

꿀벌의 전염병과 방제

Honeybee Diseases and Control

윤 병 수

경기대학교 자연과학대학 교수

1. 머리말

꿀벌(*Apis mellifera*)은 수만의 개체가 좁은 장소에서 집단생활을 하는 특성에 따라, 각종 전염병의 발병 가능성이 매우 높다. 감염성 또는 기생성 질병은 일단 발병하였을 경우 집단생활의 특성상 봉군 전체에 급속히 전파되며, 치료 행위가 수행되지 않는 한 개별 봉군의 전멸 뿐 아니라 인근 봉군에 전파되어 피해를 크게 확대시킬 수 있다.

꿀벌의 질병에 대한 적절한 치료를 위하여 각종 질병에 대한 정확한 지식은 반드시 필요하며, 많은 경우 오지에 위치한 양봉 현장의 특성상, 양봉인은 각종 꿀벌의 질병에 대한 병징들과 일반적 감염 및 전파에 대한 지식을 스스로 갖추어야 할 것이다. 이로써 질병의 예방과 발생된 질병의 조기 진단 및 적절한 치료를 발병 초기에 수행할 수 있을 것이며, 또한 광범위한 전파를 사전에 차단할 수 있을 것이다.

꿀벌의 감염성 전염병은 병원체에 따라 크게 세균성, 진균성, 바이러스성, 그리고 원생동물성 전염병으로 나누어 진다.

세균성 전염병으로 미국부저병(afb) 및 유럽부저병(efb) 등이 잘 알려져 있으며, 진균성 전염병으로 백목병(Chalkbrood), 석고병(Stonebrood) 등이, 바이러스성 전염병은 마비병(Paralysis), 낭충봉아부패병(Sacbrood) 등이, 원생동물성 전염병은 노제마병(Nosema disease)이 가장 많은 피해를 입히고 있다.

본 2장 꿀벌의 전염병과 방제에서는 꿀벌의 각종 전염성 질병에 대하여, 기초적인 병리학적 연구와 진단을 위한 병징, 발병 및 전염 그리고 그 방제책 등을 논의하고자 한다.

2 세균에 의한 꿀벌의 질병

가. 미국부저병(afb; American foulbrood disease) 미국부저병(American foulbrood)은 1877년 뉴질랜드에서 처음 기록되었으며, 20세기 초 전세계에 널리 퍼진 이래, 세균에 의한 꿀벌의 질병 중 가장 많이 발생되며 심각한 피해를 입히는 질병의 하나이다. 국내에는 1950년 중부지방에서 처음 발생하여 국내 양봉에 궤멸에 가까운 피해를 입힌 바 있으며 현재까지 전국 일원에서 지속적으로 발병되고 있다.

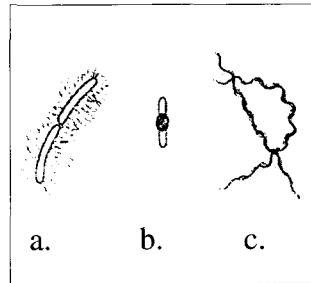
이 병의 감염 초기에는 봉군의 감소가 눈에 띄지 않을 정도이며 단지 소수의 유충 또는 번데기에서만 발병됨이 발견되나, 감염된 유충은 500만 이상의 포자를 만드는 숙주로 작용하게 됨으로, 약한 봉군일 경우 당 해에 전체 봉군을 급속히 약화시켜 전멸시킨다. 한편 강한 봉군에 감염되었을 경우도, 다음 해 까지 봉군을 지속적으로 약화시켜 적절한 조치를 취하지 않으면 역시 봉군 전체를 전멸에 이르게 한다.

현재 테라마이신에 의한 제어가 가능하나, 항생제 저항성 세균의 출현 및 포자의 잔류에 의한 계속적 발병 등의 문제가 있으며 새로운 치료제의 개발이 요구되고 있다.

