

Chapter 5 곰팡이(fungi)와 효모(Yeast)

* 곰팡이(mold)는 균사(hyphae)에 의해서 실과 같이 보인다고 해서 **사상균(filamentous fungus)** 이라고 한다.

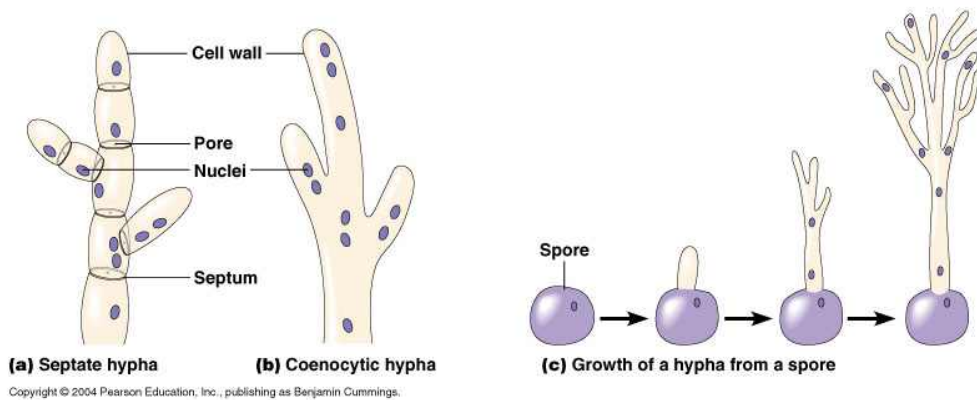
1. 곰팡이의 특징

- **종속영양주**로서 **유기물을 산화하여 에너지를 획득**, **다세포**로 구성되어 있다.
- 곰팡이 세포벽은 섬유질성분(cellulose, hemicellulose, **chitin**) 등으로 구성되어있다
- 곰팡이는 **건조에 강하고 낮은 pH에서도 잘 성장하기** 때문에 식품저장에 매우 중요하다. 다수가 **식물병원성**이며 동물에 기생하는 것도 많다.
- 식품가공에 유용한 **amylase, protease, citrate** 등의 **생산에 이용**되며 버섯과 같이 균체가 식품의 재료로 이용된다.

2. 곰팡이의 형태

* 곰팡이의 생활환(Life cycle)

: **균사 → 균사체 → 자실체 → 포자 → 균사**



1) 균사(Hyphae) : 영양기관

: 세포벽과 세포질로 구성되며, 영양물질이 수송되는 통로

- ① **영양균사(vegetative hyphae)** : 기중균사
기질 속으로 들어가거나 기질표면에 퍼져서 **영양분의 흡수**에 관여한다.
- ② **생식균사(reproductive hypha)** : 기균사(aerial hyphae)
기질로부터 공기 중으로 뻗어서 생식세포나 **포자를 형성**하는 균사
- ③ 유격균사(septate hyphae) : **격막(septum)**이 있는 균사
- ④ 무격균사(coenocytic hyphae) : 격막이 없는 균사

2) 균사체(mycelium) : 균사들의 집합체

- ① 균사조직(plektenchyma) : 균사체가 특정시기에 고등식물과 유사한 조직을 형성할 때 **ex) 버섯 자실체의 조직**
- ② **균핵(sclerotium)** : 균사체가 얽혀 굳은 휴면체로서 단단한 덩어리

- 3) **자실체(fruiting body)** : 번식을 담당하는 포자를 함유
 - 곰팡이는 성장 중 무성 혹은 유성생식 포자를 만든다.
- 4) **포복근(포복지, stolon)** : 기질에 부착하여 균사체가 성장
- 5) **균총(mycelial mat) or 집락(colony)** : 균사체와 자실체의 총칭

3. 곰팡이의 번식법

- * 진균류(Eumycetes, true fungi)의 번식은 주로 포자에 의하여 이루어진다.
- * 포자에는 **유성포자와 무성포자**가 있으며, 포자의 특성은 **곰팡이 분류**에 중요한 지표이다.

