

서양종 꿀벌(*Apis mellifera* L.)의 노제마 감염률과 수명에 미치는 온도, 황사, 산성비의 영향

이명렬* · 변규호 · 이만영 · 최용수 · 김혜경

국립농업과학원 농업생물부 잠사양봉소재과

The Effect of Temperature, Yellow Sand, and Acid Rain on Life Span and *Nosema* Infection Rate in Honeybees, *Apis mellifera* L.

Myeong-Lyeol Lee*, Gyu-Ho Byoun, Man-Young Lee, Yong-Soo Choi and Hye-Kyung Kim

Dept. Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Jellabuk do 55365, Republic of Korea

(Received 22 October 2015; Revised 26 October 2015; Accepted 26 October 2015)

Abstract

The global climate change such as the temperature shift, increased yellow sand, and acidic rain were concerned to cause serious damage to beekeeping in Korea. We examined the effect of these factors on the life span of adult honeybees, *Apis mellifera*, and *Nosema ceranae* infection rate. Adult worker bees incubated in 30°C and 35°C survived for 34 days, but those in 40°C all died in 8 days. Yellow sands of 4.4mg per bee killed all worker bees in a day. The bees dusted with 2.2mg and less sands or sprayed with artificial acid rain of pH 2, 3, 4 did not increase their mortalities; however, their infection rates with *Nosema ceranae* were raised. These environmental factors related with climate change should be studied more for sustainable beekeeping industry.

Key words: Honeybee, *Apis mellifera* L., Temperature, Yellow sand, Acid rain

서론

우리나라의 연평균 기온은 1954년부터 1999년에는 0.23°C/10년, 1981년부터 2010년에는 0.4°C/10년, 2001년부터 2010년에는 0.5°C/10년으로 지속적인 증가를 보였다. 기온 상승에 대한 주요 원인은 화석연료의 연소와 토지이용의 변화로 인해 대기 중 온실가스인 이산화탄소 농도 증가가 주요 원인인 것으로 분석됐다.

또한, 우리나라는 기후변화로 인해 생태계 분포와 종 변화, 식량생산 저하, 질병발생 및 사망자 증가, 지역별·산업별 갈등 증가 등 다양한 분야에 영향을 미치는 것으로 나타났다(기상청, 2014). 이와 관련하여 최근의 세계적 지구온난화에 따른 기상변화가 꿀벌에 미치는 영향에 대한 논의가 이루어져 왔다(Le Conte and Navajas, 2008; Cox-foster and vanEngelsdorp, 2009; UNEP, 2010).

*Corresponding author. E-mail: mllee6@korea.kr

양봉산업은 꿀과 밀랍, 화분, 로열젤리, 프로폴리스, 봉독 등 다양한 양봉산물을 생산할 뿐 아니라, 시설재배 과채류와 과수원, 식량작물의 꽃가루 수분을 촉진해 안정적 농업생산에 크게 기여하고 있다. 하지만 최근 세계적으로 꿀벌 산업은 붕괴증상(Colony Collapse Disorder, CCD)이 2006년 북미지역에서 대량으로 발생한 것이 파악된 후 유럽과 남미 등 많은 지역에서 꿀벌 밀도가 감소하고 있는 것이 보고되고 있다. 미국에서는 1990년 이후 최소 25%의 꿀벌 군집이 이 현상에 의해 사라진 것으로 보고되었다(VanEngelsdorp *et al.*, 2007; Ellis *et al.*, 2009; Neumann and Carreck, 2010). 우리나라에서는 전형적인 붕괴증상은 나타나지 않았으나, 동양종 꿀벌(*Apis cerana*)에 낭충봉아부패병(Sacbrood virus)이 대발생하여, 2010년에 피해율이 90%에 이르렀고, 현재도 지속 발생 중이다(최 등, 2013).

고온 조건에서 일벌들은 봉군 내 개체 간격을 넓히고, 환풍작업과 기화열 냉각효과에 의해 온도를 낮추며 냉각 한계 온도는 35°C임이 보고되었다(Southwick, 1992).