(1) 병원균

미국부저병의 원인균은 *Paenibacillus larvae*로, 1993년 *Bacillus larvae*에서 개명되었다. 한때 미국부저병의 병원균으로 생각되었던 *Bacillus alvei*는 단지 2차 감염균으로 꿀벌의 사체에 감염되어 생활할 뿐 병원균은 아니다. [그림 1] *Paenibacillus larvae*와 내생포자

*P. larvae*는 그람양성의 간균(2.5~5.0 μ m × 0.7~0.8 μ m)으로, 편모에 의한 운동성이 있으며, 내생포자(endospore; 간단히 포자, spore)를 만들기



- 편모(flagella)를 가진 *P. larvae*의 크기는 2.5~50 × 0.7~0.8 μ m
- P. larvae*의 내생포자(endospore) 크기는 0.6 μ m × 1.3 μ m
- 그성장 중인 *P. larvae*의 연쇄상으로 연결되어 긴 사슬처럼 보인다.

에 내열성 및 화학살균제에 대한 저항성이 강하여 건조상태에서 35년간 감염력을 유지하는 것으로 알려졌다.

감염은 *P. larvae*의 내생포자가 유충에 경구로 침입하여, 중장관(midgut)에서 활성형 세포(영양세포)로 부화되고 급속히 증식됨으로 시작한다. 증식된 세포는 혈관을 통하여 유충의 온몸으로 퍼지며 계속 증식하여 유충을 치사시킨다.

유충의 치사에 즈음하여 활성형 *P. larvae*는 다시 내생포자로 변환되며 재차 감염이 될 때까지 생리 불활성 상태를 다년간 유지한다.

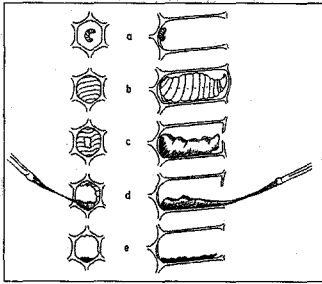
(2) 증상 및 진단

미국부저병에 감염된 유충은 감염 후 10~15일 후 체색이 유백색에서 점차 갈색으로 변하며 죽게 된다. 죽은 유충은 더욱 갈색이 짙어지며 물러 터지게 되고, 이때 사체는 시큼한 고기 썩는 특유의 냄새를 내며, 강한 점착력을 가진 사체액이 흘러나온다.

외부에서 관찰하면 발병 초기에는 봉개(capping)가 축축하고 유충이 어두운 색을 띠는 유아방을 볼 수 있으며, 유충의 색이 점차 짙어지고 유충이 죽으면, 봉개는 가라앉아 움푹 들어가게 된다. 보통 이때 일벌은 봉개에 구멍을 내고 병든 유충을 제거하



기에 변색된 방에 구멍이 뚫려 있는 것도 발병 여부의 판단에 도움을 준다.



- a. 감염시점: 부화 후 1일 이내의 유충(larvae)
- b. 유충에서 변태기로 변하기 전 prepupae과정
- c. 유아방의 내부가 축소되어 봉개가 함몰되거나 구멍이 생긴
- d. 이쑤시개나 핀셋으로 당기면 끈적한 용액이 실처럼 끌려온다.
- e. 딱지(scale)는 잔류한다.

[그림 2] 미국부저병의 진행

미국부저병의 진단은 앞의 증상으로도 판단할 수 있으나, 보다 확실한 방법으로 다음의 것이 자가 진단의 방법으로 추천된다.

1) 이쑤시개 시험법(Toothpic test) : 사체액의 점착력을 시험하는 것으로 부저병이 의심되는 갈색 유충의 사체를 이쑤시개로 찌르고 뽑았을 때, 강한 점착력을 가진 사체액이 실처럼 끌려 나오면 미국부저병으로 1차 진단한다.

2) 희석우유시험법(The Holst Milk test) : 이는 병원균에 의한 단백질 분해효소의 유무를 시험하는 것으로, 시험관에 1% 탈지분유 수용액(skim milk solution; 탈지분유 1g을 100ml 물에 녹임)을 3~4ml 담고, 감염된 사체 또는 유아방에 잔류된 딱지(scale)를 넣어 흔들어 준 후 37℃에 정치한다. 10~20분에 탈지우유 수용액이 맑아지면 미국부저병으로 판단한다.