1) 무성생식(aseexual reproduction) : 무성포자

- * 성세포(gamete)의 결합이나 핵융합 없이 단지 분열에 의하여 무성적으로 생기는 포자로 **무성생식은 출아 → 분열 → 포자형성**으로 진행된다.
- * 출아(budding) : 발아
- * 분열(fission) : 균사에 격막이 생겨 절단되어 작은 세포의 포자가 된다
- ① **포자낭포자(sporangiospore)** : 포자낭(sporangium)에서 내생포자 형성
ex) *Rhizopus* 속, *Mucor* 속에서 발견
- ② **분생포자(conidiospore, conidium)** : 균사의 끝에 **외생포자** 형성
ex) *Aspergillus* 속, *Penicillium* 속 에서 발견
- ③ **분절포자(arthrospore) = 분열자(odium)** : 균사의 끝이 부스러져 형성
ex) *Geotrichum* 속, *Moniliella* 속
- ④ **후막포자(chlamydospore)**
 - 균사의 끝이나 중간부분이 단단하게 굳어져 형성
 - 일종의 휴면성 세포로 균사체에 비해서 환경에 대한 저항성이 강하다.
- ⑤ **아생포자(blastospore)** : **출아에 의하여 형성**
 - 출아포자, 발아포자, 아생포자 라고도, 효모(*Candida albicans*)와 불완전균인 *Cladosporium*속 에서 볼 수 있는 포자

2) 유성생식(sexual reproduction) : 유성포자

- * 유성생식 : 원형질 융합(plasmogamy) → 핵융합(karyogamy)
→ 감수분열(meiosis) → 포자형성 (반수체의 포자)
- ① **접합포자(zygospore)** : 배우자낭 접합에 의하여 형성
 - * 현병(suspensor) - 배우자낭을 갖는 균사
ex) *Mucor* 속, *Rhizopus* 속, *Absida* 속
- ② **자낭포자(ascospore)**
 - 두 세포의 원형질 융합의 결과 형성되는 자낭 내에서 생긴 내생포자
 - 자낭과의 종류 : 폐자기, 피자기, 나자기

③ 난포자(Oospore) : 유포자(zoospore)

- 접합포자와 달리 자웅의 분화가 확실하며, 포자는 편모를 지고 있다

④ 담자포자(basidiospore) :

- 유성생식기관을 갖지 않는 유성포자로 주로 버섯, 감부기 병균에서 발견

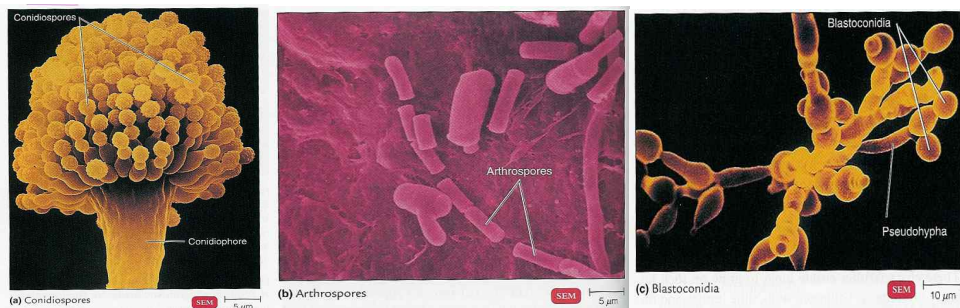
☞ 유성포자나 무성포자는 좋은 환경에 도달하면 다시 발아하여 균사를 낸다

3) 포자의 형태



[포자낭포자]

[후막포자]



[분생포자]

[절포자]

[출아포자]

4. 곰팡이의 분류

* 곰팡이는 분류학상 진균류(Eumycetes)에 속하며, 진균류는 격벽유무 및 유성 포자의 특징에 따라 분류한다.

◎ 곰팡이의 분류나 동정에 이용되는 주된 지표

- 균사의 격벽 유무, 균사의 명암 및 착색
- 유성포자 형식 및 유성포자의 종류(난포자, 접합포자, 자낭포자)
- 무성포자의 종류(포자낭포자, 분생자, 분절포자)
- 포자낭의 특징(크기, 색, 모양, 위치)
- 분생자의 특징(형성법, 분생자 및 phialide(경자) 배열상태)
- 포자낭병 또는 분생자병 : 분기여부

◎ **최근 화학분류학적 지표로 이용되는 것**

- 세포벽의 구성 다당류, Ubiquinone system (CoQ)
- Isozyme의 전기영동 pattern, DNA-DNA 유사성 검정

◎ **조상균류(균사의 격벽이 없는 것), 순정균류(격벽이 있는 것)**

- **접합균류(Zygomycetes)** : 격막 없음

◎ **순정균류는 유성기관의 형성방법에 따라**

- **자낭균류(Ascomycetes)**, **담자균류(Basidiomycetes)**,

◎ **불완전균류(Deuteromycetes) : 유성포자를 형성하지 않는 균류**

< 표 식품에 중요한 곰팡이의 특징 >

	중요한 속	균 사	무성포자	유성포자
접합균류 (Zygomycetes)	<i>Mucor</i> <i>Rhizopus</i>	격막 없음 다핵체	포자낭포자	접합포자
자낭균류 (Ascomycetes)	<i>Eurotium</i> <i>Monascus</i> <i>Neurospora</i>	격막 있음	분생포자 절포자 후막포자	자낭포자
담자균류 (Basidiomycetes)	<i>Agaricus</i> <i>Pleorotus</i>	격막 있음 이차균사 clamp connection	아포자 분생포자 절포자	담자포자
불완전균류 Fungi imperfecti (Deuteromycetes)	<i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i> <i>Fusarium</i>	격막 있음	자낭균류 혹은 담자균류와 같음	없음