노제마병은 성충 일벌의 중장 세포에서 발견되었고 성충에만 전염되며 비정상적인 행동을 유발하는 것으로 알려져 왔다(Zander, 1909; White, 1919). Mussen 등(1975)은 미대륙의 43개 양봉장 중 66%가 노제마병에 감염되어 있으며 일벌, 수벌, 여왕벌 성충 모두가 이 질병에 감염될 수 있음을 확인하였다. 노제마병에 감염되면 초기에는 특별한 증상은 없지만 일벌들의 활동이 둔화되 기어 다니며, 복부가 팽대하고 심하면 설사증상이 나타나기도 한다. 영양 불균형으로 인한 조기 사망과 마비병 바이러스에 대한 감수성 증가로 봉군 세력이 약화되고, 여왕벌이 감염되었을 때에는 산란 중단을 초래하기도 한다(Furgala and Mussen, 1978).

최근 기후변화 양상인 온난화로 인한 기온상승이 꿀벌의 개체생리 및 사회생활 전반에 미치는 영향 구명이 시급한 실정이다. 또한 한반도에서 문제가 되고 있는 황사와 산성비가 꿀벌의 수명에 미치는 영향과 외부에서 활동하는 성충의 대표적 질병인 노제마 발생과의 관계를 조사하기 위해 이 연구가 수행되었다.

재료 및 방법

시험꿀벌 및 사육조건

시험 꿀벌은 농촌진흥청 국립농업과학원 실험 양봉장에서 연중 계대 사육 중인 이탈리아인 서양종 꿀벌(*A. mellifera ligustica*) 봉군 중 광학현미경(x400)을 통해 노제마 감염여부를 확인 후 노제마 감염이 없는 봉군을 선발하였다. 봉군 내 번데기가 운집한 벌집을 꺼내어 온도 34°C, 습도 75% 조건의 인큐베이터에서 우화를 유도하여 갓 출방한 어린 일벌(24h 이내)을 채집하여 시험 꿀벌로 사용하였다. 사육케이지(W10cm × L12cm × H15cm)에 각각 시험 꿀벌을 50마리씩 넣어, 50% 설탕당액을 공급하며 25, 30, 35, 40°C 항온기(상대습도 75%) 조건에서 사육하였다.

노제마 감염

노제마 비감염 꿀벌에 접종하기 위한 노제마 포자는 국립농업과학원 실험양봉장 서양종꿀벌에서 채집하였으며 특히 유전자 분석에 의한 동정 결과, 균주의 종(種; *Nosema ceranae*)이 이전의 분류 결과와 일치함을 확인할 수 있었고(이 등, 2003), 실험 전에 감염봉군에 있는 일벌의 중장에서 노제마 포자를 수집하여 24시간 이내에 접종 실험에 사용하였다.

환경 조건에 따른 노제마 감염률과 감염정도를 조사하기 위해 35°C 사육 시점에서 어린 일벌 각 마리당 10⁴개의 노제마 포자를 먹이(50% 설탕당액 200 μ l)를 통해 접종하였다. 각 시험은 50마리 3반복으로 하였으며, 20일 동안 5일 간격으로 일벌 5마리씩 채집하여 광학현미경(x400)으로 노제마 포자의 수를 계수하였다.

황사와 산성비

황사는 국립농업과학원에서 시험용으로 사용하는 미세 토양분말(2~40 μ m)을 확보하여 실험에 사용하였다. 황사는 케이지 당 500mg, 250mg, 100mg, 1,000mg을 처리하여 생존일수와 노제마 감염 수준을 조사하였다.

산성비는 관행적 인공산성비를 조제하여 사용하였

는데, 1M H₂SO₄와 1M HNO₃를 동일 비율로 희석하여 pH 2, pH 3, pH 4의 용액을 시험에 사용하였다. 인공산성비 용액은 첫째 날, 5일, 10일, 15일에 각각 5ml씩 분무하였으며 무처리구는 같은 분량의 증류수를 분무하였고, 처리구에서는 먹이도 산성비 용액으로 설탕 용액을 만들어 급이하며 35°C에서 사육하였다.