3) 우유시험법 : 사체를 슬라이드 글라스에 놓고 우유 2방울을 떨어뜨리면 30~40초 내에 미국부저병의 경우, 우유가 응고한다. 유럽부저병의 경우 약 2분 정도가 걸리며, 건강한 유충은 약 13분에 우유를 응고시킨다. 또한 간단한 방법으로 현광관찰법이 있으나 1차 진단으로는 미흡하다. 방법은 치사 후 1개월 정도가 되어 강하게 굳은 사체의 표면을 햇빛에 비추어 보아 형광의 유무를 관찰하는 것이다.

4) 확정진단 : 미국부저병의 발병확인은 사체에서 병원균인 *P. larvae*를 발견하여야 한다. 이를 위한 배양실험, PCR 확진법 등이 최근 국내에서 개발되었으며, 사체의 시료를 우송하면 확진 검사 결과를 무상으로 회신 받을 수 있게 되었다.

(3) 감염 및 전염

미국 부저병의 원인균인 *Paenibacillus larvae*는 내생포자의 형태로 주로 일벌이 어린 유충에게 먹이를 주는 과정에서 감염된다. *P. larvae* 내생포자의 감염력은 꿀벌(*Apis mellifera*) 1종에만 국한되며, 다른 생명체에서는 감염, 증식되지 않는다. 또한 성봉의 경우 많은 포자가 존재하는 환경에서 거의 발병되지 않으며, 유충의 경우도 부화 후 1일 정도된 유충은 평균 35개의 포자에 의해 감염, 발병되나, 2일 또는 그 이상 경과된 유충은 수천개 이상의 내생포자가 감염되어야 발병되며, 부화된 지 53시간이 지난 유충은 거의 감염되지 않는다.

감염된 내생포자는 유충의 경구를 통하여 증장관(midgut)에 도착한 후 24시간 내에 활성형 세포(영양세포)로 부화되며 급속히 증식한다. 유충의 몸에서 퍼져 증식된 활성형 세포들은 유충이 치사됨에 따라 내생포자의 형태로 변환되며, 1개 사체에 들어 있는 *P. larvae*의 내생포자의 수는 500만~1,000만개 수준으로 알려져 있다.

또한 치사된 유충은 일벌들에 의해 벌집 밖으로 제거되는데, 이 제거과정에서 사체의 내생포자는 벌집 및 많은 일벌들을 오염시키게 되며, 이 오염은 봉군내 다른 많은 유충을 계속 감염시키게 된다. 봉군간의 감염은 먼저 오염된 성봉과 다른 성봉의 직, 간접 접촉에 의한 것과 오염된 양봉기구 등에 의한 전파가 주를 이룬다. 일개 봉군의 활동 범위는 약 2km에 이르기 때문에, 한 봉군에서 미국부저병이 진행되면 인근 다른 봉군도 쉽게 전염된다. 특히 부저병이 발병된 봉군의 꿀은 이미 *P. larvae*에 오염되어 있기에, 부저병의 발병이 상당히 진행되어 봉세가 약화된 봉군은 오염된 꿀을 쉽게 도봉 당함으로써 다른 봉군에도 전염이 된다.

내생포자는 내열성, 내한성을 가지기에 우리의 환경에 감염력이 있는 상태로 최소 수년이상 존재하게 되며, 발병 후 치료된 봉군은 기본적으로 부저병 발병의 가능성이 보다 높다. 이것이 발병 후 적절한 사후처리가 필요함을 강조하는 이유이다.

(4) 방제 및 치료

미국부저병은 온대지방에 폭넓게 발생하며, 각 나라마다 1.0~10%에 이르는 봉군에서 이미 원인균인 *P. larvae*의 내생포자가 발견될 정도로 널리 퍼져 있다. 양봉의 선진국인 뉴질랜드에서도 1.2%의 봉군(1995)에서 *P. larvae*의 내생포자가 발견될 정도이니, 병원균 검색의 기술수준이 낮은 여러 국가에서 발표된 자료는 신뢰하기 어렵다고 생각된다.

그러나 내생포자가 봉군 내에 발견되었다고 바로 발병이 되는 것은 아니며, 발병의 가능성이 보다 높다는 것이다. 정량적으로 정확한 연구를 필요로 하나 봉군 당 500만 이상의 포자가 존재할 때 일반적으로 최초의 발병이 일어난다는 실험결과가 발표된 바 있다.