1) **조상균류 (Phycomycetes) : 하등곰팡이**

- 다핵체(coenocytic) 균사, **균사에 격막이 없다.** 다수가 사물기생
- 무성생식 : 포자낭포자(sporangia)를 형성하여 이루어진다.
- 유성생식 : 접합에 의하여 접합포자(Zygospore)를 형성
- 균충 : 백색 → 회백색 → 회갈색
- **식품에 관여하는 조상균류는 대부분 접합균류(Zygomycetes)이다.**
- 접합균류는 유기산, 치즈, 주류 등의 발효에 관여, 식품병원균이나 변패의 원인

① **Mucor (털곰팡이)속**

- 털곰팡이, 자연계에 널리 분포, 포자낭은 구형
- 가근(rhizoid)이나 포복지(stolon)가 없다.
- **누룩에서 발견되며 전분의 당화, 알코올 발효력도 있다.**

ex) *M. mucedo*, *M. racemosus* : 식품의 부패균(과일, 빵, 채소)

M. hiemalis : pectin 분해력

M. pusillus : protease는 응유효소로 사용

② *Rhizopus* (거미줄곰팡이)속

- 거미줄곰팡이, 포자낭병이 3-5개씩 다발로 형성
- 고체배지 속에 뿌리모양의 가근(rhizoid)과 포복지 형성
- 호기적 조건에서 잘 생육, 혐기적 조건에서 알코올, 젖산, 푸마르산을 생산

ex) *R. nigricans* : 고구마 연부병의 원인 균

R. delemar, *R. javanicus*, *R. japonicus* : amylase, protease 생성

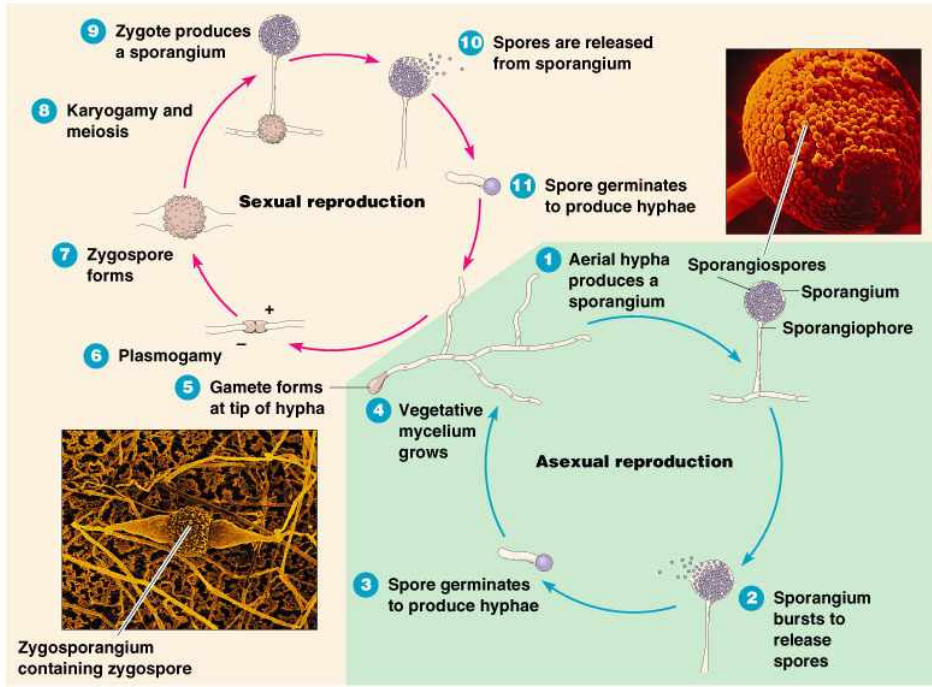


Fig. The Life cycle of *Rhizopus*, a zygomycete (접합균류)