통계처리

시험구 상호간의 유의성 검정을 위한 분산분석으로 Duncan 검정(Duncan Multiple Range Test)을 하였고 평균비교를 위한 터키검정(Tukey HSD Test)을 수행하였으며 통계분석은 SPSS(ver. 18) 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

온도

온도 조건이 일벌의 수명에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실내에서 충분한 설탕액을 공급하며 25°C, 30°C,

35°C, 40°C 항온(상대습도 75%)에서 갓 출방한 어린 일벌을 키우며 생존 일수를 조사한 결과는 Fig. 1A와 같다. 30°C, 35°C에서는 34일을 생존했지만 고온 40°C에서는 8일 이내에 전부 사망하였고, 상대적 저온 25°C에서는 17일 이후에 사망 수가 증가하여 23일째 모두 사망하는 것으로 나타났다. 이번 실험과 같이 여왕벌과 어린 유충이 없고, 자유롭게 날지 못하는 실내 폐쇄 환경에서는 34일을 최대 수명으로 볼 수가 있었다. 일반적으로 봉군 내 육아권 온도는 35±0.5°C를 유지하는 것으로 알려져 있어, 이 온도조건이 시험 온도들 중 사육 기간 중 가장 높은 생존율을 보인 것으로 나타났다. 30°C 조건은 16일까지는 35°C와는 같은 생존율을 보이다가 이후에 생존율이 급격히 떨어졌다(Fig. 1A).

능동적인 운동열 발생에 의해 극복할 수 있는 저온 조건과는 달리 35°C 이상의 고온 조건에서는 수동적인 수분 증발에 의한 냉각이 한계에 달할 수밖에 없어, 스스로 온도조절이 불가능한 것을 확인할 수 있다(Southwick, 1992). 즉, 35°C 이상에서는 체온 조절능력이 한계에 달하여 고온에 의한 체내 단백질 변성 등

