



기후변화와 대기 알레르겐 변화

진현정 · 김정은 · 김주희 · 박해심* | 아주대학교 의과대학 알레르기 류마티스내과학교실

Impacts of climate change on aeroallergens

Hyun Jung Jin, MD · Jeong-Eun Kim, MD · Joo-Hee Kim, MD · Hae-Sim Park, MD*

Department of Allergy and Rheumatology, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

*Corresponding author: Hae-Sim Park, E-mail: hspark@ajou.ac.kr

Received November 23, 2010 · Accepted December 10, 2010

Climatic changes are key environmental issues affecting allergic diseases. Temperature and CO₂ content have been found to be increasing together with climate changes, which could increase pollen production, extend the pollination period, and augment the allergenic components of major pollens. Changes in the distribution of major trees and weeds have been noted. Severe weather events such as thunderstorm winds and precipitation could increasingly cause pollen grains to burst, releasing allergenic particles and leading to extensive mold growth. Air pollutants can increase the concentration of allergen released from pollen grains and allow for easier penetration into airway mucosa. Future studies will be essential to investigate the mechanisms by which allergenic contents can be changed in response to climate change. A better understanding of how aeroallergens interact with air pollutants is needed. Climate change has a significant impact on aeroallergen levels and content in ways which may accelerate the development of allergic diseases. Future strategies will be crucial in preventing the allergic diseases associated with climate changes.

Keywords: Climate change; Aeroallergens; Allergic disease; Pollen; Fungi

서론

최근 환경 분야의 화두는 지구의 온난화 현상이며, 이에 따른 건강 영향에 대한 우려가 증가되고 있다. 최근 기후변화에 관하여 여러 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change)이 결성되어 지구 온난화의 심각성에 대해서 발표하였고, 산업화, 도시화, 인구 밀집 등 급격한 환경 변화로 인하여, 대기 중 이산화탄소, 메탄, 이산화질소 등과 같은 온실가스의 농도가 증가하고 있다. 우리나라에서도 지난

100여 년간 평균 기온이 상승하고, 지속적인 강수량 증가, 저온 일수 감소 및 고온 일수 증가와 같은 기후변화가 관찰되고 있다.

한편 알레르기 비염과 천식을 포함한 호흡기 알레르기질환들은 환경 변화로 인해 그 유병률이 지속적으로 증가하고 있는데 실내 알레르겐의 증가와 함께 대기 알레르겐의 농도 증가가 주된 원인으로 설명된다. 즉 대기 알레르겐의 농도가 증가하거나 각 알레르겐 내 항원 단백질이 증가할수록, 이에 따른 감작률의 증가와 함께 알레르기질환의 발생이 증

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가하고 증중도 및 악화 빈도가 증가한다[1,2]. 이러한 대기 알레르겐 중에 호흡기 알레르기질환을 유발하는 항원으로 꽃가루와 진균의 중요성은 잘 알려져 있다[3]. 따라서 본 논문에서 기후변화에 따른 대기 알레르겐의 변화, 특히 꽃가루와 진균류에 미치는 영향에 대한 살펴보았다.

기후변화와 꽃가루 알레르기

1. 기후변화에 따른 꽃가루 생산량 증가

최근 많은 연구들에서 기온이 증가하면 꽃가루의 생성도 증가함을 보고하고 있다. Spieksma 등[4]은 유럽 5개 지역 (Basel, Vienna, London, Leiden, and Stockholm)에서 18-30년간 수집한 자작나무 꽃가루 수를 분석해 본 결과 기온이 높을 수록 꽃가루 생산량이 증가하고, 매해 총 꽃가루 생성이 증가함을 확인하였다. Teranishi 등[5]도 1983년 부터 1998년까지 삼나무(Japanese cedar) 꽃가루 수와 기온과의 관계를 연구한 결과, 7월의 기온과 한 해 생성된 총 꽃가루 양 사이에는 양의 상관관계가 있음을 확인하였다. 뉴잉글랜드 지역에서 시행된 연구에서도 엘리노 현상이 있었던 해의 꽃가루 최고 수치가 다른 해에 비해 더 높음을 확인하였다[6].

