

Chapter 11. 중요 식품미생물

1. 프로테오박테리아
2. 그람양성세균
3. 곰팡이
4. 효모
5. 조류

3. 곰팡이

- 식품에 있어 곰팡이 (mold)는 부패의 원인이 되고 곰팡이독소(mycotoxin)를 생산하여 오염된 식품을 섭취한 동물의 질병 및 죽음의 원인
- 발효식품생산에 활용되고, 의약품, 효소 등의 생산에도 널리 이용되고 있는 중요한 미생물 단백질 (효소)



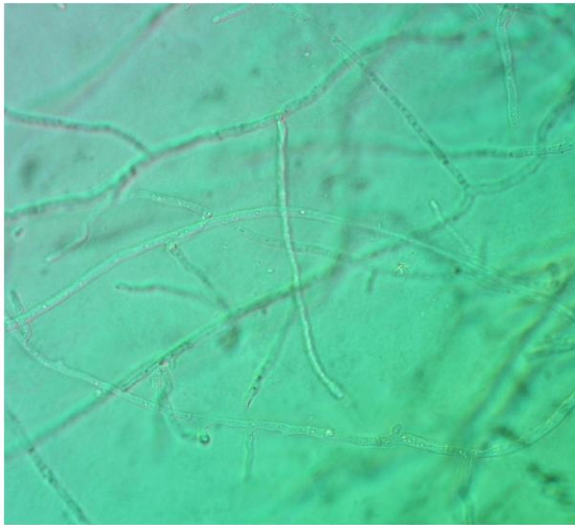
<곰팡이 확대 사진>

1) 곰팡이의 일반적 특성

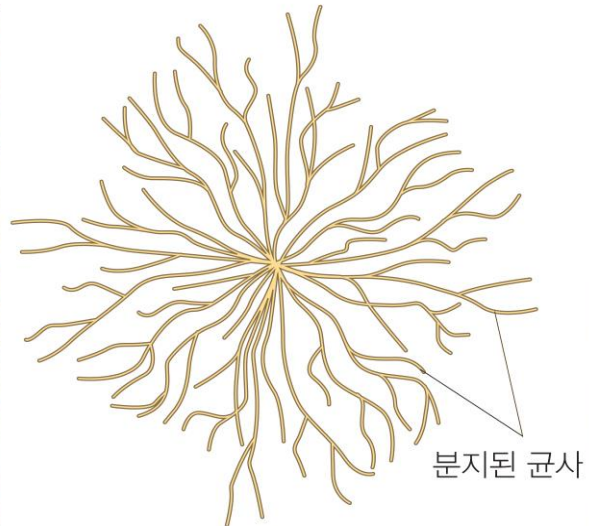
- 효모와 함께 진균류의 하나로 **실 모양의 균사 형태**로 성장하여 사상균 (filamentous fungus)이라고도 함
- 균사 (hypha, hyphae(복수형))는 2-10 μm 의 **관상구조**이며 가지 친 형태로 성장하고 균사가 모인 형태를 **균사체** (mycelium)라 함

표 11-1 곰팡이 관련 기본 용어

용어	설명
균사[hypha, hyphae(복수형)]	가지 친 실 모양의 관상구조
균사체(mycelium)	균사의 집합체
포자(spore)	생식단위로 무성 및 유성포자가 존재
자실체(fruiting body)	포자를 형성하는 기관
균총(colony 또는 mycelial mat)	균사체 및 자실체를 포함하여 군집을 이루는 전체



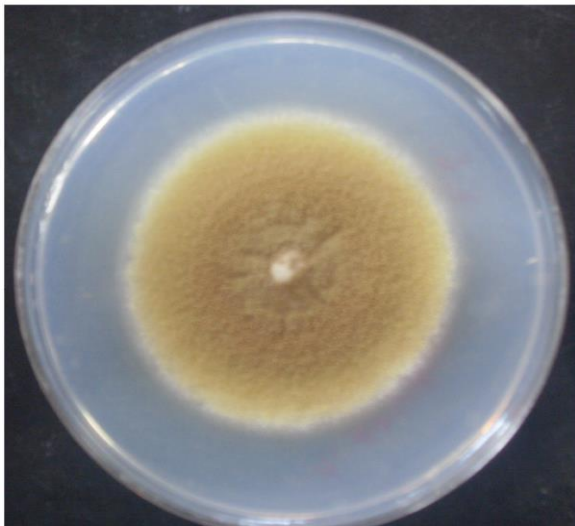
(a)



(b)



(c)



(d)



그림 11-1 군사(a), 군사체(b), 자실체(c) 및 균총(d)

- 균사가 성장하며 핵이 분열하고 이에 대응하여 격벽이 형성되어 세포질을 분획하여 다세포 구조를 갖게 되는데.
격벽 중심에는 직경 $0.05\text{--}0.5\ \mu\text{m}$ 의 구멍이 있어 세포질이 연결되고 물질의 이동이 일어남
- 균사는 기질 속으로 침투해 들어가며 자라는 것을 기중균사 (submerged hyphae),
기질표면에 퍼지는 것을 영양균사 (vegetative hyphae)라 하고,
공기 중으로 뻗은 것을 기균사 (aerial hyphae)라 함
- 진핵세포의 구조를 가지며 광합성을 하지 않으며 절대호기성 미생물로서 유기물의 산화로 에너지를 얻는 종속영양생물

2) 곰팡이의 생식 방법

- 곰팡이의 번식은 주로 **포자** (spore)에 의해 이루어지고

포자는 무성생식에 의해 형성되는 **무성포자** (asexual spore)와

유성생식에 의해 형성되는 **유성포자** (sexual spore)로 구분

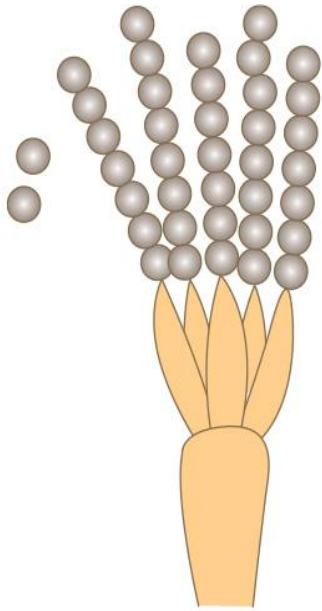
- 생식방법과 생성된 포자의 형태는 곰팡이의 분류에 중요한 기준이 되며
유성생식이 관찰되지 않은 균류는 불완전균류로 분류하고
유성생식이 관찰되면 형성되는 포자의 형태에 따라 새로 분류