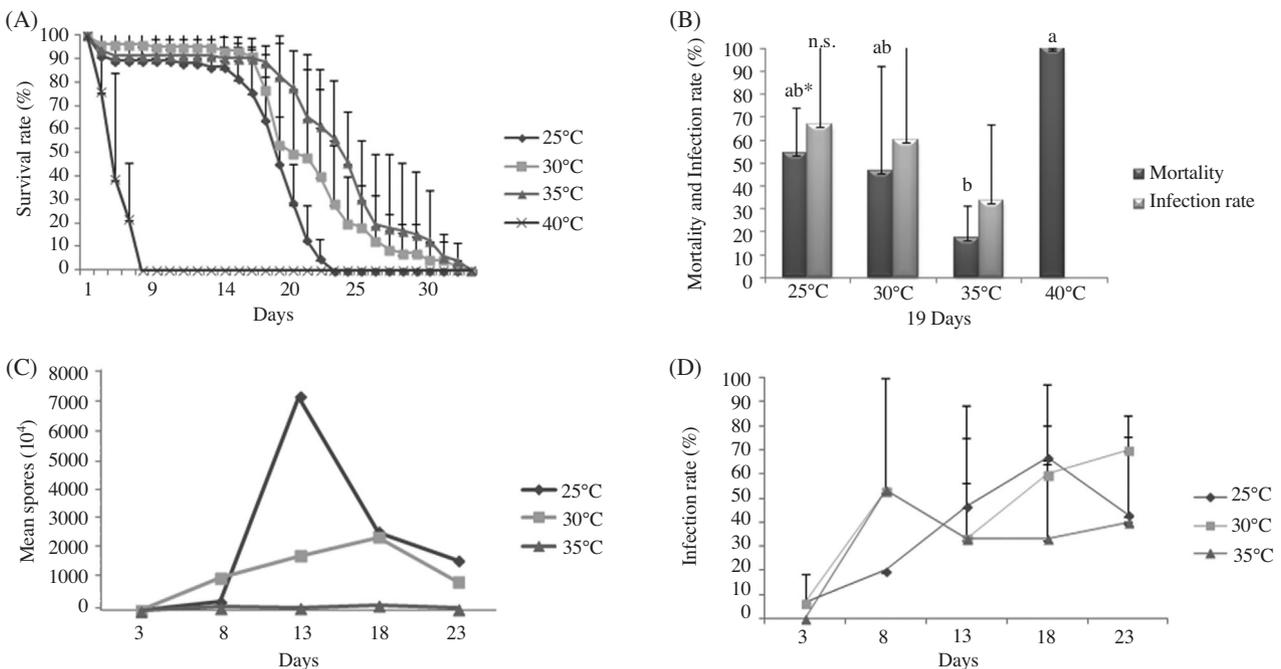


Fig. 1. (A) Survival rates of worker honeybees in different temperature. (B) Mortalities of worker bees and infection rates with *Nosema ceranae* after 19 days of incubation. (C) Average *Nosema* spores per worker bee. (D) Infection rates of *Nosema ceranae* in worker bees in different temperature. *Different symbol means statistically different at 0.05 level, n.s.: not significant.

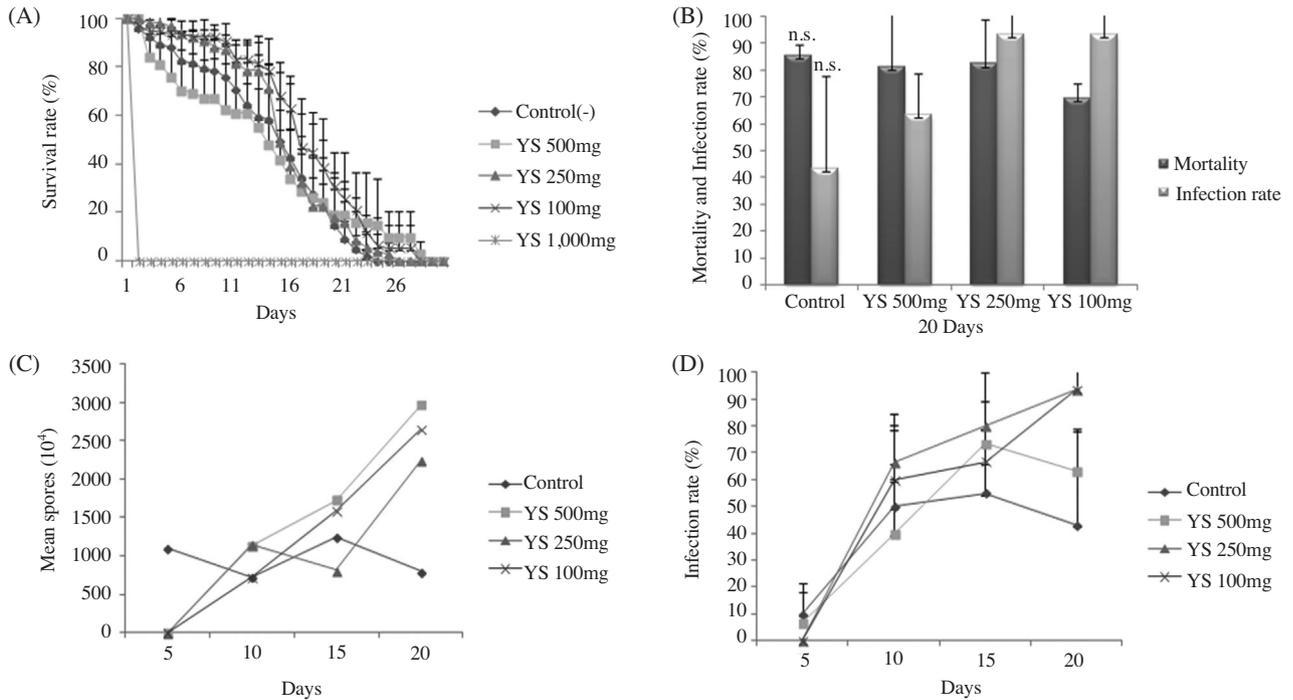


Fig. 2. (A) Survival rates of worker honeybees in different yellow sand (YS) concentration. (B) Mortalities of worker bees and infection rates with *Nosema ceranae* after 19 days of incubation; n.s.: statistically different at 0.05 level. (C) Average of *Nosema* spores per worker bee. (D) Infection rates of *N. ceranae* to yellow sand treatment.

