

발제문

징진지(京津冀) 지역 미세먼지 관리정책 조치

왕리

조교수, 중국 국가발전개혁위원회 지구 및 지구경제연구소

1. 징진지 지역 자원환경 특징

징진지[京津冀: 베이징(北京), 톈진(天津), 허베이(河北)의 약칭]의 자연적인 특징은 서북 산지, 동남 평원, 동부 해역으로 구성돼 있다는 것이다. 징진지 지역은 동경 113°04' 에서 119°53' , 북위 36°01' 에서 42°37' 사이에 걸쳐 있다. 화베이(華北)평원에 위치해 있는 징진지 지역은 북쪽으로 네이멍구(內蒙古)고원, 서쪽으로 황투(黃土)고원, 동쪽으로 보하이(渤海)에 인접해 있다. 또한 서쪽에 타이항산(太行山) 산지, 북쪽에 옌산(燕山) 산지가 있고, 옌산 이북은 장베이(張北)고원, 그 나머지는 하이허(海河)평원으로, 총면적은 21.6만㎢이다. 인접한 성(省)은 북쪽으로 랴오닝(遼寧), 네이멍구 자치구, 서쪽으로 산시(山西), 남쪽으로 허난(河南), 산둥(山東), 동쪽으로 보하이와 인접해 있다. 징진지 지역은 중위도 지대에 위치해 있어 기후는 뚜렷한 온대, 반습윤 계절풍 기후를 보이는데, 이는 이 지역의 자원 환경에 큰 영향을 미친다.



그림1) 징진지의 지리적 위치

옌산, 타이항산, 네이멍구고원의 영향으로 징진지 지역의 지형은 전반적으로 서북쪽은 높고 동남쪽은 낮은 특징을 보인다. 또한 산지, 고원, 구릉, 평원, 분지, 호수, 해양 등 다양한 지리적 요소를 갖추고 있다. 평원 면적은 74,946km²로, 전체의 34.7%를 차지하고 전국 평균 수준인 11.98%를 훨씬 상회한다. 이 중 베이징의 평원 면적 비중은 38.6%, 텐진은 95.5%, 허베이는 30.5%로 모두 30%를 웃돈다. 양호한 지질 조건은 정착에 유리하다. 산지는 80,577km²로 전체의 37.3%를 차지한다. 산지는 주로 허베이에 집중돼 있으며 허베이의 산지 면적은 70,197km²로, 87.1%가 집중돼 있다. 징진지 지역 내 고원은 모두 허베이에 집중돼 있고 전체 면적에서 차지하는 비중은 10.5%이다. 구릉, 호수 면적은 각각 4.3%, 1.9%로 낮은 편이다. 해안선은 허베이와 텐진에 분포돼 있는데, 640km이며 허베이와 텐진의 해안선 길이 비율은 3:1(표1)이다.

표1) 징진지의 자연 지리적 요소 특징

지역	베이징		톈진		허베이		징진지	
항목	면적 (km ²)	비중(%)	면적 (km ²)	비중(%)	면적 (km ²)	비중(%)	면적 (km ²)	비중(%)
총면적	16410	100.0	11917	100.0	187693	100.0	216020	100.0
산지	10072	61.4	308	2.6	70197	37.4	80577	37.3
고원	0	0.0	0	0.0	24344	13.0	24344	11.3
구릉	0	0.0	229	1.9	9066	4.8	9294	4.3
평원	6338	38.6	11381	95.5	57228	30.5	74946	34.7
분지	0	0.0	0	0.0	22711	12.1	22711	10.5
호수	0	0.0	0	0.0	4148	2.2	4148	1.9
해안선 길이(km)	0		153		487		640	

(데이터 출처: 관련 자료 종합 정리)

징진지 지역의 자연 지리적 요소는 크게 산간지역, 평원, 해역 3대 지역으로 구분할 수 있다. 이 중 산간지역에는 고원, 산지, 분지 등이 포함된다. 본 보고서에서도 상기 3대 지역으로 징진지 지역을 구분해 자원 개발 이용과 환경 보호 현황 및 문제점을 분석하였다. 징진지 지역의 주요 지형은 아래 그림과 같이 구분할 수 있다.