포자에 의한 증식 과정
; 포자 - 균사 - 균사체 - 자실체

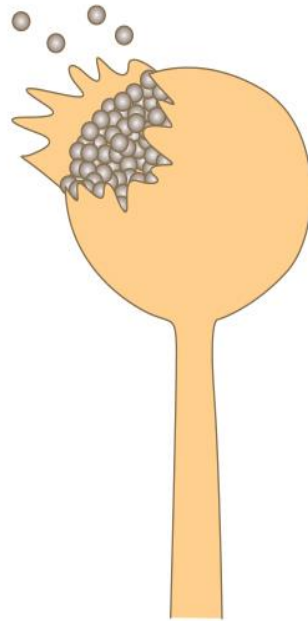
곰팡이 생육환경
; 수분활성도, 25-30도 , 절대호기성, ph 약산성,
; 탄소원 : 포도당, 자당, 질소원 ; 질산염, 이미노산
; 무기염류 ; Fe, Zn , 자외선, X선 사멸, 돌연변이

(1) 무성생식

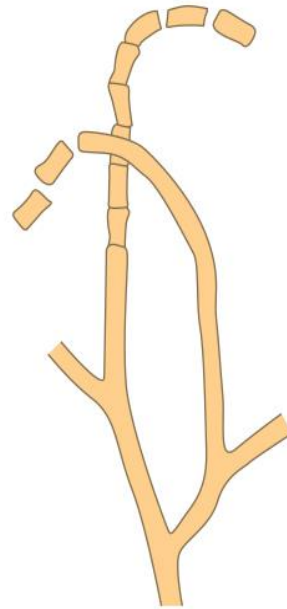
- 배우자 (gamete)의 결합이나 핵의 융합 없이 후손을 생성하는 생식방법
- 무성포자가 형성



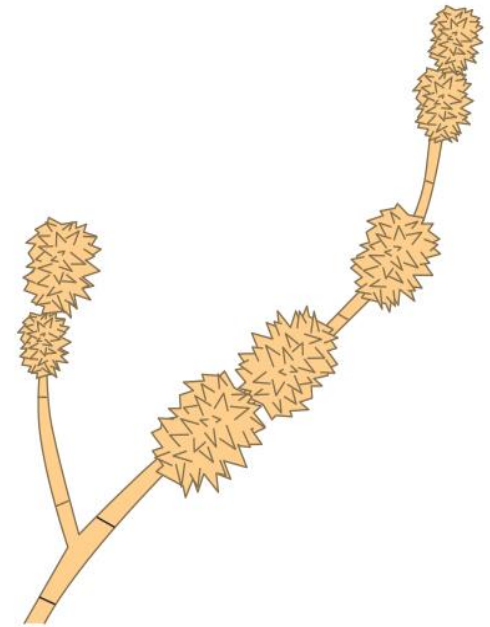
분생포자



포자낭포자



절포자



후막포자

그림 11-2 곰팡이의 무성포자

포자낭포자

- 주머니처럼 생긴 포자낭 (sporangium)에 형성되는 포자 (sporangiospore)
- 포자낭은 균사로부터 공기 중으로 뻗은 포자낭병 (sporangiophore)의 끝이 부풀어 주머니 모양을 하고 있는 구조로 포자낭에는 여러 개의 포자가 존재
- 포자낭은 얇은 막 (peridium)으로 되어 있고 성숙하면 파열 또는 용해되고 포자는 공기 중으로 퍼지게 됨
- *Mucor* 속, *Rhizopus* 속 등의 곰팡이에서 형성

분생포자

- 균사 또는 균사로부터 만들어진 분생자병 (conidiophore) 또는 phialide에 형성되는 포자로 단독 또는 여러 개가 사슬처럼 연결된 상태로 존재
- 형성방식에 따라 phialide형 포자 (phialospore), 출아포자 (blastospore), aleuriospore 등으로 나눔
- phialospore는 phialide라고 불리우는 분생자형성세포의 끝으로부터 구심적으로 형성되는 대표적인 분생포자로 *Aspergillus*속, *Penicillium*속 등의 곰팡이에서 관찰

분절포자

- 기균사의 끝으로부터 **짧은 간격의 격벽**이 생겨 나누어진 균사가 포자로 되는 것으로 분리되어 분절포자 (arthrospore)가 됨
- 우유 및 유제품의 오염되어 번식하는 *Geotrichum candidum* 등에서 관찰
- 절편된 포자가 바로 새로운 균사로 증식이 될 때
분열자(oidium, oidia(복수형))라 함

후막포자

- 불리한 환경에 생성되고 저항성이 있는 두꺼운 막으로 싸인 휴면성 세포로
영양균사의 끝이나 중간부위에 격벽이 생기고 세포질이 모여 형성

(2) 유성생식

- 배우자의 **결합**이나 **세포핵의 융합** 후 **유성포자를 형성**함으로서 번식하는 생식방법
- **원형질융합** (plasmogamy), **핵융합** (karyogamy) 및 **감수분열** (meiosis)을 거쳐 포자가 형성

접합포자

- 배우자낭 접합에 의해 형성되는 포자로 접합포자를 생성하는 균류는 접합균류(*Zygomycetes*)로 분류
- 형성과정은 인접한 **두 개의 균사로부터 각각 가지가 나와서 접촉**하여 전배우자낭 (progametangium)이 형성되고 팽창하며 격벽이 생기고 접합부위가 배우자낭 (gametangium)으로 된 후, 두 배우자낭 사이의 막이 없어지며 핵이 융합되고 감수분열을 거쳐 접합포자가 형성
- *Rhizopus* sp.