미국부저병의 방제는 조기발견, 진행의 억제, 전파 차단으로 요약될 수 있다. 전기한 바와 같이 미국부저병은 최고 수십년간 감염력을 유지하며 생존할 수 있는 내생포자에 의하여 발병되며, 이미 세계적으로 상당수의 봉군에서 포자가 발견된 이상 상당량의 봉군을 수입하고 있는 국내 양봉의 실정에서 검역에 의한 외래 병원균의 유입을 가능한 한 차단하고, 국내의 발병을 최대로 억제하는 것만이 최선의 국가적 예방책이 될 것이다. *P. larvae*는 꿀벌에 의해서만 증식되며, 내생포자는 꿀벌없이 스스로 증식할 수 없기 때문이다.

1) 예방 : 일반적 꿀벌 전염병 예방지침을 지키어, 도봉 방지를 철저히 하며, 출처가 확인되지 않은 벌꿀 및 꿀벌의 사양을 삼가야 한다. 발병된 양봉장으로부터 되도록 멀리 봉군을 격리시키며, 벌통간 인위적인 오염 확산을 미연에 방지하기 위하여, 오염 여부가 확인되지 않은 소비 및 양봉기

구의 반복된 사용을 지양한다.

별통 간 반복을 사용하여야 하는 기구나 중고 양봉 기구를 구입한 경우에 가급적 완전 멸균의 가능성 여부를 먼저 고려한다. (내생포자의 완전멸균은 에틸렌옥사이드 훈증법이 가장 권장되며, 철제기구의 경우 화염멸균, 그 외의 소도구인 경우, 압력솥에서 15분 이상 끓임으로 이루어진다.)

2) 조기발견 및 치료 : 미국부저병의 증상 및 진단방법을 잘 숙지하고 봉군을 지속적으로 관찰하여 봉군 내 발병을 초기에 확인하여야 한다. 미국부저병의 발병이 확인된 봉군은 최대한 병의 진행을 억제하기 위하여 테라마이신(Terramycin)에 의한 화학적 치료를 수행한다.

3) 테라마이신에 의한 치료 : 옥시테트라사이클린(Oxytetracycline)이 이 항생제의 이름이며, 약품으로의 성분은 옥시테트라사이클린 HCl(oxytetracycline HCl)로 기재되어 있다. 테라마이신(Terramycin)은 Pfizer사의 상품명이나 보통 대명사처럼 혼용되어 사용되고 있다. 한 봉군당 사용되는 정량인 200mg은 옥시테트라사이클린 HCl의 무게를 말한다. 또한 테라마이신은 살균제가 아니며, 병원균의 성장을 저지시키는 정균제이므로 부저병균의 포자를 죽이지는 못한다. 포자의 잔류는 미국부저병의 재발 가능성을 의미한다.

· 분말제의 조제 : 200mg의 테라마이신(Terramycin Soluble Powder ; TSP)을 30g 설탕과 혼합하여 1개 봉군에 사용한다. 또는 450g TM-10을 1kg 설탕과 혼합한 후, 그 중 30g을 1개 봉군에 사용한다. TM을 사용할 경우 내용물 중 테라마이신의 양을 확인하여, 1봉군당 1회 200mg의 테라마이신이 처리되도록 한다. 설탕과 혼합된 테라마이신은 소비의 구석에 넣어 두며, 4~5일 간격을 둔다.

· 처리시기 및 조건 : 이른 봄과 가을철에 봉군이 급성장하기 전에 처리하면 발병에 대한 예방효과를 거둘 수 있다. 이 경우 벌꿀이 본격적으로 생산되기 최소 4주 전에 처리하여야 생산벌꿀에 항생제 혼입을 막을 수 있다. 일반적으로 분말제로 조제한 것이 설탕액으로 조제한 것에 비하여 효과적으로 알려져 있다.

· 약효 및 지속 기간 : 테라마이신은 바로 햇빛에 노출되었을 경우 1일 이내에 대부분 파괴될 정도로 비교적 쉽게 분해되는 항생제이기 때문에 항생제 잔류의 위험성이 약한 편이다. 그러나 과량의 항생제는 잔류 위험, 병원균의 내성을 증가를 야기 시키기에 적정량 및 적정시기의 항생제 사용이 항상 강조된다. 참고로 테라마이신의 반감기는 34℃에서 7일, 30℃에서 17일이나, 25℃에서 8주, 4℃에서 13주로써, 잘못 처리하였을 경우 생산된 벌꿀에 항생제가 잔류될 가능성은 충분하다.