생리장애에 의해 사망 수가 급격히 증가하는 것으로 볼 수 있다.

기후 변화에 의해 기온이 상승하고, 한반도와 같이 습도가 높은 상태에서 고온 기간(특히 35°C) 이상이 상당기간 지속된다면 많은 생물 종은 물론 우리나라 꿀벌도 거의 생존이 불가능할 것으로 예측된다. 따라서 온난화로 인한 고온 피해를 막기 위한 적절한 꿀벌 봉군 사육시설과 관리기술에 대한 연구가 필요할 것이다.

각 시험구 간 생존율에 차이를 보이는 온도별 사육 19일 후 사망률과 노제마 감염율의 차이를 비교한 결과(Fig. 1B), 최적 온도인 35°C와 최고 온도인 40°C 간에는 사망률에 유의한($p < 0.05$) 차이를 보였고, 9일째 전부 사망하여 노제마 감염률을 조사하지 못한 40°C를 제외한 3개 온도 조건 간에는 노제마 감염률에 유의한 차이를 찾을 수 없었다. 노제마 감염률은 온도 조건 이외의 일벌 개체 간의 영양상태, 면역기능, 유전적 차이 등 내재적 요인에 의해 더욱 영향을 받는 것으로 생각된다. 하지만 생존율이 가장 높았던 사육

최적온도인 35°C에서 개체 당 포자 수가 200개 이하로 아주 낮게 나타남으로써 봉군 육아 온도인 35°C가 노제마 억제에 가장 효과적으로 보인다(Fig. 1C, 1D).

황사

황사는 40 μ m이하(평균 20 μ m)의 모래먼지로서 일반적으로 황사가 발생하는 지역은 고배사막이나 타클라마칸 사막이다. 그러나 최근 몽골초원지대의 사막화가 급속히 진행되고 이곳의 대기가 불안정해지면서 이 지역의 강한 황사가 한반도로 유입되면서 새로운 환경보건 문제를 야기하고 있다.

황사의 농도에 따른 성충 꿀벌(일벌)의 생존율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 사육케이지 내 1,000mg(일벌 당 4.4mg)의 인공 황사를 접촉시켰을 때 시험 일벌 모두 처리 이튿날에 사망하였다(Fig. 2A). 사망한 일벌의 호흡기관(trachea)에서 황사 입자가 검출됨으로써 호흡장애를 일으킨 것으로 보인다. 황사 처리 20일 후 조사에서 케이지 당 500mg(일벌 당 2.2mg) 이하의 황사와 접촉했을 경우에는 무처리와

