 核分裂에서 半數體의 染色體數가 16개임을 확인한 F-lanagan(1969)의 보고가 있을 뿐 극히 미진한 상태이다.

본 연구는 *Rhizopus nigricans* 이외의 *Rhizopus*屬의 染色體를 이들의 生活史의 어느 시기를 택하여 관찰할 수 있는가와 그 방법에 관하여 실험하였고 그 결과를 정리하였다.

材料 및 方法

實驗 材料로는 高麗大學校 生物學科로부터 분양받은 *Rhizopus*屬중의 7種을 實驗 對象으로 하였으며 *Rh. delemar* Wehmer et Hanzawa, *Rh. acidus* Yamamoto, *Rh. oryzae* Went et P-rinsen Geerlings, *Rh. japonicus* Vuillemin, *Rh. tritici* Saito, *Rh. formosaensis* Nagazawa, *Rh. nigricans* Ehrenberg 등이다. 이 7種은 우리나라 중부 이남과 제주 일원에서 수집하여 분류한 種 中의 一部이다(Lee and Yoon 1973).

(1) 培 養

培養은 2% potato dextrose agar (Difco)에 yeast extract를 첨가(1당 5g의 yeast extract를 넣음)한 배양액(PDYA라 칭함. Rogers. 1965a)을 멸균한 petri-dish에 넣고 孢子를 接種시킨 후 恒溫器에 넣어 26~28°C하에 培養하면서 계속

孢子를 취할 수 있도록 하였다.

生活史를 알아보기 위하여는 특별히 고안한 thin-layer slide culture(unpublished, Min and Choi) 方法을 이용하였다. 즉 petri-dish안에 여과지와 slide-glass를 넣고 멸균기에 넣어 120°C에서 3~4시간 완전 멸균시킨후 멸균한 배양액을 petri-dish 안의 slide-glass 상에 얇은 박층으로 만들었다. 배양액이 건조하여지는 것을 막기 위하여 멸균한 증류수로 petri-dish에 넣어 두었던 여과지를 포화시켜 놓아 균류의 배양조건을 항상 일정하도록 유지시켜 주었다. slide-glass 상의 培地에 포자를 접종한 후 petri-dish안에 넣어 항온기에 넣고 3시간 이후부터 25시간까지 매 2시간 간격으로 염색 고정한 후 광학 현미경 하에서 관찰하였다.

염색체수를 관찰하기 위한 배양은 멸균한 petri-dish에 PDYA 배양액을 넣은후 포자를 접종시켜 다량 배양시키고 매번 19~22시간간에 재료를 취하여 고정 염색후에 관찰하였다.

(2) 試料의 固定

試料의 固定은 Farmer's 溶液(anhydrous ethanol 3: glacial acetic acid 1) 또는 Carnoy's 溶液(absolute alcohol 60: chloroform 30: glacial acetic acid 10)에 약 1시간~24시간까지 固定 處理하였다. 固定處理한 試料은 70% ethanol로 세척하고 증류수로 2회 세척한 후 1N HCl에서 60°C로 10~12분간 가수분해시켰다(Rogers 1965a).

Thin-layer slide culture가 아닌 경우는 固定, 加水 分解하는 과정 中에서 試料가 떨어져 나가는 것을 막기 위하여 slide-glass 상에 미리 egg albumin을 도말하고 공기 中에서 건조시킨 후에 試料을 취하여 그 위에 놓고 固定하였다.

(3) 細胞 貯藏物質의 除去

細胞 貯藏 物質의 除去 方法은 slide-glass 위에 固定시킨 試料들을 加水分解 처리한 후 멸균 증류수(약 60°C~80°C)로 수회 세척하였는데 이는 균류의 細胞膜과 염료들의 可溶性을 촉진시키고 菌類의 染色體 觀察에 방해 물질이 되는 oil 성분을 제거하기 위한 Storey(1967) 方法을 변형하여 利用하였다.

(4) 染色體의 染色處理 및 觀察

Roger의 方法에 따라 slide상에 少量의 材料를

놓고 phosphate buffer (pH7.2)를 한 방울 떨어 뜨린 후 Giemsa staining solution(Merck)으로 3~4分間 染色하고 1~2회 증류수로 세척하였다 이어서 3% KOH를 적하한 후(Rogers 1965) cover을 덮고 여분의 染色液은 여과지로 除去한 후 squash하여 검경하였다.

현미경 검경은 매회 oil immersion을 이용하여 1,500배의 배율로 관찰, 사진을 촬영하였다.

細胞分裂 中期를 많이 관찰하기 위하여 0.001, 0.01, 0.1% colchicine을 孢子가 발아하는 thin layer slide상에 처리한 다음 약 3時間 後 固定시키고 순서에 따라 染色하여 細胞分裂을 觀察하였다.

結果 및 考察

(1) *Rhizopus*속의 life cycle

본 실험에 사용한 *Rhizopus* 속의 7 species는 life cycle이 매우 유사하였다. spore를 thin layer slide media 에 접종한 후 3hr 후에는 swelling 하여(Plate 1-1) 원래의 것보다 크기가 커지며 일부 spore에서는 germination이 시작되었다. germination은 spore의 한 방향에서만 진행되는 것이 아니며, 발아관(germination tube)은 다수의 방향에서 진행되는 것을 볼 수 있었다(Plate 1-2). germination tube는 그 이후 hyphae로 성장하면서 약 9hr 후에는 새로운 branching hyphae로 분화됨을 관찰할 수 있었다(Plate 1-3). 약 13hrs부터는 Rhizoid의 형성이 (Plate 1-4) 시작되면서 hyphae 내에서 많은 핵분열이 (Plate 1-5)이 일어나지만 hyphae가 매우 가늘고 핵의 크기가 작아서 염색체의 수를 세기에는 적합하지 않았다.