· 포장단위 : TM-10, TM-25 등 수입품의 경우 파운드(pound, lb) 단위로 판매된다. 1 lb는 453.6 gram, 1 ounce(oz)는 28.35 gram이며, 1 gal(al)는 3.79 liter이다. TM-10은 물에 잘 녹지

않기에 설탕과 함께 분말제로만 사용하여야 하며, 1파운드에 10g의 oxytetracycline이 함유되어 있다. 반면 TM-25는 물에 잘 녹게 되어 있으며, 1파운드에 25g의 oxytetracycline이 함유되어 있다. TM-25는 보통 6.4 oz(184g) 포장으로도 판매되며, 이 안에는 테라마이신이 10g 포함되어 있다. 1봉군에 사용되는 테라마이신 200mg은 TM-25의 찻숟가락 하나의 양(약 3.7g)이며, 1 포장단위(6.4 oz)는 50봉군용이다.

4) 소각 처리 : 테라마이신의 처치 후에도 봉군 내 부저병이 계속 확산된다고 판단되는 경우(이는 오진이거나 테라마이신 저항성의 P. larvae의 감염으로 적절한 치료제가 없다), 지체없이 소각처리하여 다른 봉군에게로 전파를 차단한다. 소각은 오염된 벌통, 꿀, 꿀벌 등 모든 것이 포함되어야 한다.

추천되는 방법은 활동이 없는 일몰 시각에 한 손 갈 정도의 청산가리를 종이 위에 놓고(또는 resmethrin 등 살충제 또는 1컵의 석유), 소문 안에 밀어 넣은 후 완전히 밀봉한다. 모든 꿀벌이 죽은 것을 확인하고 벌통을 50cm 깊이의 구덩이로 옮긴 후 휘발유를 뿌려 완전히 소각한다. 소각된 벌통 등은 흙으로 최소 20cm이상 덮여져야 한다.

5) 에틸렌 옥사이드(Ethylene oxide) 훈증법 : 화염멸균 등이 불가능한 오염된 기구 또는 목재의 양봉장비는 에틸렌 옥사이드 훈증법으로 처리하고 재사용할 수 있다.

훈증기는 안전이 공인된 정품만을 사용하여 규격에 맞게 조작되어야 하며, 훈증용 에틸렌 옥사이드 제품은 제조사의 지시에 따라 안전하게 시행한다. 훈증 후, 살균 실험과 발아실험을 거쳐 부저병의 원인균이 발견되지 않아야 한다. 현재 미국부저병에 대한 연구는 최근 국내에서 미국부저병의 신속진단을 위한 PCR법이 개발되었고, 고유항체에 의한 신속진단법, 부저병에 대한 치료제 개발도 활발히 진행되고 있으나, 아직 절대적인 방제방법은 개발되지 못하고 있다. 산·학의 합동연구는 이들 연구개발의 시기를 앞당길 것으로 기대한다.

한때 설파치아졸 등 설파제 계통의 항생제가 미국부저병의 치료에 사용된 적이 있으나, 이들을 사용한 봉군에서 생산된 벌꿀은 잔류된 설파제가 큰 문제를 일으킨 바 있다. 현재 벌꿀의 잔류 항생제는 신속 검출법에 의하여 바로 검출될 정도로 잔류항생제 검출기술이 향상되었기에, 신뢰를 주는 고품질 벌꿀 생산을 위하여 설파제의 사용은 반드시 지양되어야 할 것이다.

또한 부저병 치료를 위한 테라마이신의 남용도 향후의 부저병 치료를 위하여 자제되어야 한다. 부저병 치료제로써 테라마이신은 현재 유일하며 효과적인 항생제이나, 이미 국내에서 채집된 미국부저병 중 일부는 이 항생제에 대한 내성이 있는 것으로 조사되고 있다. 이는 향후 테라마이신에 의한 미국부저병의 통제가 불가능한 날이 올 것을 예고하는 것으로, 테라마이신의 사용은 반드시 처리시기와 정량을 준수하여야 한다.