； 포자 - 균사 - 접합 - 접합자 - 접합포자

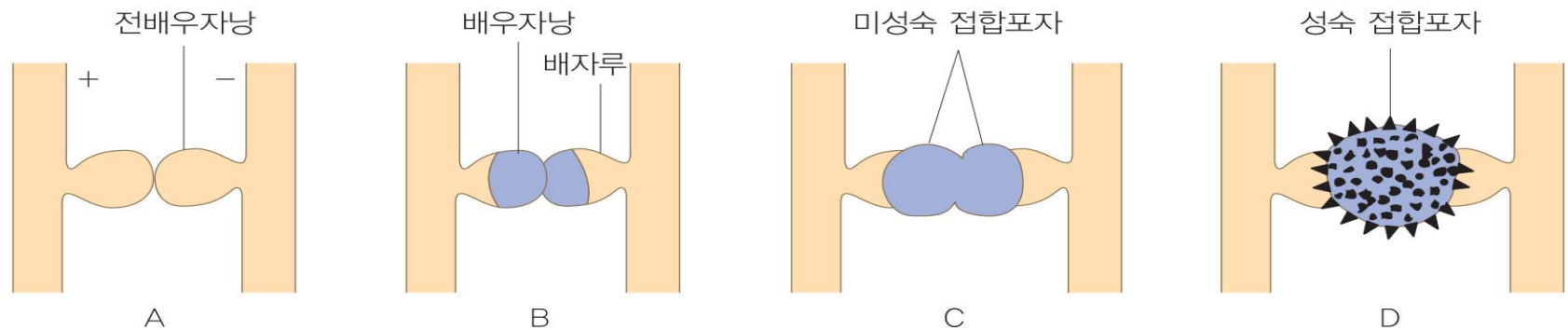
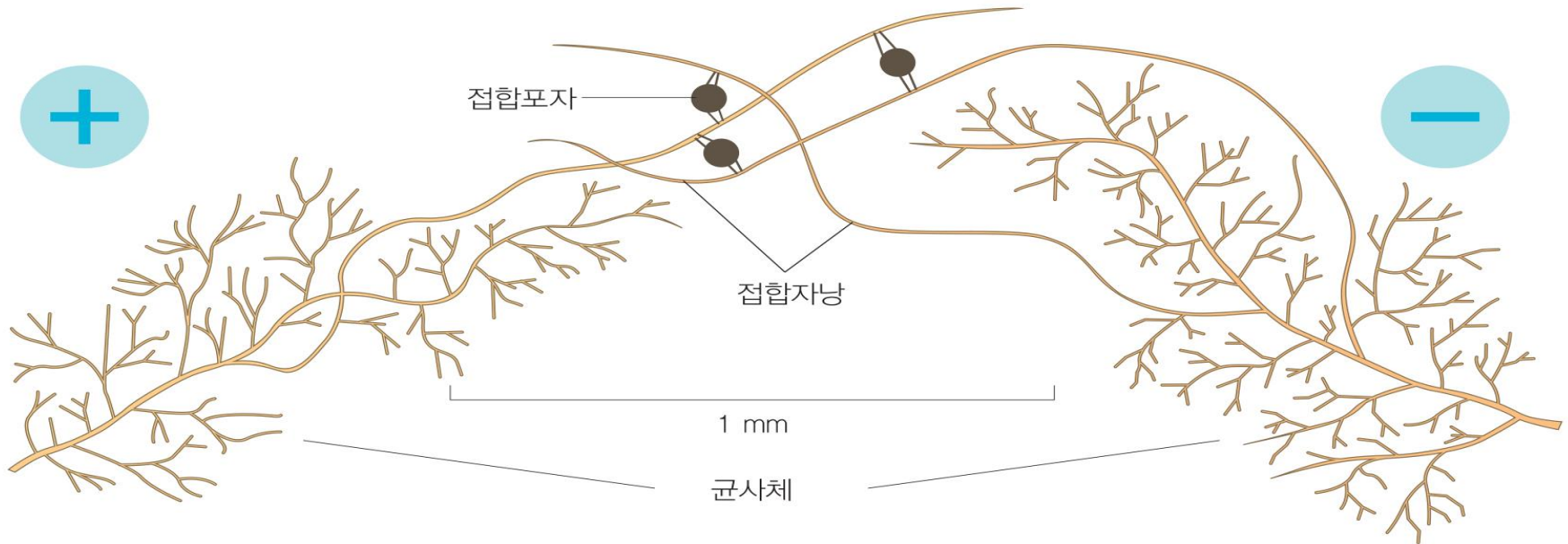


그림 11-3 *Rhizopus* sp.의 접합포자 형성

자낭포자

； 두 균사의 접합으로 자낭이라는 특수세포 형성
； 자낭안에 포자 형성 = 자낭과 (보호막)

- 두 세포의 원형질 융합에 의해 자낭 (ascus)이 형성되고 자낭 내에 형성되는 포자로 자낭포자를 형성하는 균류는 자낭균류(*Ascomycetes*)로 분류
- 세포의 원형질 융합이 일어난 후 환경조건에 따라 핵융합하지 않고 이핵상의 균사로 발달하기도 하며 이핵상의 균사의 말단세포가 핵융합되면 이배체의 자낭모세포 (ascus mother cell)로 된 후 자낭모세포가 커지면서 자낭이 되고 감수분열을 통하여 보통 8개 또는 그 이하의 자낭포자를 형성
- 자낭과는 밀폐된 공모양의 폐자기(cleistothecium), 호리병처럼 끝이 열려있는 피자기(perithecium), 접시모양으로 내부가 노출되어 있는 나자기(apothecium) 등으로 구분
- 자낭포자는 *Neurospora*, *Aspergillus* 속 등의 균류에서 형성

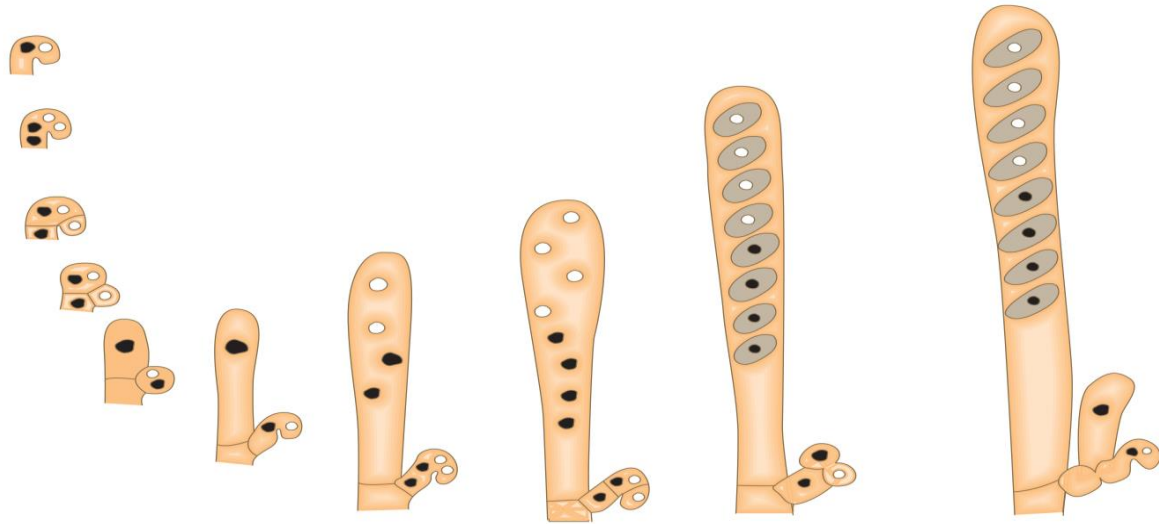
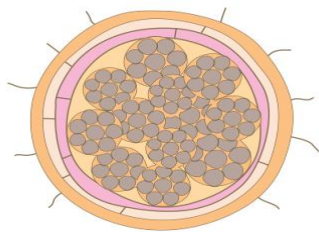
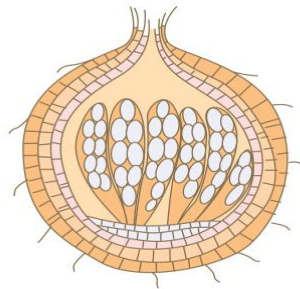