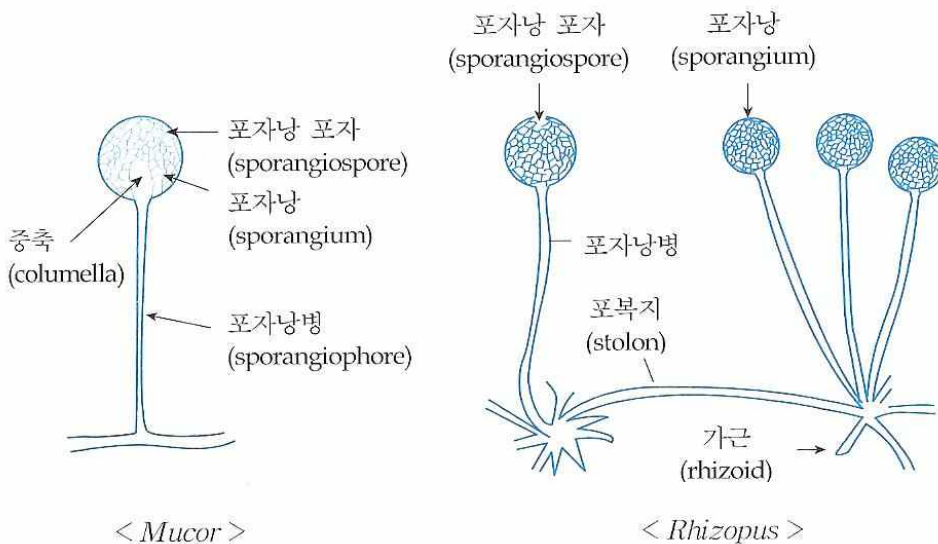


그림 3-5 *Mucor*와 *Rhizopus*의 모식도

2) 자낭균류(Ascomycetes)

- 키틴이 주성분인 세포벽으로 둘러싸인 균사는 격막이 있고 유성 및 무성 생식세대를 보인다.
- 유성생식 형태 : 자낭포자를 형성
- 무성생식 형태 : 분생포자를 형성, 절포자, 후막포자 형성
- 자낭과(ascocarps)라는 자실체를 가지는 종류도 있음 : 폐자기, 피자기, 나자기

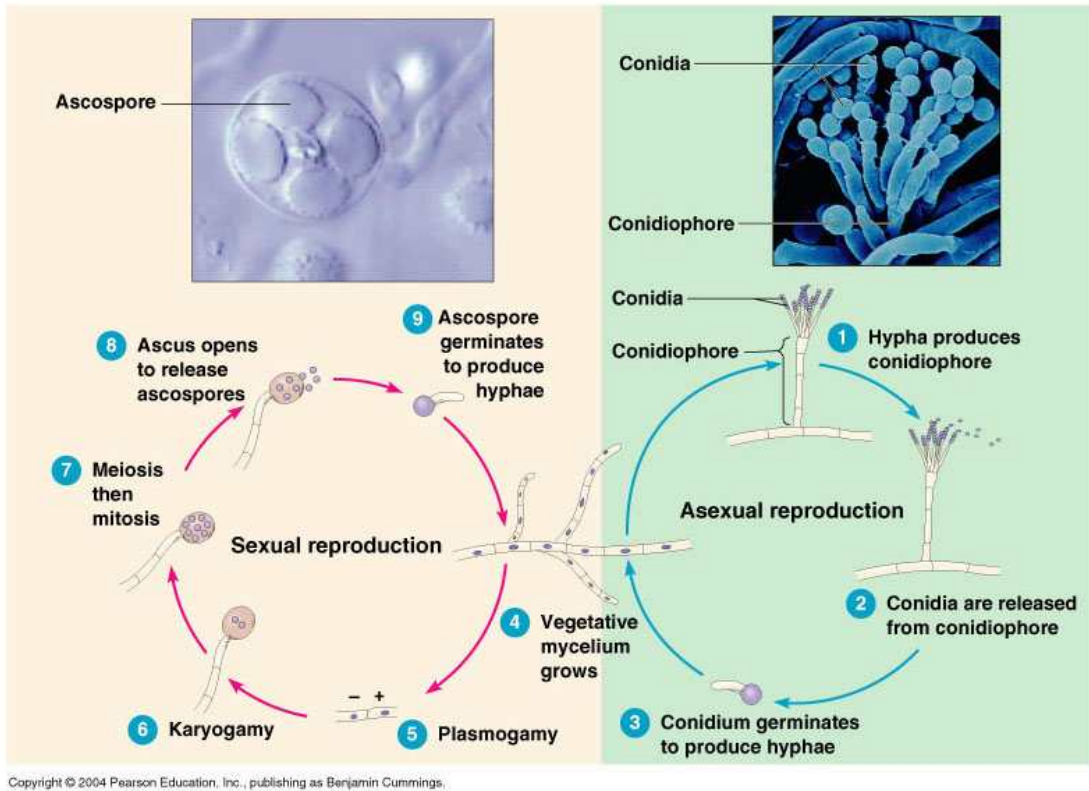


Fig. The life cycle of an ascomycete (자낭균류)