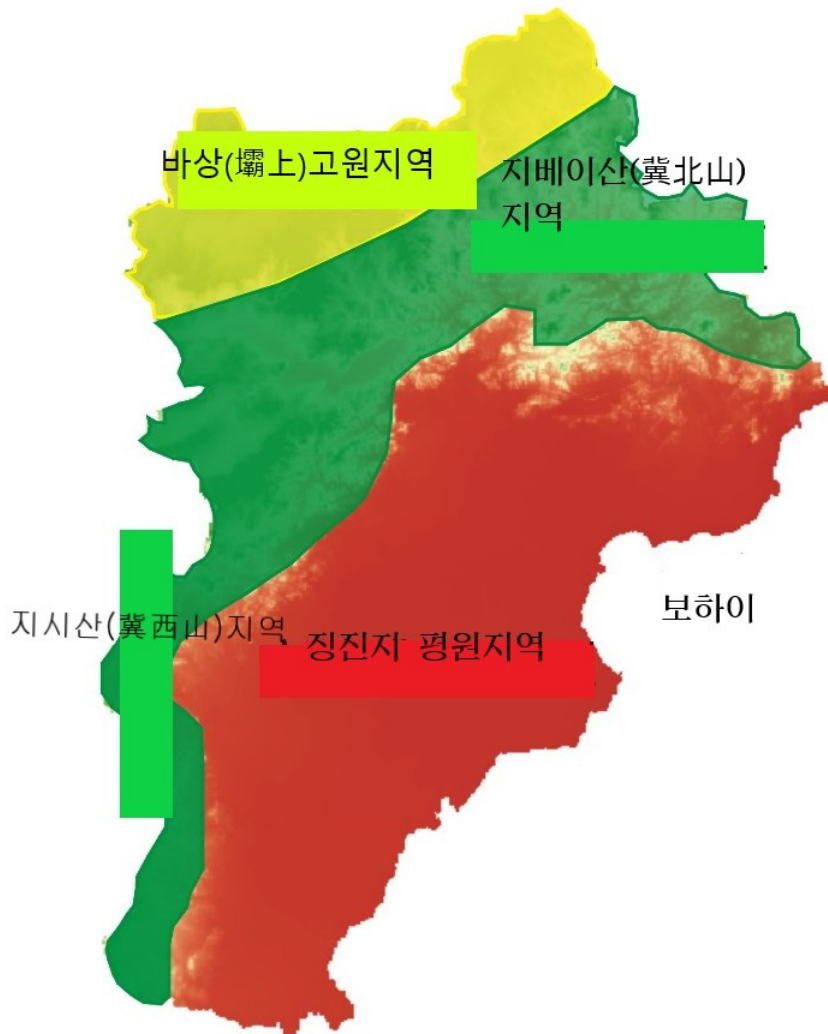


그림2) 징진지 지역 주요 지형 구획도

2. 징진지 지역 대기오염 상황

징진지 지역의 대기는 오랜 기간 매연, 황사 오염의 위협을 받고 있다. 최근 몇 년간 다양한 노력으로 기존의 대기오염의 악화가 다소 억제되었지만 도시건설이 가속화되고 물질생활 수준이 높아지면서 자동차 배기가스가 주를 이루는 새로운 오염원이 징진지 대기오염 성질을 근본적으로 바꾸었다. 매연, 황사, 자동차 배기가스 등 오염 발생으로

복합적인 대기오염이 새롭게 야기됐다. 이 중 PM2.5가 중요한 구성 부분이다. PM2.5는 대기 중 입자의 크기가 $2.5\mu\text{m}$ 이하인 먼지를 말하며, 인체 건강, 공기질, 가시거리에 막대한 영향을 미친다. PM2.5는 공기에 바로 배출되는 1차 입자와 오염물의 화학 반응을 통해 만들어지는 2차 입자로 구성된다. 이 중 1차 입자는 먼지 입자 및 식물과 광물 연소로 생성되는 카본블랙 입자를 포함하는데, 주로 자동차, 석탄, 바이오 연소에서 기인한다. 2차 입자는 황산암모늄, 질산암모늄을 포함하며, 대기 중의 1차 오염물 이산화유황, 질소산화물이 균일 혹은 비균일한 산화로 산성 에어로졸을 형성하는데, 이는 대기 중의 유일한 알칼리성 기체 NH_3 와 반응해 생성되며, 주로 자동차 배기가스, 용제 도료 등 휘발, 공업물질 등에서 발생한다.