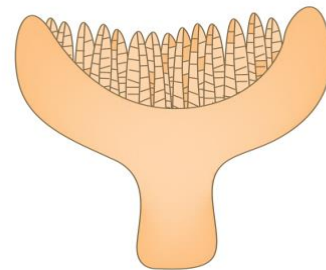
그림 11-4 자낭포자 형성과정



페자기



피자기



나자기

그림 11-5 자낭과 유형

담자포자

- 두 세포의 원형질 융합에 의해 형성된 담자기 (basidium, basidia (복수형)) 위에 형성되는 포자로 담자포자를 형성하는 균류는 담자균류(주로 버섯)로 분류
- 원형질 융합된 균사가 이핵상으로 분열하며 유지되다 환경조건에 따라 말단세포에서 핵융합이 일어나 이배체의 전담자기 (probasidium)로 되고 담자기로 발달되어 감수분열을 거쳐 담자기 끝에 형성된 경자 (sterigmata) 위에 보통 4개의 담자포자를 형성



그림 11-6 담자포자 형성과정

난포자

- 다른 두 균사가 접합하여 조란기(oogonium)를 형성하고 다른 부분으로부터 형성된 조정기(antheridium) 중의 웅성배우자가 수정관을 통하여 조란기 중의 난구(oosphere)라 부르는 **자성배우자와 융합**하여 난포자(oospore)를 형성
- 난균류의 웅성배우자와 포자는 편모(flagella)를 가지고 있어 운동성이 있고 이러한 포자를 특히 유포자(zoospore)라고도 함
- 편모균류에서 관찰되는 유성포자로 난포자를 형성하는 균류를 난균류(*Oomycetes*)라 함

2) 곰팡이의 분류 및 중요 식품 관련 곰팡이

- 분류학상 균류 (fungi) 중 진균류 (Eumycetes, true fungi)에 속하나 50,000 종이 넘게 존재하여 분류체계 또한 다양하여 매우 복잡
- 유성, 무성의 생활사를 통하여 관찰되는 군사와 포자의 형태, 균총의 형태가 실용적인 분류에 이용

; 격벽의 유무, 유성? 무성? 포자

표 11-2 식품과 관련된 주요 곰팡이의 특징

	중요한 속	무성포자	유성포자	군사
접합균류 (Zygomycetes)	<i>Mucor</i> 속 <i>Rhizopus</i> 속	포자낭포자	접합포자	격막 없음, 다핵체
자낭균류 (Ascomycetes)	<i>Aspergillus</i> 속 ^a <i>Penicillium</i> 속 ^a <i>Monascus</i> 속 <i>Neurospora</i> 속	분생포자, 분절포자, 후막포자	자낭포자	격막 있음
담자균류 (Basidiomycetes)	<i>Agaricus</i> <i>Pleorotus</i>	출아포자, 분생포자, 분절포자	담자포자	격막 있음, 이차군사, clamp connection
불완전균류 (Deuteromycetes) imperfect fungi)	<i>Trichoderma</i> 속 <i>Fusarium</i> 속	자낭균류 혹은 담자균류와 같음	없음	격막 있음

^a무성세대의 경우 불완전균류로 분류하기도 함.

(1) 접합균류

- 균사에 격벽이 없으며 무성생식에 의해 포자낭포자를 유성생식에 의해 접합포자를 형성
- *Mucor* 속(털곰팡이), *Rhizopus* 속(거미줄 곰팡이) 등이 포함되는 털곰팡이목 (Mucorales)은 주류, 치즈, 유기산 등의 발효 및 식품의 변패 등 식품에 중요

Mucor 속 (털곰팡이속)

؛ 포자 - 균사 - 접합 - 접합자 - 접합포자

- 격벽이 없는 균사가 공기 중으로 길게 뻗어서 솜털과 같은 균총을 형성하여 털곰팡이라 불리움
- 균사로부터 포자낭병이 형성되고 포자낭병의 끝이 부풀어 종축 (columella)이 되고 포자낭을 형성
- a. *Mucor mucedo*
 - *Mucor* 속의 대표적인 곰팡이로 토양, 야채, 과일 등에 흔히 발생
 - 회백색의 포자낭을 형성하고 접합포자는 구형이며 흑색
- b. *Mucor racemosus*
 - 부패한 야채, 과일, 맥아, 사료 등에서 관찰되며 균총은 회백색 또는 회갈색
 - 약하게 알코올발효를 하며 glycerol을 생성하나 주로 과일을 부패하게 하는 곰팡이
 - 간장용 koji를 만들 때 이 곰팡이가 오염되면 나쁜 냄새가 나는 원인

Rhizopus 속 (거미줄곰팡이속)