17hrs 후에는 환경조건이 좋지 못할 경우에 *Rh. delemar*, *Rh. oryzae*, *Rh. acidus*, *Rh. tritici*, *Rh. japonicus* 등에서는 chlamyospore의 형성이 관찰되었다(Plate 1-6).

19hrs 경부터는 뿌리모양 혹은 손가락모양의 가근이 잘 발달되며 그 위로 포자낭병이 생기기 시작하며 포자낭내에 핵분열이 많이 일어남을 관찰하였으며(Plate 2-1) 이어서 spore 형성이 시작된다. (Plate 2-2) 이어서 25시간 배양체에서는 포자낭으로부터 포자가 분리되어 한 세대

가 마무리된다(Plate 2-3).

22hrs 이후의 배양체의 old hyphae 내에서는 많은 oil drops이 있었는데(Plate 2-4) Sudan III로 염색하였을 때 이들이 oil drops임을 확인할 수 있었다.

*Rhizopus*의 vegetative hyphae는 어린 시기에는 무격막의 다핵체이나 old hyphae에서는 속이 비어있고, 대부분이 septum이 생기는 것을 관찰할 수가 있었고, 그 외에 분명히 밝혀지지 않은 많은 spherical bodies 등이 있었다. 그러므로 *Rhizopus* 속의 일반적인 1 generation time은 대강 20~25시간에 걸쳐서 진행됨을 알 수 있었다.

以上과 같이 *Rhizopus*屬의 生活史를 調査함과 同時に 核分裂을 觀察할 目的으로 孢子囊柄의 形成時期인 培養後 약 19~22시간 培養한 材料에서 染色體를 觀察한 바 孢子囊柄 形成時期가 染色體 觀察에 最適期로 나타났다. 一般的으로 활발한 細胞質運動이 있는 部位에서의 核은 보통의 核보다 크기가 크나 이에 反하여 細胞質作用이 減小된 部位의 核은 커지지 않고 染色質 덩어리로 된다. 孢子囊柄이 發達하는 동안은 多量の 細胞質이 많은 核을 가지고 어린 孢子囊內로 流入되어 細胞質의 움직임이 크게 된다(Cutter 1942, 1951, Alexpoules and Mims 1979). 는 報告들은 孢子囊柄 形成期가 染色體 觀察에 最適期로 나타난 本實驗 結果와 一致됨을 볼 수 있었다.

(2) *Rhizopus* 속의 염색체

균류의 chromosome의 일반적인 형태는 고등 동식물에서 볼 수 있는 형태와는 판이하였다. 대부분이 dot 형태를 이루고 있었으며, 정확한 염색체수의 관찰은 sporangiophore 내의 핵에서 일어나는 mitosis의 metaphase에서 염색체수를 확인하였다. 감수분열관찰을 위한 zygote의 형성은 유도할 수가 없었으며 *R. nigricans*에서 염색체수를 관찰하였던 Flanagan(1969)도 균류의 zygote 형성의 희귀함을 인정하고 있다.

균류의 염색체는 일반적으로 단상(n)이 보통이며 본 시료도 예외가 아님을 알 수 있었다.

염색체의 수는 *Rhizopus*의 species에 따라 조금씩 다르게 나타났는데 그 결과는 Table 1와 같다.

Table 1. The chromosome number of seven species belongs to the genus of *Rhizopus*

species	chromosome number (n)
<i>Rh. nigricans</i>	16
<i>Rh. delemar</i>	8
<i>Rh. oryzae</i>	8
<i>Rh. acidus</i>	8
<i>Rh. tritici</i>	9
<i>Rh. formosaensis</i>	12
<i>Rh. japonicus</i>	8

(2-1) *Rh. nigricans* Ehrenberg; 포자를 PDYA 배지에 접종시킨 후 26~28°C의 항온기에 넣어 약 19시간 배양했을 때 rhizoid (root-shaped)가 발달하였고 그 위로 열은 갈색의 포자낭병이 성장하였다. (Plate 4-1, 2) 이 시기가 (sporangiophore)의 굵기가 굵고 핵의 크기도 커서 (Plate 3-1, 2) chromosome count하기가 가장 수월하였다.

chlamyospore는 관찰할 수가 없었다. *Rh. nigricans*의 염색체수는 조사한 *Rhizopus* 속 중에서 가장 많은 n=16개였다 (Plate 3-3). 염색체의 모양은 점 모양의 것과 막대모양의 것이 혼합되어 있었다.

(2-2)의 *Rh. delemar*; 포자를 PDYA 배지에 접종시켜 26~28°C의 항온기에서 약 20시간 배양한 재료에서 갈색의 포자낭병의 형성과 함께 많은 핵분열이 일어남을 관찰하였다 (Plate 3-7). 염색체의 모양은 대체로 절모양이고 염색체의 수는 반수체의 수가 8개였다 (Plate 3-4).

(2~3) *Rh. oryzae* Went et Prinsen-Geerling : 포자를 PDYA 배지에 접종시켜 26~28°C의 항온기에 넣어 약 20시간 배양한 재료에서 공기중으로 올라온 열은 갈색의 포자낭병에서 동시에 왕성한 핵분열이 일어남을 관찰할 수가 있었다 (Plate 3-6). 염색체의 모양은 대체로 점모양과 세포모양의 것이 혼합되어 있고 염색체의 수는 반수체가 8개 이다 (Plate 3-5).