2012년부터 징진지 지역의 미세먼지 문제가 대중의 관심을 받기 시작했다. 아래 표는 미세먼지가 심각할 때 징진지 지역 PM2.5의 주요 오염물질 배출 상황을 보여준다. 표에서 보듯이 징진지 지역 이산화유황 배출량은 174.09만t, 질소산화물 배출량은 234.84만t, 연기(분진) 배출량은 146.42만t으로 전국의 각각 7.85%, 9.77%, 11.45%를 차지했다. 또한 오염 배출량도 상당히 막대하다. 지역 평균 오염 배출량으로 볼 때 이산화유황 배출량은 $8.06\text{t}/\text{km}^2$ 로, 전국의 약 3.5배에 이르며, 이 중 텐진의 배출량은 $19.38\text{t}/\text{km}^2$ 로 전국 평균 수준의 8배를 상회한다. 질소산화물의 징진지 지역 배출량은 $10.87\text{t}/\text{km}^2$ 로, 전국의 약 4.5배이고 이 중 텐진은 $30.12\text{t}/\text{km}^2$ 로, 전국의 12배에 달한다. 징진지 지역의 연기(분진) 배출량은 $6.78\text{t}/\text{km}^2$ 로, 전국의 5배에 이른다. 대량의 오염 배출량과 높은 평균 밀도는 이 지역의 복합형 오염의 심화와 지역 대기 관리에 어려운 도전으로 작용하고 있다.

표2) 징진지 지역 폐기가스 중 주요 오염물 배출 상황

지표	지역	이산화유황	질소산화물	연기(분진)
		만t	만t	만t
총량	베이징	9.79	18.83	6.58
	텐진	23.09	35.89	7.59
	허베이	141.21	180.11	132.25
	징진지	174.09	234.84	146.42
	전국	2217.91	2404.27	1278.83

지표	지역	이산화유황	질소산화물	연기(분진)
지역평균		t/km ²	t/km ²	t/km ²
	베이징	5.96	11.48	4.01
	톈진	19.38	30.12	6.37
	허베이	7.52	9.60	7.05
	징진지	8.06	10.87	6.78
	전국	2.31	2.50	1.33

(자료출처: '중국통계연감2012')

최근 몇 년간 징진지 지역의 미세먼지 상황은 다소 호전됐지만 여전히 어려움에 직면해 있다. 중국환경보호부 '전국 도시 공기질 일간보고서' 수치에 따르면, 2016년 겨울철 베이징 일평균 공기질 지수(AQI)는 145, 이 중 심각오염과 중증오염 일수 비중이 각각 10.23%와 18.18%에 이르렀다. 2017년 봄철 일평균 AQI는 99로, 이 중 우수, 양호한 일수 비중이 각각 25.56%와 40.00%였고 심각 및 중증 오염 일수는 1.11%와 5.56%로 하락했다. 최근 여름철 일평균 AQI는 128³⁵⁾로, 공기질의 중증, 경도(輕度), 양호 비중은 각각 28.57%, 28.57%, 38.57%로 나타났다(표3).

표3) 2016년 겨울 이후 베이징 공기질 통계

공기질		겨울	봄	여름
AQI		145	99	128
오염유형비중(%)	우수	9.09	25.56	0.00
	양호	37.50	40.00	38.57
	경도오염	18.18	18.89	28.57
	중도(中度)오염	6.82	8.89	28.57
	중증오염	18.18	5.56	2.86
	심각오염	10.23	1.11	1.43

35) 각각 입동, 입춘 입하를 경계로 한다. 겨울 기간은 2016년 11월 7일에서 2017년 2월 3일, 봄 기간은 2017년 2월 3일에서 5월 4일, 여름의 시작은 2017년 5월 5일이며, 본문의 여름 통계는 2017년 7월 14일까지로 함.