① *Eurotium* 속

- 무성생식 포자로서 분생포자가 주로 형성
- 유성생식 포자는 폐자기 속에 다수의 자낭이 형성되고 자낭 안에 8개의 자낭포자가 들어 있다.
- **내건성 곰팡이로 건조식품(쌀, 곡류) 부패의 주요 원인 균**
- 유성생식을 하지 않는 불완전세대는 *Aspergillus*와 동일

② *Talaromyces* 속

- 분생포자병의 끝이 갈라지고 그 끝에 경자가 착생하며 분생포자를 연쇄상으로 형성한다.
- 식품 부패에 관여하며 불완전 세대는 *Penicillium*과 동일하다.

③ *Monascus* 속

- 무성포자는 발견하기 어려우며 **균사의 끝에 피자기를 형성**한다.
- **홍주의 누룩인 중국에서 발견되며 monascorbin 이라는 붉은 색소를 형성**
ex) *M. purpureus*, *M. anka*

④ *Neurospora* 속

- 암수의 구별이 있으며 피자기 안에 자낭이 형성
- *N. sitophila*는 옥수수대에 피는 **붉은 곰팡이로서 β -carotene 색소를 형성**

⑤ *Morchella* 속

- 유성생식 기관으로 나자기에서 자낭이 생기며 버섯과 겉모습이 유사함
- **망상갓버섯(*M. esculenta*)은 식용으로 이용**

⑥ *Byssochlamys* 속

- **가장 내열성이 강한 곰팡이로서 자낭포자를 생성, 저온 살균된 채소 통조 림을 부패시킨다.**

3) 불안전균류(*Deuteromycetes*) = *Fungi imperfecti*

- * **유성세대가 나타나지 않는 종류의 곰팡이로서 무성세대의 형태는 자낭균 또는 담자균류와 동일하며, 무성생식기관의 형태가 분류의 주요 지표**

① *Trichoderma* 속

- 토양에 주로 생육하며 **감귤류의 부패**에 관여
- *T. viride* : cellulase 생산

② *Botrytis* 속

- 과일과 채소의 부패균으로 식물 병원균으로 **회색의 균총을 형성**
- *B. cinerea* (귀부균) : 포도의 과피에 생육
- * **Sauterne : 귀부포도로 만든 포도주**

③ *Fusarium* 속

- 숨같은 균사를 만들며 황색, 적색, 보라색을 나타내며, 과일 채소의 부패균, **곡류에 각종 곰팡이 독을 생성, 식물병원균(벼의 키다리병)**

④ *Cephalosporium* 속

- β -lactame 계 **항생제의 하나인 cephalosporin을 생산**

⑤ *Alternaria* 속

- 식물병원균으로 **과일(토마토 등)이나 채소의 흑반병**을 형성하여 변패유발

⑥ *Cladosporium* 속

- 곡류, 육류, 섬유소를 부패시킨다. **흑색포자를 형성**
- *C. herbarum*은 가장 낮은 온도(-8℃)에서 생육

⑦ *Aureobasidium* 속

- **흑효모**라고 하며, 성장이 진행되면 균사가 발달
- *A. pullulans* : pullulan, pullanase을 생성, amylopectin의 α -1,6결합도 가수분해

⑧ *Aspergillus* 속

- 무성생식 기관에서 부생자병의 끝이 부풀어 정낭(vescile)을 이루고 그 정낭 위에 경자들이 단층(혹은 2층)구조로 배열되어 있고, 이 경자에 분생포자가 형성
- 건조식품의 부패에 중요한 역할을 하며, **효소나 유기산의 생산에 이용**



- *A. candidus* : 흰색 혹은 연한 분홍색 균총을 형성, 저장 곡류에서 분리
- ***A. oryzae* (황국균) : 누룩이나 메주의 숙성에 관여**
 - 각종효소생산(amylase, invertase, cellulase, inulase, pectinase, lipase, protease 등)에 이용
- ***A. flavus* : aflatoxin 생성**
 - *A. oryzae*와 모습은 유사. 땅콩, 곡류 및 식품이나 사료에서 발견
- ***A. niger* : 흑색 균총을 형성**
 - 효소 생산 : amylase, protease, invertase, glucose oxidase
 - 식품 소재생산 : **구연산, 글루콘산, 글루코노텔타락톤**
- ***A. ochraceus* : 곰팡이독 생성**
 - 곡류 등의 건조식품에서 분리, **곰팡이독인 ochratoxin 생성**
- *A. versicolor* : 곡류와 같은 건조식품에서 발견되며, 독소를 형성함.
- *A. fumigatus* : 청회색 균총을 형성, 사람의 **호흡기 감염되어 병을 유발**
- *A. awamori* : 흑국균으로 당화력이나 구연산 생산력이 강함
- *A. wentii* : 자바간장양조에 관여하는 중요한 곰팡이
 - amylase, cellulase, protease 등의 효소 생산력이 강함

⑨ ***Penicillium* 속(푸른곰팡이)**

- 분생자병의 끝이 붓 같은 모습
- *Aspergillus*와 함께 식품부패의 주요 원인 균, 페니실린 생산

○ ***P. citrinium* :**

- 황변미의 원인균, 색소와 함께 **황변미독이라는 citrinin**을 생산
- 이 독소는 신장이나 간장에 독성이 있다.