(2-4) *Rh. acidus* Yamamoto : 약 21시간 배양한 재료에서 올라온 열은 황갈색의 포자낭병에서 많은 핵분열이 관찰되었다 (Plate 3-8). 염색체의 모양은 주로 곰팡이 무리의 전형적인 모습인 작은 점 모양이고 반수체의 수는 8개였다 (Plate 3-9).

(2-5) *Rh. tritici* Saito : 약 21시간 배양한 후 핵분열을 관찰할 수 있었다. 잘 발달한 가근위로 열은 갈색의 포자낭병이 형성되었을 때 염색체를 관찰하였다. 일반적으로 점모양이며 조사한 *Rhizopus* 속의 7종 중에서 유일하게 염색체수가 n=9개였다 (Plate 3-10).

(2-6) *Rh. formosaensis* Nakazawa : 약 21시간 배양한 후 열은갈색으로 올라온 포자낭병에서 핵분열을 관찰하였다. 염색체의 모양은 다른 6종과는 다르게 긴 막대모양의 것이 나타났고 염색체의 수는 반수체가 2개로서 *Rh. nigricans* 16개 다음으로 많은 수였다 (Plate 3-11).

(2-7) *Rh. japonicus* Vuilliemien : 약 22시간 배양한 후 열은 황갈색으로 성장하는 포자낭병에서 핵분열을 관찰하였으며 염색체의 모양은 일반적인 곰팡이 염색체와 달리 V자형의 것이 많았으며 염색체의 수는 *Rh. delemar*, *Rh. oryzae*, *Rh. acidus*와 같이 반수체가 8개였다 (Plate 3-12).

곰팡이의 염색체의 구조와 수를 연구하는데는 많은 난점이 있으나 (Heath, 1978) 여러 species에서 정확한 mitosis와 meiosis의 모습을 관찰한 다수의 학자들이 있음을 문헌조사에서 확인할 수 있다.

그중에서도 특히 Singh, U.P. (1972)와 같은 사람은 Basidiomycetes의 일종인 *Ravenelia*의 4 species에서 mitotic division과 meiotic division을 통하여 염색체의 morphological pattern을 조사 발표하였다. Rogers (1968)은 *Xylaria curta*에서 광학현미경을 통하여 훌륭한 diplotene, diakinesis, early metaphase를 보여주고 있다.

광학현미경을 통하여 곰팡이 무리의 염색체를 확인하는데 필요한 결정적인 염색법은 McClintock (1945)에 의하여 이루어졌다. 그러나 균류의 life cycle을 알기 위한 배양기술의 난점이 있어 왔다. 저자는 우선 곰팡이의 life cycle 중에서 어느 시기에 염색체의 관찰이 가장 용이한가를 확인하기 위하여 thin layerd slide culture (Min and Choi 1980, unpublished)를 도입하여 이들 *Rhizopus* 7종의 생활사를 확인할 수 있었고 이러한 배양기술에서 얻어진 *Rhizopus* 배양체를 Giemsa solution 외에 2% aceto-carmin, (60% acetic acid 2% orcein을 넣은 것 (Rogers 1964)) Iron aceto-carmin, Feulgen reaction 등을 모두

사용하여 실험했다. 그러나 대부분 핵의 염색이 흐리게 되어 chromosome을 관찰할 수가 없었으나 HCl-Giemsa method에 의한 staining이 fungus nuclei의 연구에 가장 효과적임을 확인하였다. (Hrushovefz, S.B. 1956, Knox-Davies and Dickson 1960, Ward and Ciurysek 1961). metaphase를 다수 유도하기 위하여 colchicine을 1~3시간까지 전처리하여 주었으나 큰 효과를 확인할 수가 없었다.

Sinoto, L. and A. Yuassa(1940)가 yeast의 세포학적 연구에 colchicine을 사용하였으나 아무런 변화도 없었으며 Slifkin, M.K.(1967)는 0.0001%부터 0.30%까지 여러 농도로 구분처리하였을 때를 비교하였으나 colchicine은 somatic nuclear division에는 아무런 영향도 끼치지 않는다고 보고하였다. 이러한 제보문의 연구결과는 본실험의 결과와 일치하고 있다.

시료의 fixation은 Farmer's soln.과 Carnoy soln.을 사용하였을 때 Carnoy soln.이 더 staining이 잘되었으며 이는 군사체내의 oil drops 때문인 것 같다.

많은 문헌들에서 광학현미경으로 곰팡이의 염색체를 관찰하기에는 크기가 너무 적은 것으로 말하고 있으나 어떤 경우에는 fungal nuclei와 chromosome은 광학 현미경으로도 관찰하기에 충분할 정도의 크기를 가지고 있으며(Flanagan, D.W.1970) 실제로 관찰이 가능하다. 특히 *Rhizopus nigricans* 경우 Sjowall(1945, 1946)이 meiosis가 일어나는 diploid nucleus를 관찰한 일이 있으며 동일종에서의 vegetative nuclei도 conventional mitosis에 의하여 분열함을 보았다. (Flanagan, P.W. 1969)

본실험에서 확인한 결론중의 하나는 적어도 *Rhizopus* 속의 염색체를 확인하기에 가장 적합한 시기는 hyphae의 분화과정중 sporangiophore의 형성시기를 포착하는 것이 가장 바람직한 것으로 확인되었다.

Rhizopus 속의 분류학적 위치를 고찰하면 Fuller, M.S.(1976)는 군류를 6개의 evolutionary

lines으로 정하고 이들의 핵분열에 가장 뚜렷한 차이점으로는 centric group과 non-centric group으로 구분하고 있다.