3. 징진지 지역 환경관리의 어려움과 문제

첫째, 반폐쇄적인 지형적 특징으로 생태환경 악화가 심화됐다. 지형적으로 볼 때 서북이 높고 동남이 낮으며 북부와 서부의 옌산과 타이항산이 평지 대부분의 절반을 둘러싸고 있다. 북부 네이멍구고원, 서부 황투고원이 황사 발원지인데, 주로 편북풍과 편서풍이 불어 황사의 습격을 자주 받는다. 최근 몇 년간 산베이(三北, 시베이/화베이/둥베이) 방호림(防護林) 등 일련의 환경보호 프로젝트를 실시한 결과 황사의 영향이 눈에 띄게 약화됐다. 이 밖에 미세먼지 문제도 현재 두드러진다. 연구에 따르면, 베이징 미세먼지의 출처는 주로 자동차 배기가스로 인한 대량의 휘발성 유기물, 질소산화물 및 주변 공업지대에서 배출하는 대량의 이산화유황이 화학반응을 통해 생성된 입자이다. 징진지 이남 지역의 오염이 비교적 심각한데, 편남풍을 타고 들어온 오염물이 산에 막혀 확산되지 못해 남아 있다가 원래 이 지역의 오염물과 2차 반응을 해서 대기오염이 가중된다.

둘째, 징진지 경제/사회 발전으로 환경에 대한 요구가 더 높아지고 있다. 베이징과 톈진의 경제 발전은 각각 탈공업화, 공업화 후기 단계로 진입했지만 징진지 지역의 86.89%를 차지하는 허베이성은 공업화 중기 단계에 있어 중화학공업 중심의 산업 구조 특징이 단시일 내에 바뀌지는 않을 것이다. ‘허베이성 제3차 전국 경제 조사 주요 데이터 공보’ 자료에 따르면, 허베이성 제조업 수는 9.36만 개로 전체 기업의 21.46%를 차지했고, 제조업 종사자 수는 493,98만 명으로 전체 종사자의 36.71%를 차지하며 가장 많았다. 이 중 흑색금속 제련과 압연 가공업, 비금속 광물 제조업, 금속 제조업 종사자 수가 상위1~3위를 차지했다. 제조업이 허베이성 경제 성장과 고용을 촉진하는 데 막대한 역할을 하는 것이다. 이 밖에 ‘허베이성 2014년 국민 경제/사회 발전 통계 공보’에 따르면, 규모 이상 공업 부가가치는 1조 1,758억 3,000만 위안이며 이 중 장비제조업, 철강공업, 석유화학공업, 전자재공업, 의약공업, 섬유 의류업이 주도 산업이고, 대부분 산업의 환경오염과 에너지 소비 문제가 두드러졌다. 허베이의 고오염 특징과 산업구조적 특징이 서로 맞물려 있어 단기간 내 바뀌기 어려울 것이다. 또한 징진지 지역은 오염 방지, 환경기준 연계, 환경기술 교류 등 분야의 협력이 미흡해 산업발전으로 인한 환경적 부담이 가중되고 있는 현실이다.

셋째, 구조적 불균형이 생태환경 벨트에 부담이 되고 있다. 징진지 지역의 구조적 문제는 주로 인구, 산업에서 나타나며 주로 특대도시에 집중돼 있어 적절히 해결되지 못하는 실정이다. 세 지역의 산업구조는 양호한 경사도의 특징을 갖고 있지만 현재 균형적인 발전이 이루어지지 못하고 있다. 이 밖에 인구 구조의 불균형 문제도 매우 심각하다. 징진지 지역 도시 체계 중 상부는 베이징, 톈진이라는 초대형도시와 특대도시이고, 하위부분은 95%의 비중을 차지하는 중형도시와 소도시인데, 중간층의 대도시 수가 너무 적어 도시 체계에서 뚜렷한 단절이 보인다. 징진지 지역에는 탕산시(唐山市), 스자좡시(石家莊市), 한단시(邯鄲市), 징저우시(定州市), 바오딩시(保定市), 잉넨현(永年縣) 등 6개 도시인구가 100만 이상이며 특히 탕산시 인구는 300만 명 이상이다. 중간층 도시 수가 너무 적어서 상부의 영향력을 하부로 전달하는 힘이 약할 수밖에 없다. 징진지 지역 도시 체계 불균형은 초대형도시, 특대도시와 지역 전체 협력 시스템 부재와 연관이 있으며, 이로 인해 인적/물적/자금/정보 흐름이 지역 내에서 원활하지 못하다. 인구 과밀로 베이징/톈진의 수자원, 토지자원, 자연의 지탱능력이 이미 병목에 이르렀고 도시 공공서비스와 인프라가 부담을 견디지 못함으로 인해 생태환경 문제가 두드러지게 나타나고 있다.