○ ***P. chrysogenum, P. notatum* :**

- 대표적인 β -lactam 계 항생제인 **penicillin 생산 균주**

○ ***P. roqueforti* :**

- 프랑스에서 생산되는 **로퀴포르치즈의 속성**에 이용
- 푸른색의 포자를 형성하여 **blue 치즈** 라고도 한다.

○ ***P. camemberti* :**

- 프랑스에서 생산되는 **까망베르치즈의 속성**에 이용
- 포자형성이 잘 안되며 **흰색의 균총을 형성**

○ ***P. italicum* 과 *P. digitatum* :** 감귤류 부패의 원인균

○ ***P. expansum* :**

- 사과 및 과일의 부패 원인 균, patulin이라는 곰팡이독을 형성

○ ***P. islandicum* :**

- 인디카 쌀에서 분리된 주황색 균총을 형성, **간장에 유해**
- 곰팡이독을 형성 : islandiotoxin, luteoskyrin

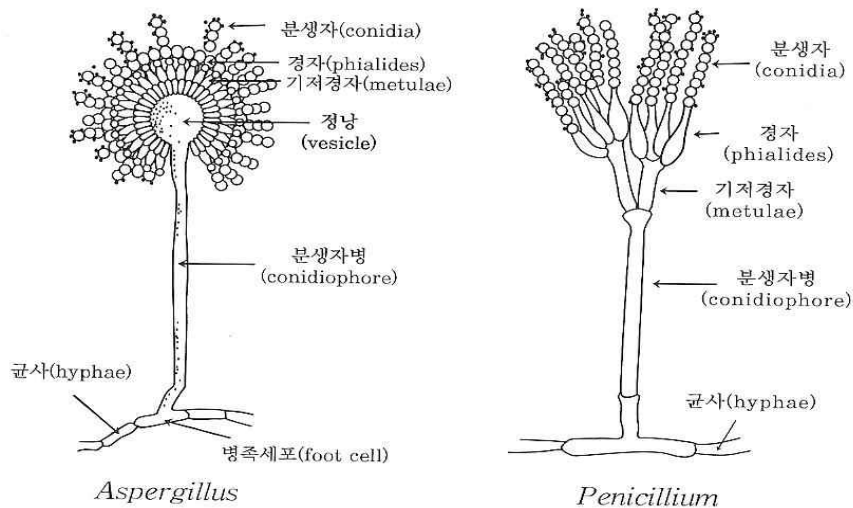


그림 3-9 *Aspergillus*와 *Penicillium*의 모식도

II. 버섯

- * 버섯이란 균류(fungi) 중에서 대형의 자실체(fruiting body)를 형성하는 것
- * 균사는 독립영양을 할 수 없으므로 활물기생 혹은 사물기생을 한다
- * 버섯을 이용 면에서 분류 : **식용버섯, 약용버섯, 독버섯**
- * 미생물학적 분류(포자형성방법에 따라) : **담자균류, 자낭균류**

1. 담자균류(*Basidiomycetes*)

- **격막**으로 나누어진 균사를 가지며 **세포벽은 chitin과 glucan이 주성분이다.**
- 포자의 발아에서 생긴 1차 균사의 접합으로 2차 균사가 생긴다.
- 2핵 세포로 성장, 세포 분열시 먼저 2개의 서로 다른 핵이 분열하고 자세포에서 서로 다른 핵이 각각 하나씩 분배된다.
- 유성생식 포자는 핵융합과 감수분열을 거쳐 담자기에서 담자포자 형성된다.
- **곰팡이 중에서 가장 크고 조직이 발달한 자실체를 만든다(버섯)**
- 녹병균, 감부기병 등 식물병원성 균 및 소수는 동물에 기생하는 균도 있음