돼지풀 꽃가루의 경우에도, 도시와 농촌에서 성장 패턴을 분석해 본 결과, 돼지풀 꽃이 도시에서 더 빨리 개화하고 꽃가루 생성량이 더 많음을 확인하였고, 이는 도시가 농촌에 비해 기온이 높고 대기 중 이산화탄소의 농도가 더 높은 현상에 의한 것으로 설명하였다[7]. 이러한 가설은 실험을 통하여서도 증명되었는데, 기온이 높은 환경에서 꽃가루의 직경과 총 생성량이 증가하고[8] 이산화탄소의 농도를 두 배로 증가시킨 경우 돼지풀의 양이 증가함을 확인하였다[9-11].

2. 꽃가루 생성 시기의 변화와 기간 연장

꽃가루 생성 시기와 기간의 변화는 알레르기질환의 발생과 경과에 영향을 준다. 즉 기후변화에 의해 세계적으로 다양한 꽃가루들의 생성 시기가 빨라지고 꽃가루가 날리는 기간의 연장 및 확대가 예상된다. 영국에서 시행된 자작나무 꽃가루 연구에서 그 절정기가 조금씩 빨라지며, 이는 1월에

서 3월까지 평균 기온이 증가한 현상과 관련성이 있다고 보고하였다[12]. 또한 유럽 6개 지역에서 봄철의 기온과 자작나무 꽃가루 생성 시작 날짜를 분석해 본 결과, 지구 온난화 현상이 지속될 경우 10년 후에는 약 6일 정도 개화시기가 빨라질 것이라고 예측하였다[13]. 이탈리아에서도 1981년부터 2000년까지 기온 상승과 함께 꽃가루 절정기가 빨리 시작되고 그 기간도 연장됨을 확인하였다[14,15]. 세계보건기구(World Health Organization) 산하의 European Phenology Network and International Centre for Integrative Studies에서는 꽃가루의 개화시기와 절정기가 빨라지고 또한 개화기간이 연장되고 있음을 발표하였고 이러한 현상은 일찍 개화하는 종에서 더욱 저명하고 여름 또는 늦게 개화하는 종에서는 개화시기가 연장되는 현상이 저명하였다[16]. 한편 1983년부터 1998년까지 삼나무 꽃가루 시작시기를 연구한 결과에서도, 2월 평균 온도가 상승함에 따라 꽃가루 시즌의 시작시기가 빨라졌고[5], 돼지풀 꽃가루 연구에서도 기온과 이산화탄소의 농도가 높은 도시 지역에서 더 일찍 개화하였다[7]. 따라서, 꽃가루 개화기가 빨라지고 꽃가루 날리는 기간이 연장되면, 알레르기질환의 증가 및 증상 악화가 가속화 될 수 있다.

3. 대기 중 꽃가루 분포의 변화

기후변화와 건강영향에 대한 연구 초기부터 알레르겐의 원인이 되는 식물들의 분포 변화는 보고되었다[17]. Emberlin [18]은 북반구에서 자작나무의 북쪽 한계가 수백 킬로미터까지 연장되었으며 남쪽 한계선은 축소되었음을 보고하였고, 돼지풀 분포도 북쪽으로 확대되었음을 보고하였다. 식물생태학 모델 분석 결과 미국에서도 많은 수목종들의 서식지가 북쪽으로 이동하고 있다[19]. 또한 꽃가루가 원래 분포하는 지역에서 아주 먼 지역까지 이동한 보고도 있다. 1998년 4월 동안 고비사막에서 발생한 큰 먼지 폭풍에 의해 주로 오클라호마 등지에서 보이는 수목 꽃가루들이 10일 후에는 미국 서부해안을 따라서 많이 관찰되었다[20]. 유럽에서는 강한 바람에 의해 자작나무 꽃가루가 주 서식지인 폴란드와 독일에서 덴마크까지 이동한 보고가 있으며, 너도밤나무 꽃가루가 이탈리아와 독일에서 북부 스페인까지



이동했다는 보고도 있다[21]. 이러한 식물 분포의 변화로 기존에 그 지역에 없던 꽃가루들이 새롭게 유입되면서 이들 새로운 꽃가루에 의해 알레르기질환이 나타날 수 있다[22].