그중에서 특히 higher fungi에 속하는 noncentric mitosis를 유도하는 groups으로 zygomycetes의 위치를 정하고 있다.

Zygomycetes에 속하는 phycomyces와 Mucorales의 mitotic apparatus는 lower aquatic fungi와 ascomycetes의 중간으로 mitotic apparatus에 의한 evolutionary sequence로는 ascomycetes의 선조로 보고 있다. (Frank and Reau 1973)

본실험에서 확인한 *Rhizopus*의 염색체수 중에서 *Rh. nigricans*에서의 $n=16$ 개는 Flanagan(1969)과 일치하고 있으나, *Rh. delemar*, *Rh. oryzae*, *Rh. acidus*, *Rh. japonicus* 등에서는 $n=8$ 이고, *Rh. formosaensis*에서 $n=12$ 개 *Rh. tritici*가 $n=9$ 개였다. fungi의 경우에는 이미 많은 aneuploidy와 polyploidy가 존재함이 보고되어 있다(Pittenger 1953, Boone and Keitt 1956, Pantecorub and Käfer 1958, Enox-Davies P.S. and J.G.Dickson. 1960)

Knox-Davies *et al.*(1960)에 의하면 "aneuploidy nuclei"는 anaphase에서 염색체의 non-disjunction의 결과로서 ascous 등에서 생기거나 혹은 vegetative hyphae에 세포들에서 동시에 일어나는 핵분열동안에 spindle fibers의 융합으로서 aneuploidy나 혹은 polyploidy가 됨을 보고하고 있다. 고등한 생물의 somatic tissues를 실험실에서 배양하는 동안에도 많은 polyploidy나 aneuploidy가 생기는 것이 일반적인 형성이며 fungi vegetative mycelium에서의 aneuploidy는 실험실에서 성장하는 fungi에서는 일반적인 현상으로 설명하고 있다.

따라서 우리나라에 분포하는 *Rhizopus* 속의 기본 염색체수는 $n=8$ 인 것으로 사료되며 이것으로부터 생긴 異數體(aneuploidy)로서 $n=9$ 인 *Rh. tritici*와 12개인 *Rh. formosaensis*가 나타났고 2倍體로서 $n=16$ 개인 *Rh. nigricans*가 나타난 것으로 생각된다.

摘 要

본 논문에서는 우리나라에 分布하는 7종의 *Rhizopus* 속을 PDYA 배지에서 Thin layer-slide culture 방법을

통하여 이들의 life cycle 및 염색체수를 관찰하였다. *Rhizopus*의 각종은 life cycle의 pattern이 약간의 차이는 있으나 유사하였으며 염색체수의 관찰을 위해서는 sporangiophore의 형성시기가 가장 적기임을 확인하였다.

*Rhizopus*는 일반적으로 포자낭포자를 형성하였으며 *Rh. nigricans*, *Rh. formosaensis*를 제외한 나머지 5종에서는 chlamydospore가 형성됨을 확인하였고 hyphae는 다핵체이며 분화과정에서 rhizoid를 형성하였다. 그리고 old hyphae는 septum이 형성되었음을 확인하였다.

*Rhizopus*의 염색체수는 *Rh. nigricans*는 $n=16$, *Rh. formosaensis*가 $n=12$, *Rh. tritici*는 $n=9$ 이고 나머지 *Rh. delemer*, *Rh. oryzae*, *Rh. acidus*, *Rh. japonicus*는 $n=8$ 로서 우리나라에 分布하는 *Rhizopus* 속의 반수체의 기본염색체수는 8개로 생각되며 *Rh. nigricans*는 기본수의 배數體로서, *Rh. tritici* 및 *Rh. formosaensis*는 異數體로서 생각된다.