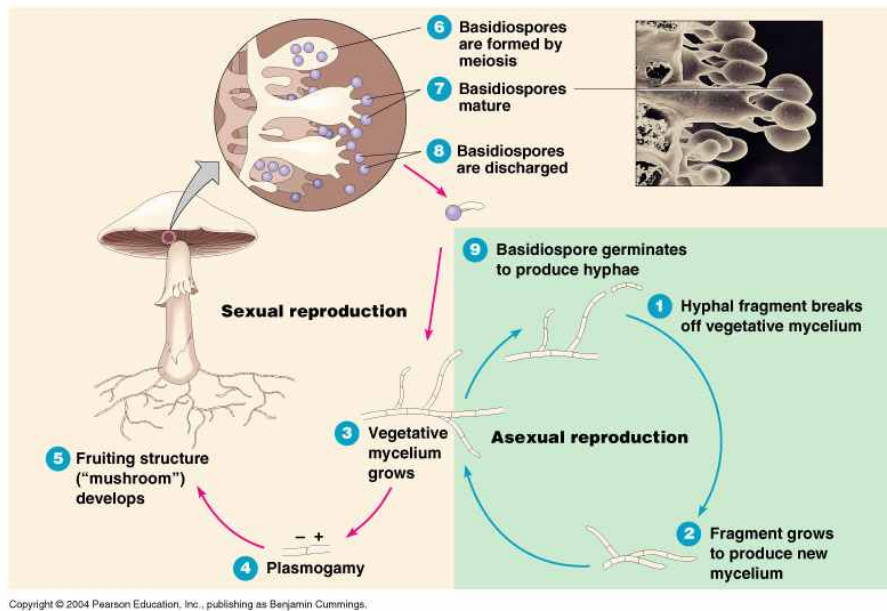


Fig. A generalized life cycle of a basidiomycete

2. 식용에 중요한 버섯

- ① 송이버섯(*Tricholoma matstake*)
- ② 양송이(*Agaricus bisporus*)
- ③ 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*)
- ④ 표고버섯(*Lentinus edodes*)
- ⑤ 목이버섯(*Auricularia auricula-judae*)
- ⑥ 싸리버섯(*Clavaria botrytis*)

3. 자낭균류 버섯

- 1) 망삿갓버섯(*Morchella esculenta*) : 식용버섯
- 2) 동충하초(*Claviceps sinensis*, *Claviceps militaris*) :
 - 생리활성을 가지는 버섯으로 나비의 유충에 기생

4. 독버섯

- 1) **Muscarin group** : 광대버섯에 들어 있는 독성분이 muscarine 이다.
- 2) Amanitotoxin group : 알광대버섯의 독성분 α -amanitin
- 3) 환각성 물질, 뇌장해 초래하는 버섯이 있다.
- 4) **독버섯 감별법**
 - 줄기가 세로로 갈라지는 것은 무독하다.
 - 악취가 있는 것은 유독하다.
 - 색깔이 선명한 것은 유독하다.
 - Silver spoon test



(a) *Crucibulum vulgare*
Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



(b) *Amanita muscaria*

III. 효모

1. 효모의 특징

- * 진핵세포를 가진 고등미생물로 균류 중 **자낭균류**와 불완전 균류에 속하는 것이 대부분이다.
- * **진균류에 속하지만 보통 균사를 만들지 않고 단세포로 증식**
- * 효모의 크기 및 형태 : 5-10 μ m, 구형, 타원형, 난형, 레몬형, 삼각형, 원통형 등
- * 세포벽의 구성성분 : 글루칸, 만난
- * **효모의 증식** : 출아법(budding)과 분열법(이분법) 이루어진다.
- * **위균사(pseudomycelium)** :
 - 분열한 세포가 즉시 분열하지 않고 연쇄상으로 연결된 것
- * 효모분류 : 자낭포자효모, 담자포자 효모, 불완전 효모
- * 인공효모염색체(yeast artificial chromosomes, YACs)
- * 효모는 미생물 실험을 위한 진핵세포로 선택되어 사용

2. 효모의 분류 기준 :

- 영양증식법, 영양세포의 형태, 유성생식법의 특징, 포자형성 유무
- 탄소원, 질소원의 동화성, 당류의 발효성, 비타민 요구성, urease 활성

3. 식품에 중요한 효모

1) 자낭포자 형성 효모(Ascosporegenous yeasts) - 식품산업에 중요

① *Debaryomyces* 속

- 다극출아법으로 분열, 위균사 형성하며 **내염성**이강하다.
- **소금에 절인 육류 혹은 채소의 부패에 관여하며 산막효모**의 하나다.