- 포복지(stolon)라는 군사가 자라서 배지가 닿는 곳에 가근(rhizoid)을 형성하고, 그곳에서 1-5 개의 포자낭병을 형성

특징 ; 포자낭 구형, 포복지 형성, 호기적 잘 증식

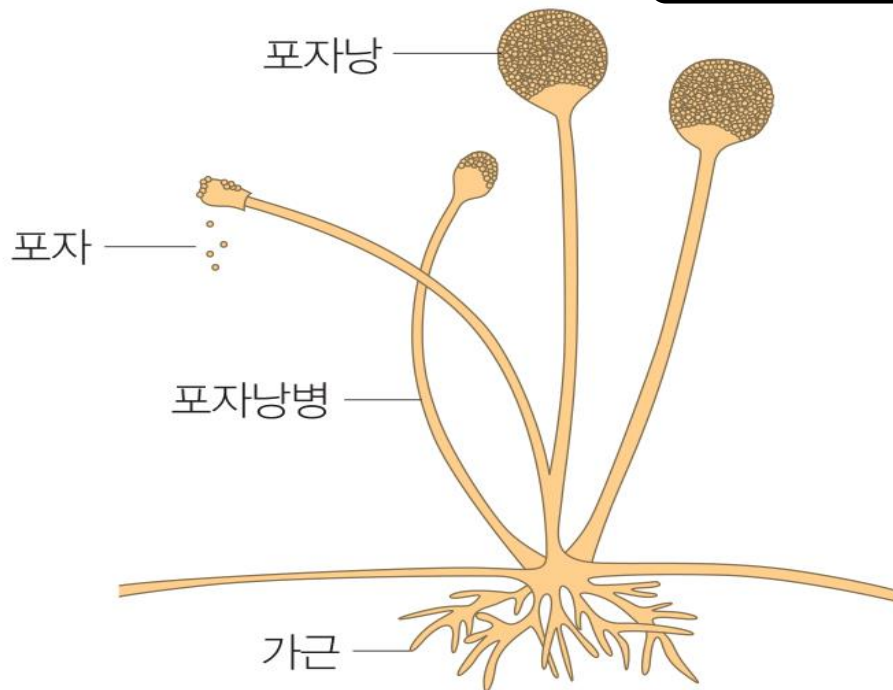


그림 11-7 Rhizopus속의 포자낭 포자 형성

a. *Rhizomucor pusillus* (*Mucor pusillus*)

- 집락이 회색 또는 옅은 흑색이며 생육최적온도는 40℃로 높고 마른 풀이나 곡류에서 관찰
- 치즈제조에 필요한 rennet의 대용으로 이 곰팡이가 생성하는 응유효소가 이용되기도 함

b. *Rhizopus stolonifer* (*Rhizopus nigricans*)

- 집락의 증식속도가 빠르고 붉은 색을 띤 회갈색
- 가근이 잘 발달되고 포자낭은 반구형이며 포자낭병의 높이가 5 cm 이상이나 되는 것도 있음
- Fumaric acid 생산력이 강하고 빵, 곡류, 과일 (복숭아, 딸기), 야채 등 여러 식품에 흔히 발생하고 고구마의 연부병의 원인

c. *Rhizopus arrhizus*

- 집락의 증식속도가 빠르고 처음에는 백색이었다가 연한 빨간색, 황갈색, 회갈색으로 변함
- 포자낭병이 한 곳에 1-5 개 생기며 포자낭은 둥글고 표면에 가시가 있으며 apophysis가 발달
- 전분당화력이 강하여 amylo 법의 초기에 이용되었던 *Amylomyces roxii* (*Mucor roxii*)나 그 후에 이용된 *Rhizopus delemar*와 *R. javanicus*가 현재에는 모두 이 종으로 분류
- *R. delemar*는 포도당 제조 시에 사용되는 glucoamylase의 생산에 이용

(2) 자낭균류

- 균사에 격벽이 있으며 무성생식에 의해 분생포자를 유성생식에 의해 자낭에 자낭포자를 형성
- *Aspergillus* 속, *Penicillium* 속, *Monascus* 속 등이 속해 있는 Eurotiales (국균목)이 식품미생물로서 중요

Aspergillus 속(koji 곰팡이속, 누룩곰팡이속)

- 된장, 간장 등의 장류, 약주, 탁주, 감주 등의 양조산업에 널리 이용
- 균총의 색에 따라 황국균, 흑국균, 백국균 등으로 분류
- 당화 및 단백질 분해효소를 많이 생성하기 때문에 koji 제조에 이용
- 일부 *Aspergillus* 속 곰팡이 들은 곰팡이 독소를 생산하여 식품안전에 문제

a. *Aspergillus oryzae* (누룩제조시 많이 사용)

- 황국균 또는 메주곰팡이라고도 부르며 약주, 탁주, 간장, 된장의 제조에 사용
- 전분분해효소 (amylase)와 단백질분해효소 (protease)를 분비하여 녹말 당화력과 단백질 분해력이 강하고, kojic acid를 생산하는 것이 많음
- Aflatoxin을 생산하는 *A. flavus*나 *A. parasiticus*와 진화적 유연관계가 높으나 aflatoxin은 생산하지 않음

b. *Aspergillus sojae*

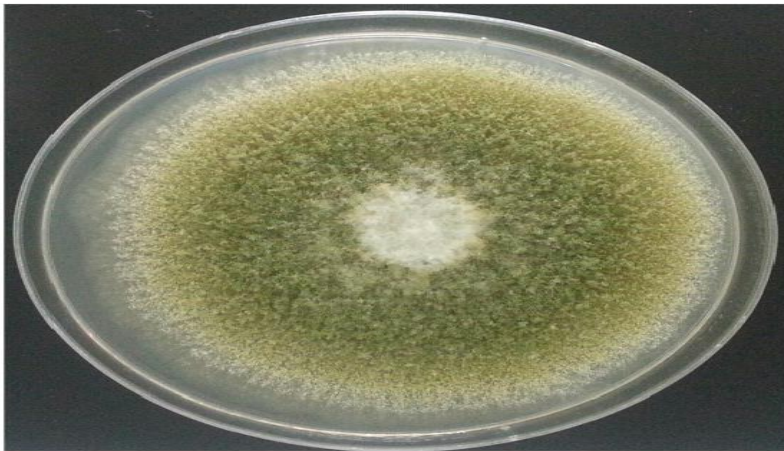
- *Aspergillus oryzae*와 형태가 비슷하며 균총은 짙은 초록색 또는 황색
- 단백질 분해력이 강하고 간장양조용 koji에 사용