引用文獻

- Ainsworth, G.C.: "Introduction and keys to higher taxa" in G.C. Ainsworth, F.K. Sparrow, and A.S. Sussman (eds.), *The Fungi*, Vol. 4B, Academic, New York, 1973: 1~7.
- Aldrich, H.C. & C.W. Mims 1970. Synaptonemal complexes and meiosis in *myxomycetes*. *Am. J. Bot.* **57**(8): 935~941.
- Aldrich, H.C. 1971. Synaptonemal complexes and meiosis in *Didymium iridis*, a reinvestigation. *Mycol.* **63**: 308~316.
- Alexopoulos, C.J. and C.W. Mims. 1979. *Introductory Mycology*. John Wiley and Sons. Cutter, V.M. 1942. Nuclear behavior in the Mucorales II. The *Rhizopus*, *phycomyces* and *sporodinia* patterns. *Bull. Torrey. Bot. Club.* **69**(8): 592~616.
- Day P.R., D.M. Boone & G.W. Keitt. 1956. *Venturia inaquilias* (cke) Wint. XI. The chromosome number. *Am. J. Bot.* **43**: 835~838.
- Flanagan, D.W. 1968. The life cycle and cytology of *Brachyallomyces*. Ph. D. Thesis. McGill University, Montreal Que.
- _____. 1969b. Nuclear division in the vegetative hyphae of *Rhizopus nigricans* and *Phycomyces blakesleenus*. *Can. J. Bot.* **47**: 2055~2059.
- _____. 1970. Meiosis and mitosis in Saprolegniaceae. *Can. J. Bot.* **48**: 2069~1079.
- Frank, W.W. and Reau, R. 1973. The mitotic apparatus of Zygomycetes, *Phycomyces blakesleenus*. *Arch. Mikrobiol.* **90**: 121~129.
- Fuller, M.S. 1976. Mitosis in Fungi. *Int. Rev. Cytol.* **45**: 113~153.
- Gillies, C.H. 1972. Reconstruction of the *Neurospora* pachytene karyotype from serial sections of synaptonemal complexes. *Chromosoma*.
- Haskins, E.F. 1976. High voltage electron microscopical analysis of chromosomal number in the slime mold *Echinostelium minutum* de Bary. *Chromosoma* (Berl.) **56**: 95~100.
- Harris, S.E., J.P. Braselton and C.E. Miller. 1980. Chromosomal number of *Sorosphaera veronicae* (Plasmediophoromycetes) based on ultrastructural analysis of synaptonemal complexes. *Mycol.* **72**: 916~925.
- Heath, I.B. & M.C. Heath. 1976. Ultrstructure of mitosis in the cowpea rust fungi *Uromyces phaseoli* var *vignae*. *J. Cell Biol.* **70**: 592~607.
- Heath, I.B. 1974a. In "The Cell Nucleus" (H. Busched) Vol. II pp. 487~515 Academic Press. New York.
- _____. 1978. Mitosis in the fungi in "Nuclear division in the fungi" Academic Press. New York.
- _____. 1980. Fungal mitosis, the significance of variations on a theme. *Mycol.* **72**: 229~250.
- Hirsh, H.E., W.C. Snyder & H.N. Hansen. 1949. Chromosome number in Hypocreaceae. *Mycol.* **41**: 411~415.
- Hrushovetz, S.B. 1956. Cytological studies of ascus development in *Cochiobolus sativus*. *Can. J. Bot.* **34**: 641~651.
- Ingold, C.T. 1978. In "The Biology of Mucor and its allies." Edward Arnold.
- Knox-Davies, P.S. & J.G. Dickson. 1960. Cytology of *Helminthosporium turcicum* and its ascigerous stage, *Trichometasphaeria turcica*. *Am. J. Bot.* **47**: 329~339.
- Lee, Y.N. & K.H. Yoon. 1973. Studies on the amylase of *Rhizopus* (I) *Kor. Jour. Microbiol.* **11**: 31~50.
- Lighten, T.J., Dill, B.C., Stock, J.J. & Philips, C.

1971. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **68** : 677~680.
- McClintock, B. 1945. *Neurospora* I. Preliminary observations of the chromosomes of *Neurospora crassa*. *Am. J. Bot.* **32** : 671~678.
- McGinnis, R.C. 1953. Cytological studies of chromosomes of rust fungi. I. The mitotic chromosomes of *Puccinia graminis*. *Can. J. Bot.* **31** : 522~526.
- McGinnis, R.C. 1956. Cytological studies of chromosomes of rust fungi III. The relationships of chromosome number to sexuality in *Puccinia*. *J. Heredity*. **47** : 255~259.
- Min, B.R. & Y.K. Choi. 1981. The chromosome number of fungi (I). *Kor. Jour. Microbiol.* **19** : 78~101.
- Min, B.R. & Y.K. Choi. 1981. (unpublished) Thin layer-slide culture of fungi.
- Olive, L.S. 1953. The structure and behavior of fungus nuclei. *The Botan. Rev* 439~578.
- _____. 1965. Nuclear behavior during mitosis. In "The Fungi I." Academic Press 143~161.
- Pantocorub and Kafer. 1958.
- Pittenger. 1953.
- Roger, J.D. 1964. *Hypoxylon prunatum*: The chromosome number. *Mycol.* **56** : 369~373.
- _____. 1965a. The conidial stage of *Conichaeta ligniaria*: Morphology and Cytology. *Mycol.* **57** : 368~378.
- _____. 1965b. *Hypoxylon fuscum*: cytology of the ascus. *Mycol.* **57** : 789~803.
- _____. 1967a. *Hypoxylon multiforme*: cytology of the ascus. *Mycol.* **59** : 295~305.
- _____. 1967c. Cytological aspect of the ascospore of *Hypoxylon grenadense* var. *macrospora*. *Can. J. Bot.* **45** : 1166~1168.
- Roger, J.D. 1968a. *Hypoxylon deustum*: The chromosome number. *Mycopathol. Mycol. Appl.* **35** : 249~255.
- _____. 1968c. Nuclear phenomena in the asexual spore of *Hypoxylon puchtulatum*. *Ca. J. Bot.* **46** : 865~866.
- _____. 1968d. *Xylaria curta*: cytology of the ascus. *Can. J. Bot.* **46** : 1337~1340.
- Singh, U.P. 1972. Morphology of chromosome in *Ravenellia* sp. *Mycol.* **64** : 205~207.
- Singh, U.P. 1979. Cytology of *Puccinia ruelliae*. *Mycol.* **71** : 1197~1205.
- Sinote, L. and A. Yuassa. 1940. *Cytologia*. 11.
- Slifkin, M.K. 1967. Nuclear division in *Saprelegnia* as revealed by colchicine. *Mycol.* **59** : 431~445.
- Sjowall, M. 1945. *Akad. Avh. Lund.* 1~97.
- _____. 1946. Über die zytologischen Verhältnisse in dem Keimschauchen von *Phycomyces blakaleenus* und *Rhysopus nigricans*. *Botan. Notiser.* 331~334.
- Storey, F.H., and J.D. Mann. 1967. Chromosome contraction by O-isopropyl-N-phenylcarbamate (IPC). *Stain. Tech.* **42** : 15.
- Ward, E.W.B. & K.W. Ciurysek. 1961. Somatic mitosis in a *Basidiomycetes*. *Can. J. Bot.* **39** : 1497~1503.
- Whittaker, R.H. 1969. New concepts of kingdoms of organisms: evolutionary relations are better represented by new classifications than by the traditional two kingdoms. *Science.* **163** : 150~159.
- Wilson, C.M. 1952. Meiosis in *Allomyces*. *Bull. Torrey Bot. Club.* **79** : 139~160.
- Wilson, C.M. & I.K. Ross. 1955. Meiosis in the *Myxomyces*. *Am. J. Bot.* **42** : 743~749.
- _____. & Patrick, W.F. 1968. The life cycle and cytology of *Brachyallomyces*. *Can. J. Bot.* **46** : 1361~1367.