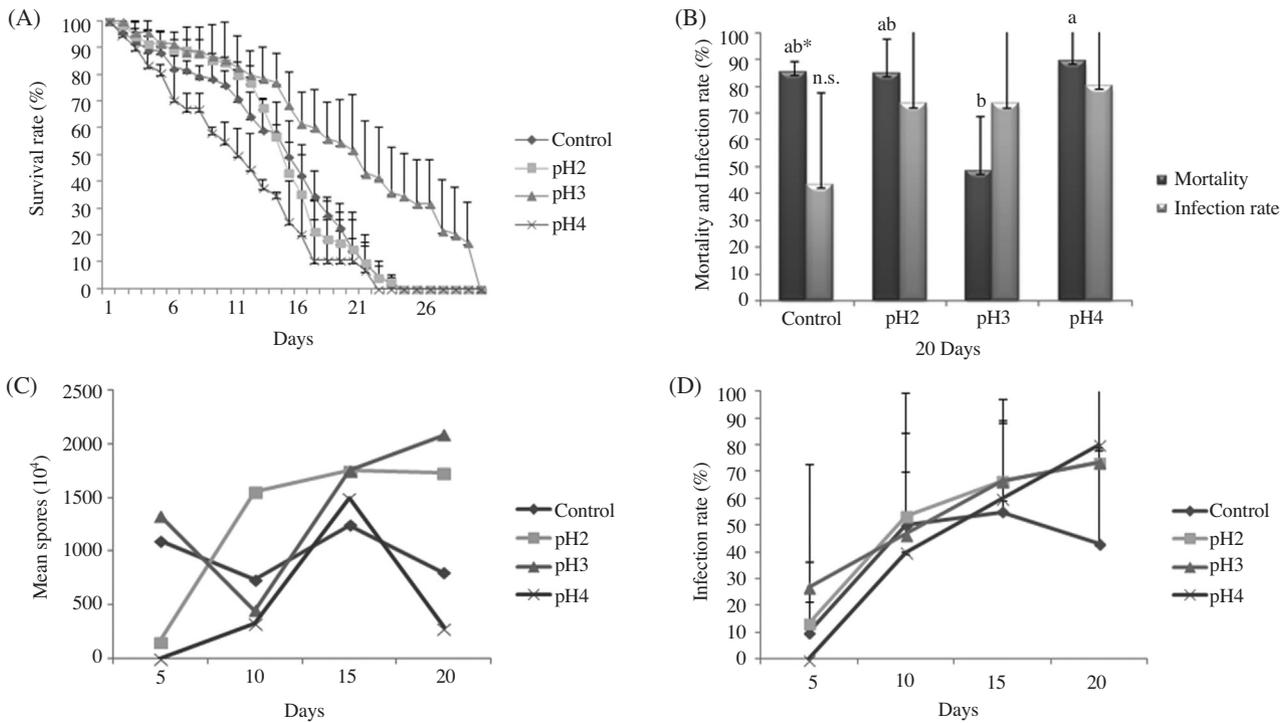


Fig. 3. (A) Survival rates of worker honeybees in different acidity of artificial rain. (B) Mortalities of worker bees and infection rates with *Nosema ceranae* after 20 days of incubation. (C) Average of *Nosema* spores per worker bee. (D) Infection rates of *N. ceranae* to artificial acid treatment. *Different symbol means statistically different at 0.05 level; n.s.: not significant.

비교하여 뚜렷한 생존율 감소 경향은 보이지 않았다 (Fig. 2B). 노제마에 대한 감염률의 경우 무처리에 비해 증가하는 경향을 보였지만 통계적으로 유의성은 없었다(Fig. 2B, 2C, 2D). 최근 몽골 지역에서 발생하여 우리나라로 유입되는 황사보다는 대기오염물질에 의한 미세먼지가 생물에 더 유해한 것으로 나타나고 있어, 향후 미세먼지의 꿀벌에 대한 유해성에 대한 심도 있는 연구가 필요하다.

산성비

산성비의 기준은 국내의 경우 빗물이 산도 pH 5.6 미만인 경우에 산성비로 판단하지만, 일부 국가에서는 일반적인 대기의 영향으로 산성화되는 것을 고려하여 pH 5.0 이하인 비를 산성비로 정의한다. 산성비의 원인 물질로 자동차에서 배출되는 질소산화물과 공장이나 발전소, 가정에서 석탄, 석유 등이 연소되면서 나오는 황산화물이 있다. 황산화물이 대기 중에서 수증기와 만나 황산이나 질산으로 바뀌어 산성을 띠게 된다. 이러한 산성비가 성충 꿀벌의 수명과 노제마

감염에 미치는 영향을 파악하고자 표준화된 인공 산성비를 조절하여 갓 출방한 어린 일벌에 처리한 결과는 Fig. 3과 같다.

pH 2, 3, 4의 인공 산성비를 분무했을 때에는 pH 3과 pH 4 처리 간에는 다소 차이를 보였지만 무처리에 비해 사망률 증가 경향은 보이지 않았다. 산성비 처리 후 노제마(*Nosema ceranae*)에 대한 일벌 체내 포자수와 감염률은 증가하는 경향을 보였지만 변이가 심하여 유의성은 나타나지 않았다. 이 실험에서 일시적인 산성비 1회 분무로 인해 그 영향이 적었던 것으로 생각되며 주기적인 산성비 접촉 조건을 만들어 그 유해성에 대해 추가 조사할 필요가 있다.