c. *Aspergillus niger*

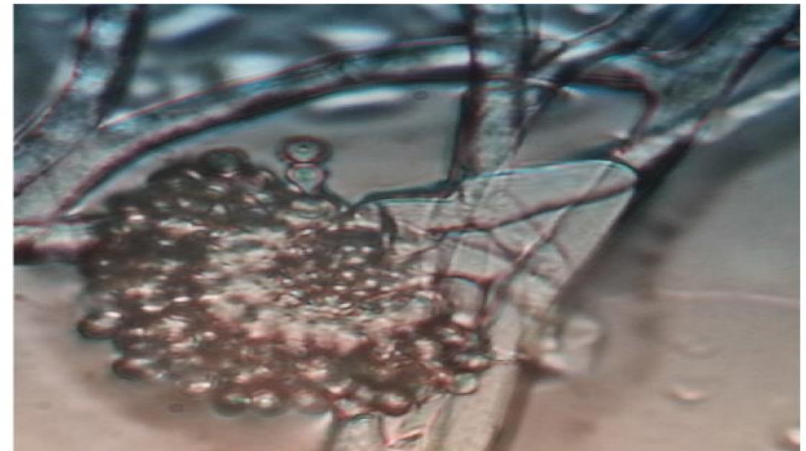
- 흑색의 분생포자를 형성하는 흑국균의 대표적인 곰팡이로 과일이나 빵 등에 오염균으로 흔히 관찰
- *Aspergillus niger* var. *niger*는 당을 발효하여 oxalic acid, gluconic acid, citric acid 등을 과량 생산함으로 이들 **유기산**의 산업적 생산에 이용
- pectinase, cellulose, amylase 등의 효소 생산에도 이용

d. *Aspergillus flavus*

- 주로 곡류나 땅콩에 생육하여 가축이나 인체에 유해한 발암물질인 **aflatoxin**을 **생산**하여 식품위생에 중요한 균류
- 녹색의 분생포자를 형성



(a)



(b)

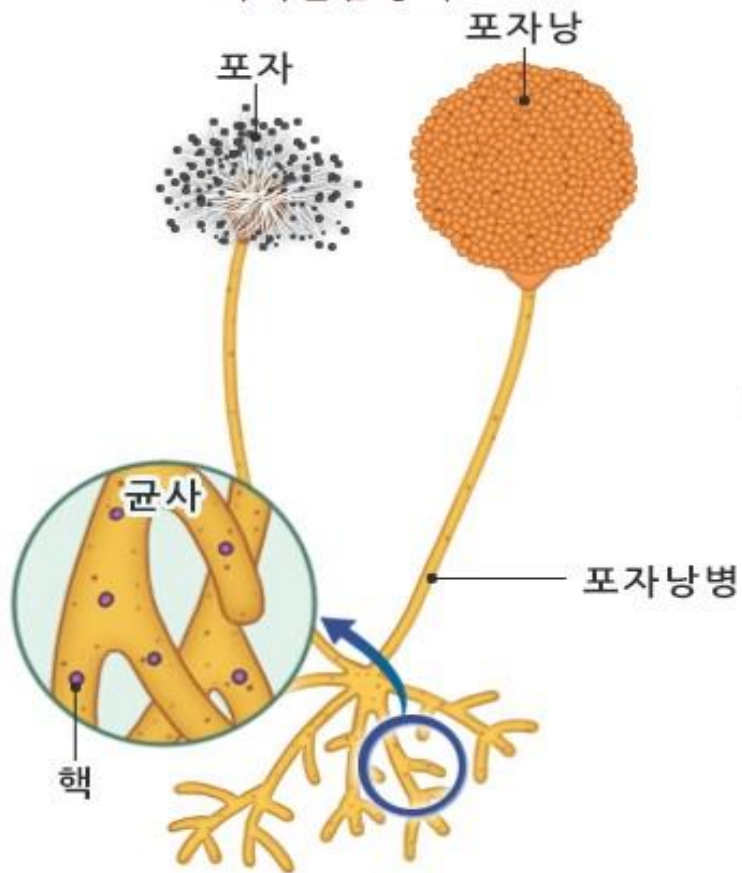
그림 11-9 *A. flavus*의 균총(a) 및 포자 형성(b)

e. *Aspergillus fumigatus*

- 조류나 면역력이 약한 사람의 폐에 기생하여 aspergillosis을 일으키는 병원성 곰팡이
- 토양에 많고 곡류에도 오염

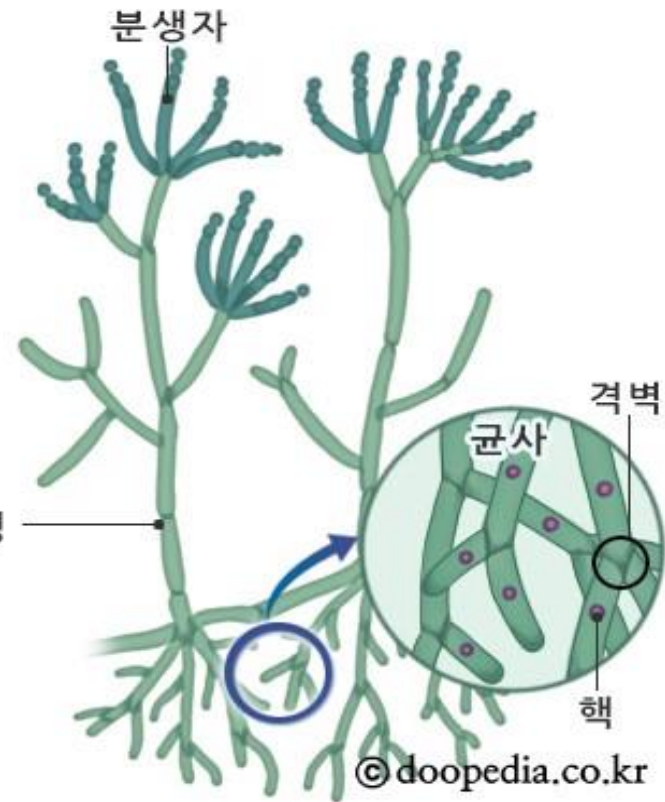
접합균류

거미줄곰팡이



자낭균류·담자균류

푸른곰팡이



Penicillium 속(푸른 곰팡이속)

- 균총이 푸른 색의 것이 많아 푸른 곰팡이라 부르나 회백색, 황갈색, 붉은색을 띠는 것 도 있음
- **독소를 분비하는 종류** 때문에 식품산업에 해로운 것으로 인식되나 치즈 숙성, 유지제조, 향생물질 제조에 이용
- 과일 등 식품을 변패시키기도 하며 **황변미의 원인**
- 균사로부터 분생포자병 (conidiophore)를 형성하고 가지를 치며 그 끝은 붓 또는 **빗자루모양으로 가지 친 형태이고 경자(sterigmata)위에 분생포자(conidia)를 형성**