4. 징진지 지역 미세먼지 생성 원인 분석

징진지 지역의 미세먼지는 경제/사회 발전 단계, 자원상태, 자연지리구조, 기상조건과 밀접한 관계가 있다.

경제/사회 발전 측면에서 베이징과 톈진이 각각 탈공업화와 공업화 후기 단계에 놓여 있지만 허베이성은 여전히 공업화 중기 단계에 놓여 있는 등 편중된 산업구조가 주된 특징이다. 환경 쿠츠네츠 곡선에 따르면, 공업화 중기 단계에 자원 소모가 더 많고 환경 오염이 더 심하다.

자원 보유 측면에서 허베이의 철광석 저장량은 27.3억t으로 전국의 13.15%를 차지한다. 또 중국의 주요 에너지 중 석탄의 연간 생산량은 전 세계에서 약 48%를 차지할

정도로 상대적으로 풍부하다. 채굴 생산량에 대해 감축 조치를 취하고 있지만 2016년 중국 에너지 소비에서 석탄이 차지하는 비중은 여전히 62.0%에 달했다. 풍부한 원재료에 힘입은 허베이의 철강공업 발전은 규모 확장에 유리하지만 석탄의 광범위한 사용으로 오염물 배출이 상대적으로 많은 것이 사실이다.

자연 지리적 구도 측면에서 징진지의 북부는 연산 산지와 장베이고원, 서부는 타이항산 산지, 나머지는 하이허평원이 자리 잡은 서북은 높고 동남은 낮은 ‘삼태기 형상’을 나타낸다. 오염물이 산 앞의 베이징에 도달 후 밖으로 나갈 수 없는 구조인 것이다.

기상 조건 측면에서 이 지역에 편남풍이 불면 편남풍이 허베이에서 배출한 대량의 오염물을 북쪽으로 보내는데, 연산과 타이항산이 막고 있어 베이징에 정체되고 2차 반응으로 오염은 한층 가중된다(그림 3).

이 밖에도 민간용 석탄, 자동차 배기가스, 먼지, 조리에 의한 유연(油煙) 등도 미세먼지 발생에 어느 정도 영향을 미친다.

베이징시 환경보호모니터링센터와 환경보호국 연구단이 베이징시에 대해 시행한 수차례 대기 오염 연구에 따르면, 남방(허베이, 허난, 산시 서부 등지 포함)지역에서 유입된 오염물이 베이징 PM2.5에 미치는 기여율은 42.36%~69.12%로, 비교적 큰 편으로 조사됐다. 오염이 가장 심각한 시간대에 외부에서 베이징으로 유입된 미세먼지 기여율 평균치는 63.75%로 나타났다.