② *Hansenula* 속

- 위균사 형성, **질산염 이용**, 산막효모, 야생효모를 이용한 술 종류에서 발견

③ *Kluyveromyces* 속

- 당 발효능이 강함, 비타민 요구
- 젖당을 발효하는 종류는 낙농제품 부패의 원인

④ *Pichia* 속 : 식품의 부패에 관여, 간장이나 맥주에 막을 형성하는 산막효모

⑤ *Saccharomyces* 속

- **당 발효력이 강함**, 위균사는 형성, 균사는 만들지 않음
- ***S. cerevisiae* : 주정발효에 사용**(약주, 포도주, 맥주)

⑥ *Schizosaccharomyces* 속

- 열대지방의 과일, 당밀, 토양, 벌꿀 등에서 분리, 최적생육온도(37℃)
- *S. pombe* : 아프리카 폼베술 발효에 관여

⑦ *Zygosaccharomyces* 속

- *Z. rouxii* : 높은 식염농도에서 생육하는 내염성 효모,
간장의 후숙에 관여하면서 간장에 독특한 향미를 부여
- *Z. salisus* : **간장표면에 회백색의 가루모양의 피막을 형성**하여 간장의 향미를 손상시킨다.

3) 무포자 효모 (asporogenous yeasts)

① *Candida* 속

- 육류나 홍삼농축액 등의 부패에 관여, 마가린의 산패도 유발
- ***C. albicans* : 사람의 피부병 유발 (candida 증)**
- ***C. tropicalis* : 단세포단백질 생산에 이용(사료효모), 석유효모**
- *C. lipolytica* : 단세포 단백질 생산에 이용, 석유를 탄소원으로 이용

② *Cryptococcus* 속

- 점질물질을 생산, 조건에 따라 전분 유사물질 생산 색소를 형성,
당 발효능은 없다.

③ *Kloeckera* 속

- 꽃과 과일에 널리 분포, 포도주의 향에 나쁜 영향

④ *Rhodotorula* 속

- 적색, 적황색의 카로테노이드 계통의 색소를 형성
- 식품에서 발견되며, 육류나 칩채류에 적색 반점을 형성하여 착색의 원인균
- *R. glutinus* : 유지생산균, 통기배양 하면 균체 내 건조중량의 60%에 달하는 지방을 축적

⑤ *Sporobolomyces* 속 : 사출포자(ballistospore)를 형성, 황색의 colony 형성

⑥ *Trichosporon* 속

- 액체배지에서 두터운 막을 형성하는 산막 효모이다.
- 저온에서 잘 생육하고 양조식품이나 냉장육류에서 발견

- * 지의류(Lichens)곰팡이와 광합성을 하는 파트너, 통상적으로 남조류
- * 균근(Mycorrhizae)은 버섯과 유관식물(나무, 꽃 등) 사이의 공생관계이다

[Life cycle of a typical yeast, *Saccharomyces cerevisiae*]

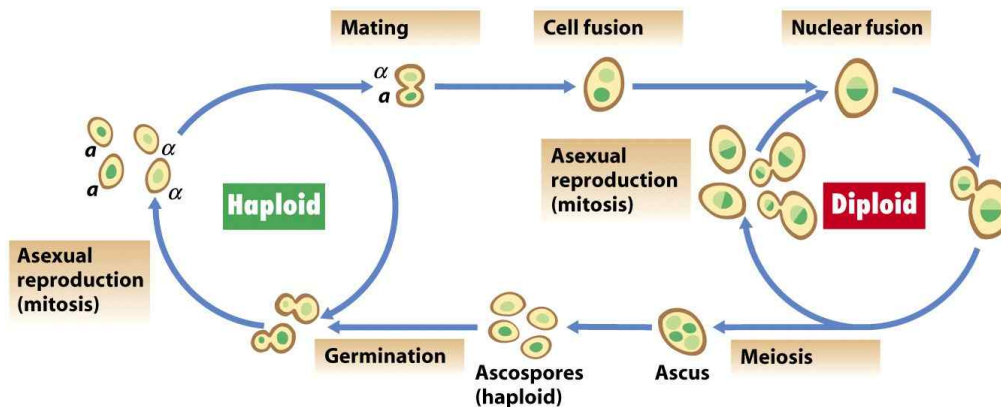


Figure 14-14 Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

Table. Fungi와 bacteria의 기본형태 비교

	Fungi	Bacteria
Cell type	진핵세포	원핵세포
Cell membrane	Sterols 존재	Mycoplasma을 제외하고 스테롤이 없다
Cell wall	Glucans; mannans; chitin (no peptidoglycan)	Peptidoglycan (뮤레인)
Spores	많은 유성 및 무성생식 포자를 생성	내생포자(not for reproduction); some sexual reproductive spores
Metabolism	종속영양주, 호기성, 통성혐기성	종속영양주, 화학주성, 호기성, 통성혐기성, 혐기성
Sensitivity to antibiotics	Polyene, imidazole, griseofulvin에 감수성이 있다.	Penicillin, aminoglycosids)e, Tc에 감수성이 있다