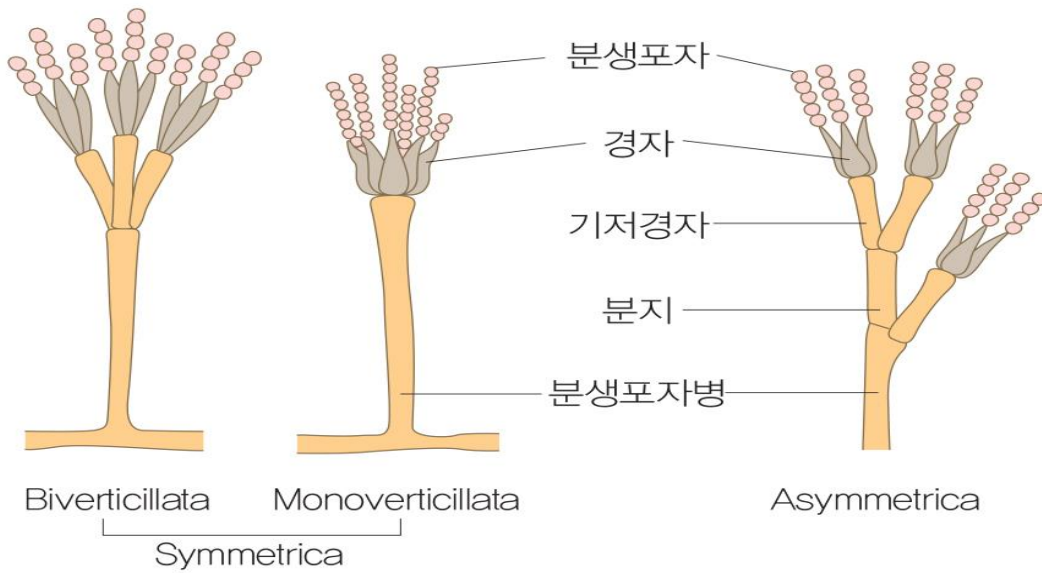


그림 11-10 *Penicillium* sp.의 포자 형성



a. *Penicillium glaucum*

- 균총이 청색인 푸른 곰팡이의 대표
- 빵, 떡, 풀, 치즈, 포도나 다른 과일 찌꺼기에도 잘 번식
- 맥아, koji, 간장 제조 시에 이 곰팡이가 오염되어 품질을 저하

b. *Penicillium roqueforti*, *Penicillium camemberti*

- 각각 불란서의 Roquefort, Camembert 치즈 숙성에 이용

c. *Penicillium expansum*, *Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*

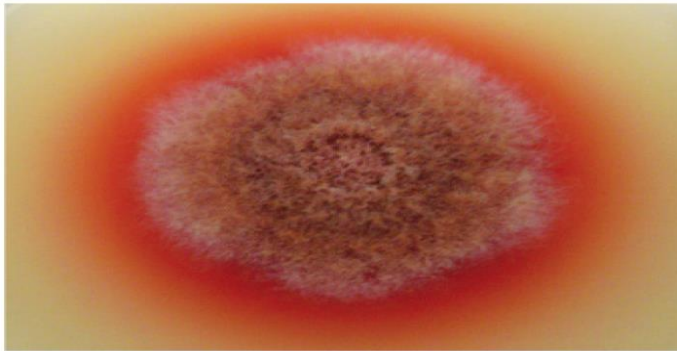
- 과일에 오염되어 부패시키는 대표적인 푸른곰팡이
- *P. expansum*의 균총은 청록색이며 주로 사과와 배에 번식
- *P. italicum*은 청록색, *P. digitatum*은 황록색으로 모두 감귤류에 번식

d. *Penicillium citrinum*

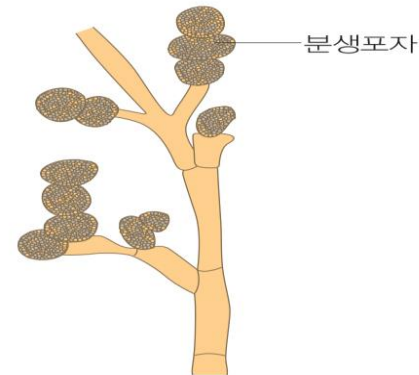
- 황변미의 원인이 되는 균으로 신장독소인 citrinin을 생성

Monascus 속(홍국곰팡이속)

- 빨강, 오렌지색, 노란색의 색소를 생성하여 균총이 선홍색
- *M. purpureus*, *M. pilosus* 등이 식품생산에 주로 이용
- 동남아시아에서 찐쌀에 이 곰팡이를 증식시켜 홍국을 제조하여
 홍주를 만드는데 주로 사용
- 최근에는 다양한 생리활성물질의 생산이 알려지며 건강기능식품에 활용



(a)



(b)



(c)



(d)

Neurospora 속 (빨강곰팡이속)

- 불탄 나무, 옥수수의 속대, 빵 등에 잘 번식하고 오렌지색의 분생포자를 형성하여 균총은 진한 오렌지색
- **빵에 증식하면 핑크색**을 나타내고 푸석푸석하게 되므로 붉은 빵 곰팡이 (red bread mold)로 부르기도 함
- *Neurospora sitophila*는 포자에 많은 β -carotene이 함유되어 있고 인도네시아에는 이 곰팡이를 번식시켜 Ontjom이라는 떡과 같은 식품 제조

기타 자낭균류

a. *Ashbya gossypii*

- 면실, 커피, 콩류 등의 기생균으로 vitamin B₂의 생성능이 높음

b. *Byssoschlamys fulva*

- 보통 과수원의 토양에 존재하고 포자가 내열성이어 과일통조림의 부패원인이 되기도 함
- 암갈색의 분생자를 형성하고 자낭안에 8개의 자낭포자를 형성

c. *Eremothecium ashbyii*

- 아열대지방에서 면실, 커피 등에 기생하는 반자낭균류에 속하는 곰팡이
- 자낭내에 초승달 모양의 포자를 형성
- riboflavin (vitamin B₂)의 생성능이 높아서 군사 내에 결정이 생기는 정도이며 vitamin B₂의 공업적 생산에 이용