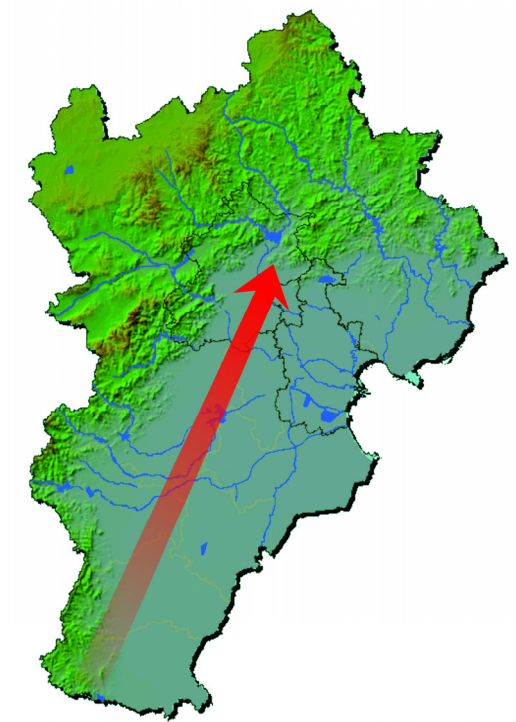


그림3) 징진지 지리적 구조로 인한 편남풍에 실린 오염물 정체 및 심화 반응

5. 징진지 지역 미세먼지 관리정책 조치

최근 몇 년간 징진지 지역은 강력한 미세먼지 관리 정책을 펼치고 있다. 국가와 지방에서는 10여 건의 정책 문건을 발표했고 모니터링, 경보, 긴급조치, 조사 독촉, 기준 제정, 바람 통로 건설, 병행 협력 및 석탄, 산업, 차량을 핵심으로 하는 종합 관리 등 미세먼지 대책을 시행했다(표4). 2016년 중국 환경보호부와 징진지 정부가 함께 발표한 《징진지 대기오염 방지 강화 조치 (2016-2017)》, 2017년 징진지 및 주변지역 대기오염 방지 강화 조사 독촉은 미세먼지를 잡기 위한 조치들이다.

표4) 징진지 지역 미세먼지 관리 정책 조치

구분	내용		
정책 문건	국가 및 지역	거시지도	《징진지 협동 발전 계획 강요(綱要)》, 《‘13.5’시기 징진지 국민 경제/사회 발전 계획》, 《대기오염 방지 행동 계획》
		미세먼지 관리	《징진지 및 주변지역 대기오염 방지 행동계획 시행 세칙》 및 연도 주요 사업, 《징진지 대기오염 방지 강화 조치(2016~2017)》, 《징진지 협동 발전 생태환경 보호 계획》, 《징진지 및 주변지역 자동차 오염 배출 통제 협동사업 시행방안》, 《징진지 및 주변지역 주요 업종 대기오염 기간 한정 관리 방안》, 《징진지 및 주변지역 2017년 대기오염 방지 업무 방안》, 《2017-2018년 징진지 및 주변지역 대기오염 방지 강화 조사 독촉 방안》
	지방	독자조치	3지역 《대기오염 방지 조례》, 《베이징시 2013-2017년 공기 청정 행동 계획》 및 연도별 계획, 《톈진시 공기 청정 행동 방안》 및 연도별 계획, 《허베이성 대기오염 방지 행동계획 시행방안》 및 연도별 계획, 《허베이성 대기오염 방지 심화 3년(2015-2017) 행동방안》, 허베이성 내 각 시 대기오염 방지 극복 행동방안/계획/종합관리방안/집중행동, 《베이징시 대기오염 방지 주요 과학연구 업무방안(2014-2017)년》
		다자조치	《징진지 지역 환경보호 우선 극복 협력 기본협약》, 《베이징시인민정부 톈진시인민정부 환경보호 강화 협력 기본협약》, 《톈진시인민정부 허베이성 인민정부 생태환경 건설 강화 협력 기본협약》
정책 조치	관리	석탄	석탄소비 총량 통제, 석탄 대체, 석탄 청정이용, 석탄금지구역 설치, 석탄 보일러 퇴출
		산업	에너지생산 억제, 기업 이전 조정, 오염 고배출 기업 폐쇄 및 신축 금지, 주요산업 오염 관리, ‘오염기업’ 정리/정비, 설비 오염배출 기준 강화, 기업 무단 배출 시정, 기업 탈황/탈질, 기업 휘발성 유기물 처리
		차량	구매제한, 운행제한, 고배출 차량 퇴출, 자동차 배출 기준 강화
		기타	공사장 먼지 날림 관리, 오염물 배출 비용 인상, 짙 연소 금지 관리, 선박 대기오염 관리, 중앙난방 보급률 제고, 도시와 주변 녹지화 및 방풍/방호림 건설 등
	모니터링		공기질 모니터링 장소 증가, 주요 오염지역 온라인 모니터링 설비 설치
	경보		징진지 및 주변 7개 성/시 중증오염 예보 논의 플랫폼 구축, 중국기상국의 징진지 환경기상예보/경보센터 설립, 징진지 지역 대기오염 방지 전문가 위원회 설치
	긴급조치		중증오염기업 생산 제한/중단, 건축 공사장 토목공사 작업 중단, 자동차 운행 제한, 초/중/고교 휴교 등