4. 꽃가루 항원성의 변화

Hjelmroos 등[23]은 동일한 그루의 자작나무에서 생성된 꽃가루라 할 지라도 항원성을 비교해 본 결과, 나무의 남쪽에서 생성된 꽃가루의 항원성이 가장 높았으며, Ahlholm 등[24]도 평균 기온을 1.0-2.5°C 정도 다르게 자작나무를 재배한 후 주요 알레르겐인 Bet v 1을 이용하여 IgE immunoblotting을 시행한 결과, 온도가 높은 환경에서 자란 꽃가루일수록 IgE 항체와 더 강한 결합력을 나타내었다. Singer 등[25]은 돼지풀 꽃가루를 이용한 실험에서, 이산화탄소 농도가 높은 환경에서 자랄수록, 총 꽃가루 단백질의 변화는 없으나, 주 알레르겐 단백질인 Amb a 1 알레르겐 농도가 증가함을 보고하였다.

5. 극한 기상 상황에서 대기 중 꽃가루의 변화

심한 폭풍우나 태풍과 같은 극한 기상 상황도 알레르기질환과 대기 알레르겐에 영향을 미친다. 폭풍우가 있는 날에 기존 천식 환자뿐만 아니라 비염만 있는 환자에서도 천식 악화가 더 많이 발생한다고 알려져 있다. 즉 폭풍우는 꽃봉오리를 벌리고 알레르겐 입자를 잘 분산시켜 증상을 유발할 수 있다[26].

기후변화에 따른 공중진균의 변화

기후변화에 따른 공중진균류의 변화에 대한 연구는 꽃가루에 대한 연구에 비하면 제한적이나 기후변화에 따라 공중진균류의 변화도 확인할 수 있다. 1970년부터 1998년까지 영국에서 시행된 연구에 따르면 6월에서 10월까지 측정된 *Alternaria* 포자 농도가 매년 증가하고 절정기의 시작 시기도 빨라지고 있다. 기온과 습도가 공중진균의 농도에 영향을 미친다고 알려져 있는데 미국 덴버와 콜로라도에서 시행된 연구 결과를 살펴보면 8년간 *Cladosporium* 포자 농도가 기온과 습도와 중요한 양의 상관관계를 보였고 강수량과는

음의 상관관계를 보였다[27]. 뉴잉글랜드에서 시행된 연구에서는 엘리노 현상 이후에 꽃가루뿐만 아니라 진균 포자의 수도 증가함을 확인할 수 있었다. *Alternaria* 생성은 농작물의 수확기와 관련이 있어 기온의 변화로 수확기가 변하면 진균류 절정기의 시작과 기간이 변할 수 있다.

한편, 영국에서 시행된 연구에서는 *Didymella*, *Cladosporium*과 *Alternaria* 포자 농도와 천식으로 인한 입원을 사이에 높은 상관관계를 보였다. 이 연구에서 폭풍우 기간 동안 입원한 천식 환자에서 대조군에 비해서 *Alternaria*와 *Cladosporium* 포자의 감작률이 통계적으로 유의하게 높았으며 폭풍우 같은 기상이변이 있을 때 진균 포자 생성이 증가함을 확인할 수 있었고[28], 2005년 미국 뉴올리언즈에서도 카트리나 태풍 이후 곰팡이 또는 공기 중 부유물질로 인한 기침을 호소하는 사람들이 증가하였다. 실제로 건물들과 빌딩을 조사한 결과 진균의 성장이 증가하였다[29]. 홍수가 있었던 지역에서도 그렇지 않은 시기에 비해 진균류가 증가하였다.

대기오염에 따른 공중 알레르겐의 변화

천식 증상의 악화는 이산화질소(NO₂), 이산화황(SO₂) 등과 같은 대기오염 물질의 농도와 관련성이 있다[30,31]. 또한 대기오염 물질은 꽃가루와 진균류 등과 같은 대기 알레르겐 성상을 변화시킨다[32]. 즉 오존(O₃), 미세분진(particulate matter), 이산화황 등은 꽃가루에 작용하여 항원성을 증가시키고, 흡입된 알레르겐이 기도 점막을 쉽게 통과하고 또한 오래 체내에 머무르게 한다.