(3) 담자균류

- 균사에 **격벽이 있고** 유성생식에 의해 담자포자를 형성하는 균류로 **버섯의 대부분이 이에 속함**
- **버섯의 명칭은 포자가 형성되는 자실체의 총칭**
- 자실체에 형성된 담자포자가 발아하면 1핵균사 (또는 1차균사)로 성장하여 일반 곰팡이와 같이 집락을 형성
- 유전자형이 다른 두 균사가 융합하여 2핵균사 (또는 2차 균사)가 형성되고 이 균사는 clamp connection에 의해서 2핵이 동시에 분열하면서 2핵상을 유지.
2차 균사는 영양, 빛, 온도 등의 환경조건이 갖추어지면 3차 균사로 된 자실체인 담자기와 (basidiocarp)로 됨.
균사조직의 분화로 균사의 말단이 담자기로 되고 담자기에서 핵융합에 이은 감수분열로 보통 4개의 핵이 생기고 이 핵이 이동하여 담자포자를 형성

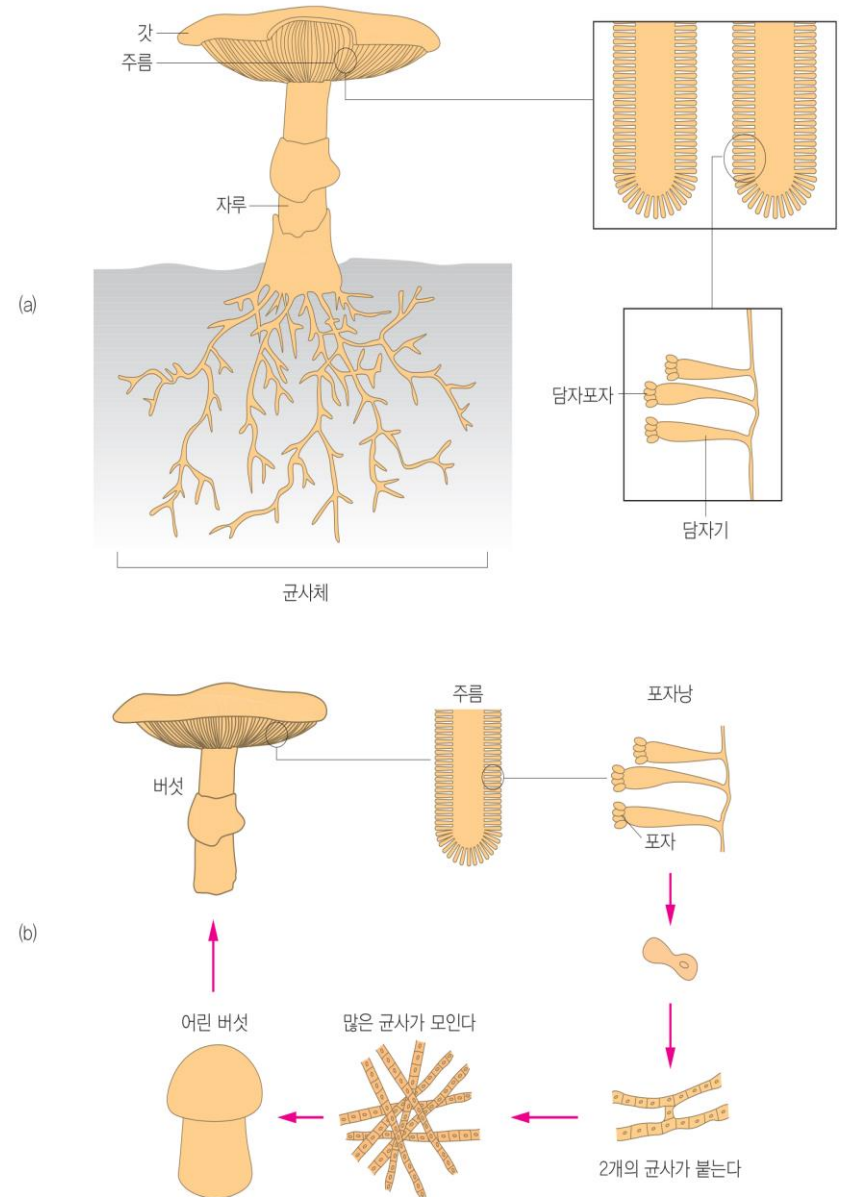


그림 11-12 버섯의 일반적인 구조(a) 및 생활사(b)

송이버섯 (*Tricholoma matsutake*)

- 소나무 숲에 생육하고 때로는 가문비나무, 해송, 솔송나무 숲에서도 관찰되는데 식물과 공생관계에 의해서만 성장
- 균사는 나무의 잔뿌리에 달라붙어서 외생균근으로 생육

표고버섯 (*Lentinus edodes* 또는 *Cortinellus shiitake*)

- 사물기생으로 졸참나무, 떡갈나무, 상수리나무 등의 마른 줄기나 그루터기에 생육
- 보통 상수리나무, 졸참나무 등의 원목을 잘라서 종균을 접종하는 방법으로 재배

양송이 (*Agaricus bisporus*)

- 갓이 연하고 자루가 짧으며 백색 또는 크림색을 띠며 불란서 요리 등에 많이 사용
- 지하실, 헛간 같은 곳에 짚과 쌀겨 등을 발효시킨 배양상을 만들고 종균을 접종하여 30-40일 배양하여 재배

(4) 불완전균류

- 균사에 **격벽이 있고** 유성생식이 관찰되지 않은 균류를 통틀어서 불완전 균류로 분류
- 유성포자가 관찰되면 포자형태에 따라 자낭균류나 담자균류 등으로 재 분류
- 일부 유성생식(완전세대)이 인정되는 균류의 무성세대(불완전세대)를 일컫기도 하며 이 경우 완전세대와는 다른 명칭으로 부름

Trichothecium roseum

- 사과나 배 등의 과일, 오이 등의 야채에 생육하는 핑크색의 곰팡이
- trichothecene 독소 생산

Botrytis cinerea

- 딸기와 포도와 같은 과일류와 채소의 부패에 관여
- 포도에 번식하면 산을 소비하여 신맛이 없어지고 수분이 감소하여 감미가 높아짐.
이러한 포도를 귀부라 하며 이것으로 만든 포도주를 sauterne이라 함

Fusarium 속

- *Fusarium graminearum* (*Gibberella saubinetii*)은 **보리의 병원균으로 곡류에 오염되어 심한 사료중독을 일으키는 곰팡이**