Explantion of Plates

- Plate 1-1** : Swelling spore of *Rhizopus*($\times 1500$)
2 : Development of germination tube($\times 1500$)
3 : Branching hyphae of *Rhizopus*($\times 1500$)
4 : Rhizoid formation of *Rhizopus*($\times 150$)
5 : Nuclear division in young hyphae($\times 1500$)
6 : Chlamyospore formation of *Rhizopus*($\times 150$)
- Plate 2-1** : Nuclear division in sporangium($\times 1500$)
2 : Sporulation of *Rhizopus*($\times 1500$)
3 : Eruption of spore from sporangium($\times 1500$)
4 : Oil drops in fungal hyphae($\times 1500$)
- Plate 3-1** : Nuclear division in sporangiophore adjacent to the well developed rhizoid(*Rh. nigricans*)
2 : Nuclear division at the initial stage of sporangiophore (*Rh. nigricans*)
3 : The chromosomes of *Rh. nigricans*($n=16$)
4 : The chromosomes of *Rh. delemar*($n=8$)
5 : The chromosomes of *Rh. oryzae*($n=8$)
6 : Nuclear division in sporangiophore of *Rh. oryzae*
7 : Nuclear division in sporangiophore of *Rh. delemar*
8 : Nuclear division in sporangiophore of *Rh. acidus*
9 : The chromosomes of *Rh. acidus* ($n=8$)
10 : The chromosomes of *Rh. tritici* ($n=9$)
11 : The chromosomes of *Rh. formosaensis* ($n=12$)
12 : The chromosomes of *Rh. japonicus* ($n=8$)

Plate 1

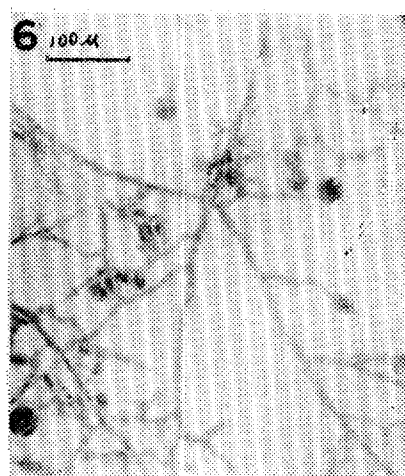
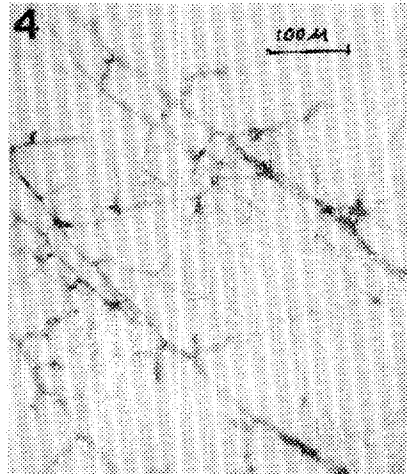
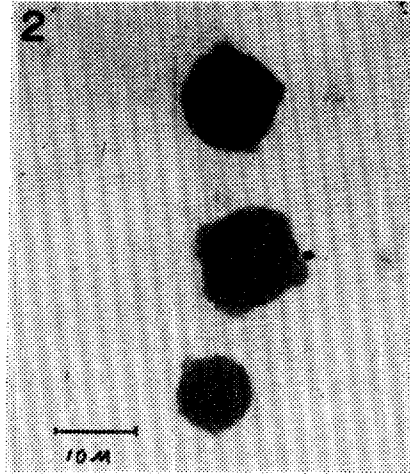
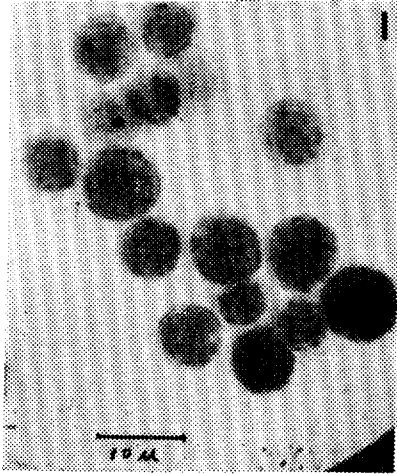