결론

전세계적으로 관찰되는 기후변화는 알레르기질환의 증가와 밀접한 관련성이 있다. 기후변화로 인한 기온의 상승은 대기오염 및 이산화탄소 증가로 이어져, 대기 중 꽃가루의 농도를 증가시키고 꽃가루가 날리는 기간을 확대시켜 알레르기질환의 발생이 증가하고, 증상 악화를 유발할 수 있다. 또한 기존 꽃가루는 그 항원성이 증가하고 있고, 새로운 꽃

가루와 진균의 증가는 새로운 양상의 알레르기질환의 발생을 예측하고 있다.

유럽과 미국에서는 기후변화에 따른 대기 알레르겐의 변화에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 최근 국내에서도 기후변화가 뚜렷이 관찰되고, 대기중 꽃가루의 수가 증가하고 있으나, 이에 대한 체계적인 연구는 미비하다. 향후 기후변화에 따른 대기 알레르겐의 변화 및 알레르기질환 발생 증가를 예방하기 위한 범 국가 차원의 연구 및 대책 수립이 필수적이다.

핵심용어: 기후변화; 대기 알레르겐; 알레르기질환; 공중화분; 공중진균

REFERENCES

- Nielsen GD, Hansen JS, Lund RM, Bergqvist M, Larsen ST, Clausen SK, Thygesen P, Poulsen OM. IgE-mediated asthma and rhinitis I: a role of allergen exposure? *Pharmacol Toxicol* 2002;90:231-242.
- Oh JW. Development of pollen concentration prediction models. *J Korean Med Assoc* 2009;52:579-591.
- Jeon B, Lee J, Kim JH, Kim JW, Lee HS, Lee KH. Atopy and sensitization rates to aeroallergens in children and teenagers in Jeju, Korea. *Korean J Asthma Allergy Clin Immunol* 2010; 30:14-20.
- Th F, Spieksma M, Emberlin JC, Hjelmsroos M, Jager S, Leuschner RM. Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. *Grana* 1995;34:51-57.
- Teranishi H, Kenda Y, Katoh T, Kasuya M, Oura E, Taira H. Possible role of climate change in the pollen scatter of Japanese cedar *Cryptomeria japonica* in Japan. *Clim Res* 2000;14:65-70.
- Freye HB, King J, Litwin CM. Variations of pollen and mold concentrations in 1998 during the strong El Nino event of 1997-1998 and their impact on clinical exacerbations of allergic rhinitis, asthma, and sinusitis. *Allergy Asthma Proc* 2001; 22:239-247.
- Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG. Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. *J Allergy Clin Immunol* 2003;111:290-295.
- Wan S, Yuan T, Bowdish S, Wallace L, Russell SD, Luo Y. Response of an allergenic species, *Ambrosia psilostachya* (Asteraceae), to experimental warming and clipping: implications for public health. *Am J Bot* 2002;89:1843-1846.
- Ziska LH, Caulfield F. Rising CO₂ and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*), a known allergy-inducing species: implications for public health. *Aust J Plant Physiol* 2000;27:893-898.
- Wayne P, Foster S, Connolly J, Bazzaz F, Epstein P. Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO₂-enriched atmospheres. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2002;88:279-282.
- Rogers CA, Wayne PM, Macklin EA, Muilenberg ML, Wagner CJ, Epstein PR, Bazzaz FA. Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO₂ on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environ Health Perspect* 2006; 114:865-869.
- Emberlin J, Mullins J, Corden J, Millington W, Brooke M, Savage M, Jones S. The trend to earlier birch pollen seasons in the U.K.: a biotic response to changes in weather conditions? *Grana* 1997;36:29-33.
- Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, Jaeger S, Noland N, Rantio-Lehtimäki A. Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. *Int J Biometeorol* 2002;46:159-170.
- Freguelli G. Interactions between climatic changes and allergenic plants. *Monaldi Arch Chest Dis* 2002;57:141-143.
- D'Amato G, Liccardi G, D'Amato M, Cazzola M. Outdoor air pollution, climatic changes and allergic bronchial asthma. *Eur Respir J* 2002;20:763-776.
- Huynen M, Menne B. Phenology and human health: allergic disorders. Report of a WHO meeting, Rome, Italy, 16-17 January 2003. Health and global environmental change, series no. 1. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe; 2003.
- Last J, Guidotti TL. Implications for human health of global ecological changes. *Public Health Rev* 1990;18:49-67.
- Emberlin J. The effects of patterns in climate and pollen abundance on allergy. *Allergy* 1994;49(18 Suppl):15-20.
- Fischlin A, Midgley GF, Price JT, Leemans R, Gopal B, Turley C, Rounsevell MD, Dube OP, Tarazona J, Velichko AA. Ecosystems, their properties, goods and services. In: Parry M, Canziani O, Palutikof J, van der Linden P, Hanson C, editors. *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Working group II contribution to the fourth assessment: report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007. p. 211-272.
- Husar RB, Tratt DM, Schichtel BA, Falke SR, Li F, Jaffe D, Gasso S, Gill T, Laulainen NS, Lu F, Reheis MC, Chun Y, Westphal D, Holben BN, Gueymard C, McKendry I, Kuring N, Feldman GC, McClain C, Frouin RJ, Merrill J, DuBois D, Vignola F, Murayama T, Nickovic S, Wilson WE, Sassen K, Sugimoto N, Malm WC. Asian dust events of April 1998. *J Geophys Res* 2001;106:18317-18330.
- Belmonte J, Alarcon M, Avila A, Scialabba E, Pino D. Long-range transport of beech (*Fagus sylvatica* L.) pollen to Cata-