적 요

온도상승, 황사, 산성비 등 기후변화 요인이 한국의 양봉산업에 피해를 줄 것에 대한 우려가 많다. 이러한 기상 요인이 꿀벌 성충의 수명과 노제마 감염률에 미

치는 영향을 조사하였다. 실내 항온조건에서 30℃와 35℃ 항온에서 어린 일벌을 키웠을 때는 34일을 생존했지만 40℃에서는 8일 이내에 전부 사망하였다. 일벌 당 4.4mg의 황사가 접촉했을 때에는 시험 일벌 전부가 사망하였다. 일벌 당 2.2mg 이하의 황사와 접촉했을 경우와 pH 2, 3, 4의 인공 산성비를 분무했을 때에는 무처리에 비해 사망률 증가 경향은 보이지 않았지만 노제마(*Nosema ceranae*)에 대한 감염률은 다소 증가하는 경향을 보였다. 기후변화에 대비한 지속가능한 양봉산업을 위해서 기후변화 관련한 환경 요인에 대한 보다 광범위한 연구가 더욱 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업공동연구사업(과제번호: PJ01048706)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌습니다.

인용 문헌

기상청. 2014. 한국 기후변화 평가보고서 2014. 기후변화 과학적 근거. 305p.
이명렬, 최지영, 이만영, 김영수. 2003. 국내 꿀벌 노제마병의 감염수준. 한국양봉학회지 18: 151-154.

최용수, 이만영, 홍인표, 우순옥, 심하식, 변규호, Ratna Thapa, 이명렬. 2013. 동양종 꿀벌(*Apis cerana* F.) 밀랍을 이용한 여왕벌 양성 기술. 한국양봉학회지 28: 191-197.
Cox Foster, D. and E. vanEngelsdorp. 2009. Saving the honey bee. Life Science. April 2009, 24-31.
Ellis, J., J. D. Evans and J. S. Pettis. 2009. Reviewing colony losses and Colony Collapse Disorder in the United States. J. Apic. Res. 49: 134-136.
Furgala, B. and E. C. Mussen, 1978. Protozoa. pp. 63-77. In Pest, predators, and diseases, ed. by R. A. Morse. 430pp. Cornell University, Ithaca.
Le Conte Y. and M. Navajas. 2008. Climate change: impact on honey bee populations and diseases. Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz. 27: 499-510.
Mussen, E. C., B. Furgala and R. A. Hyser. 1975. Enzootic levels of nosema disease in the continental United States (1974). Am. Bee. J. 115: 48-50.
Neumann, P. and N. L. Carreck. 2010. "Honey bee colony losses", Journal of Apicultural Research 49: 1-6.
Southwick, E. 1992. Physiology and social physiology of the honey bee. In The Hive and the Honeybee. pp. 171-196. Dadant & Sons, Inc., Hamilton, Illinois.
UNEP. 2010. UNEP Emerging Issues: Global Honey Bee Colony Disorder and Other Threats to Insect Pollinators. 120p.
VanEngelsdorp, D., R. Underwood, D. Caron and Jr J. Hayes. 2007. An estimate of managed colony losses in the winter of 2006-2007: A report commissioned by the apiary inspectors of America. Am. Bee. J. 147: 599-603.
White, G. F. 1919. Nosema disease. USDA Bulletin 431.
Zander, E. 1909. Animal parasites as disease producers in bees. Leipziger Bienenzeitung 24: 147-150, 164-166.