Plate 2

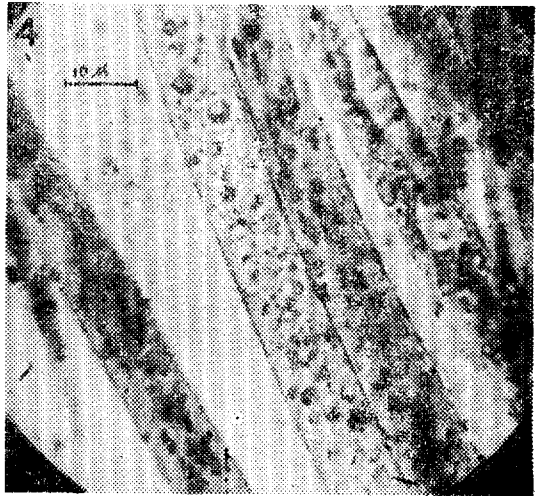
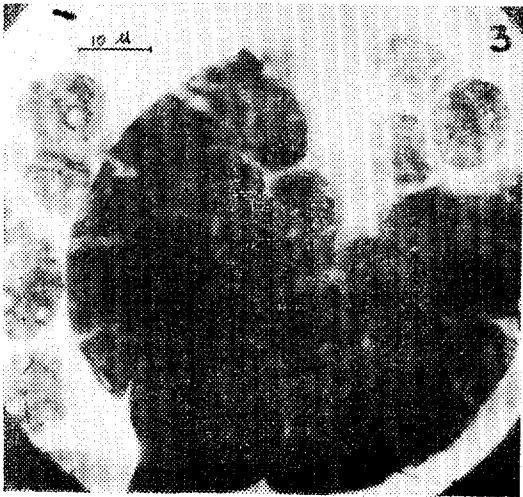
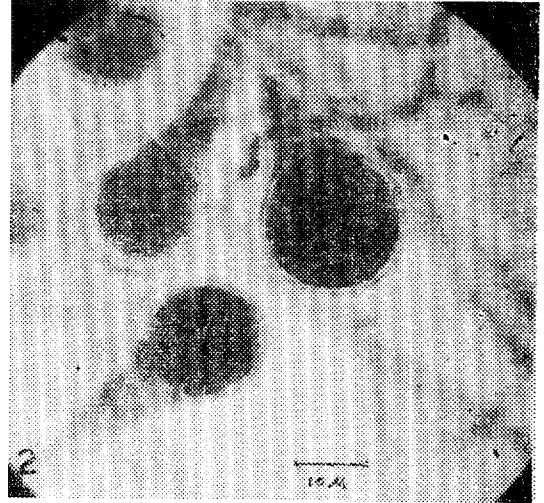
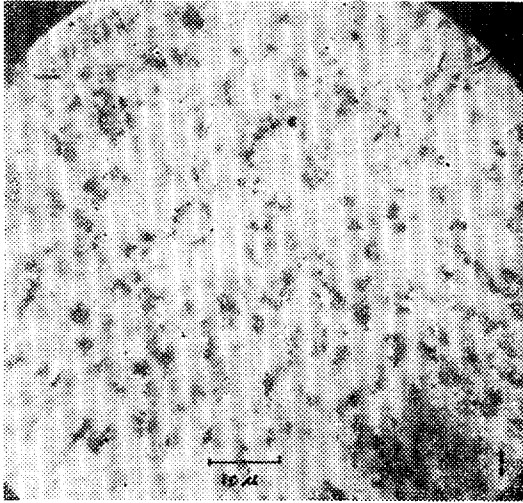
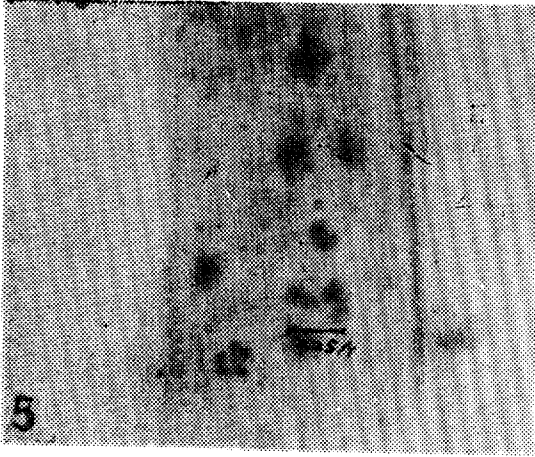
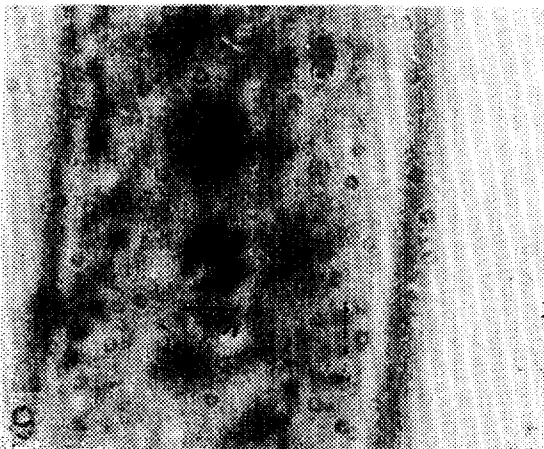
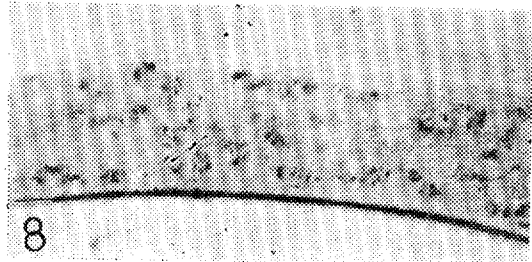
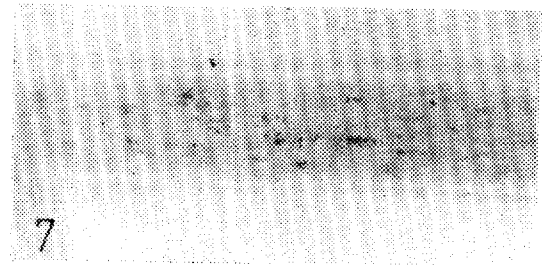
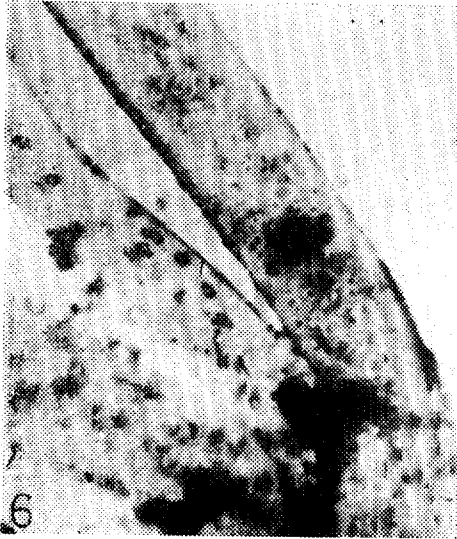