- lonia (north-eastern Spain). *Int J Biometeorol* 2008;52:675-687.
22. Asero R. Birch and ragweed pollinosis north of Milan: a model to investigate the effects of exposure to "new" airborne allergens. *Allergy* 2002;57:1063-1066.
 23. Hjelmroos M, Schumacher MJ, Van Hage-Hamsten M. Heterogeneity of pollen proteins within individual *Betula pendula* trees. *Int Arch Allergy Immunol* 1995;108:368-376.
 24. Ahlholm JU, Helander ML, Savolainen J. Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens ssp. czerepanovii* [Orl.] *Hamet-ahti*) pollen. *Clin Exp Allergy* 1998;28:1384-1388.
 25. Singer BD, Ziska LH, Frenz DA, Gebhard DE, Straka JG. Increasing Amb a 1 content in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO2 concentration. *Funct Plant Biol* 2005;32:667-670.
 26. D'Amato G, Liccardi G, Frenguelli G. Thunderstorm-asthma and pollen allergy. *Allergy* 2007;62:11-16.
 27. Katial RK, Zhang Y, Jones RH, Dyer PD. Atmospheric mold spore counts in relation to meteorological parameters. *Int J Biometeorol* 1997;41:17-22.
 28. Pulimood TB, Corden JM, Bryden C, Sharples L, Nasser SM. Epidemic asthma and the role of the fungal mold *Alternaria alternata*. *J Allergy Clin Immunol* 2007;120:610-617.
 29. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Health concerns associated with mold in water-damaged homes after Hurricanes Katrina and Rita: New Orleans area, Louisiana, October 2005. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2006; 55:41-44.
 30. Park SW. Effect of air pollution on acute exacerbation of adult asthma in Seoul, Korea. *Korean J Med* 2010;78:447-449.
 31. Rossi OV, Kinnula VL, Tienari J, Huhti E. Association of severe asthma attacks with weather, pollen, and air pollutants. *Thorax* 1993;48:244-248.
 32. D'Amato G. Outdoor air pollution, climate and allergic respiratory diseases: evidence of a link. *Clin Exp Allergy* 2002; 32:1391-1393.



Peer Reviewers' Commentary

지구 온난화와 같은 기후변화는 최근 여러 가지 면에서 이슈가 되고 있으며, 특히 이에 따른 건강에 대한 영향이 있을 것으로 알려지고 있다. 이번 종설은 이런 점에서 시의적절한 것으로 생각한다. 기후변화가 꽃가루와 진균류에 미치는 여러 가지 영향을 적절하게 정리하고 국내에서 해야 할 관련 연구방향을 제시하고 있다. 다만 국내 연구 중 인용이 가능한 것들을 함께 인용하고 정리했으면 하는 아쉬움이 있다.

[정리:편집위원회]