Plate 3

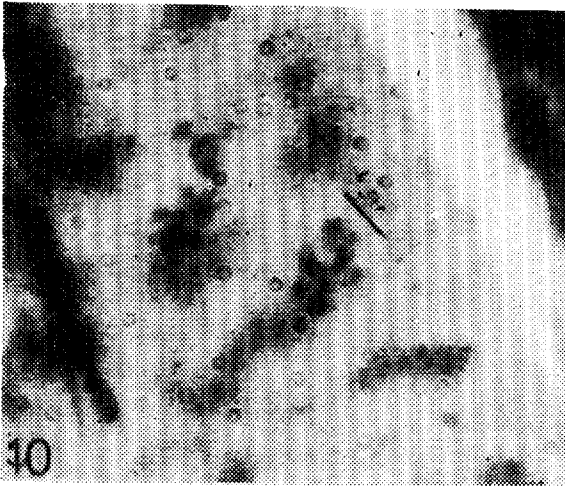


Rhoryzae



Rh acidus

Plate 3



Rh. tritici

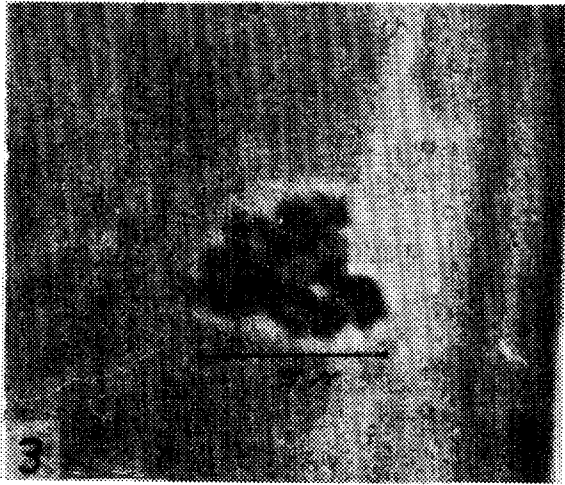
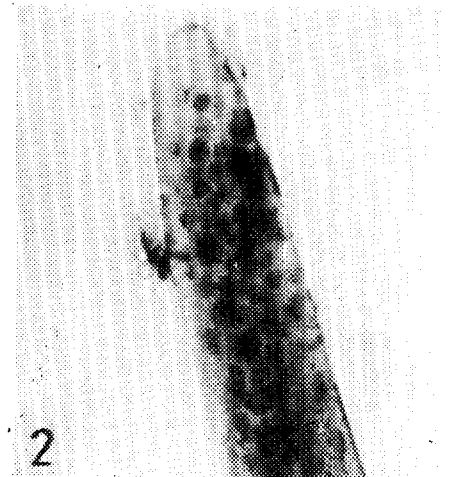
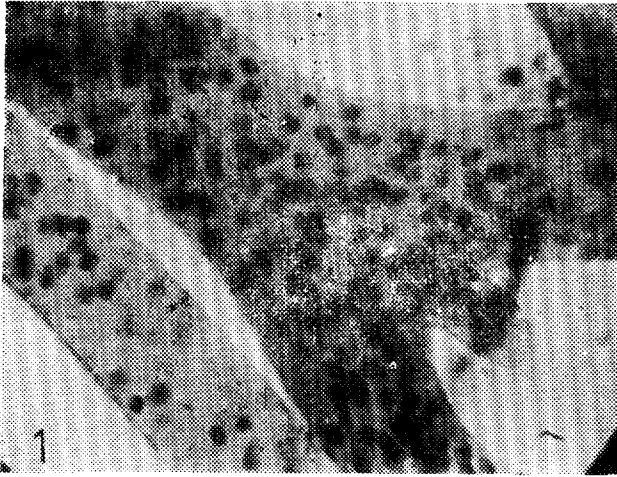


Rh. formosaensis

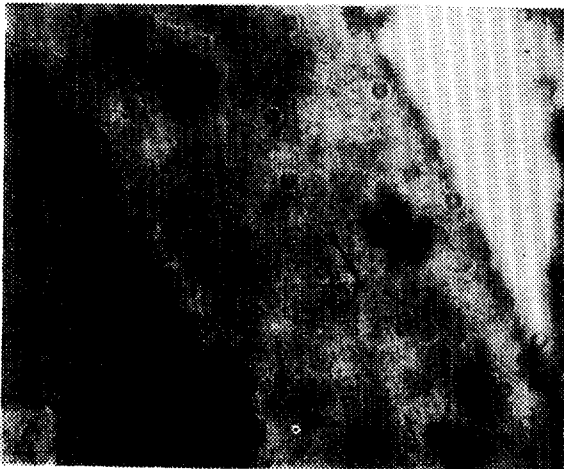


Rh. japonicus

Plate 3



Rh. nigricans



Rh. delemar