구분	내용	
조사 독촉	징진지 및 주변지역 대기오염 방지 강화 조사 독촉, 정기적 논의, 베이징-텐진 자동차 기준 초과 배출 공동 집행 시범업무, 자정 불시 조사	
기준 제정	보일러 오염물, 음식 조리, 먼지 날림 및 휘발성 유기물 소비, 휘발성 유기 오염물 배출 기준 잠정 일치, 중증오염 경보 기준 통일	
바람통로 건설	베이징에 통풍 통로 건설해 환기 원활화	
병행 협력	대기오염 관리와 기술 원조 위해 베이징 매년 랑팡(廊坊), 바오딩에 4.6억 위안 지원, 텐진 매년 창저우(滄州), 탕산에 4억 위안 지원	

상기 표에서 보듯이 모든 정책 조치에는 복잡하고도 어려운 노력이 담겨 있다. 베이징 자동차 관리를 일례로, 최근 몇 년간 베이징시가 자동차의 저배출과 연료 감축을 위해 한 노력은 다음과 같다. 2013년 베이징은 전국 최초로 가솔린 차량 제5단계 배출 기준을 시행하였고 보조금 퇴출을 통해 노후 자동차 36.6만 대를 퇴출시켰다. 2014년 베이징 자동차 총량 통제를 통해 연간 증가량이 24만 대에서 15만 대로 감소했고 보조금 기준 인상으로 노후 자동차 47.6만 대를 퇴출시켰다. 2015년에는 디젤 차량 제5단계 배출 기준을 전국 최초로 시행했다. 택시 강제 폐기 신고 기준을 8년에서 6년으로 바꾸고 노후 자동차 38.9만 대를 퇴출시켜 120만 대 퇴출 목표를 5년 앞당겨 달성했다. 황색표지차량(黃標車, 자동차 배기기준 미달 차량)을 전면 퇴출시켰고 신에너지 자동차 규모가 3.5만 대에 달했으며 디젤 버스 8,800여 대의 개조/업그레이드를 실시했다. 2016년에는 노후 자동차 44만 대를 퇴출(전출 포함)시켰고 택시 4.6만 대의 삼원 촉매장치를 교체했다. 8대 업종 신규 중형 디젤차량 5,500여 대에 집진장치를 장착했다. 중심도시 대중교통 이용 비율이 52%에 이르렀다. 제6단계 차량용 디젤 기준을 발표했고, 디젤 경차 5환로 이내(5환로 불포함) 도로 업무일 운행 제한 정책인 국Ⅰ, 국Ⅱ를 발표했다.

이러한 노력을 통해 2016년 말 기준으로 베이징시 자동차 보유량은 570만 대였고 자동차 오염 관리를 통해 이산화탄소 농도가 안정적으로 감소해 2016년 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기록함으로써 처음으로 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 밑돌았다.

징진지 지역은 황사로 고통을 받았지만 산베이 방호림 등 일련의 생태환경 보호 프로젝트의 실시에 힘입어 황사의 영향이 확연히 약화됐다. 최근 몇 년간 정부의 강력한 미세먼지 대책 조치로 징진지 지역의 미세먼지 상황은 다소 개선되었다. 지금껏 그랬듯이 징진지 지역은 대기오염과의 사투에서 승리할 것으로 확신한다.

〈참고문헌〉

- 장젠(張建). 『징진지 지역 현대 기후변화와 기후 적합도 연구』. 석사학위논문, 2009.
- 류이(劉燚). 『징진지 지역 공기질 상황과 공기질과 기후조건과의 관계』. 석사학위논문 2010.
- 펑창홍(馮長紅)·허강닝(賀康寧)·런바오쥔(任寶俊)·장리링(張立玲). 『허베이성 징진 풍사(風紗)지역 식수(植樹) 문제 회복 주요 형식과 기술』. 랴오닝임업과기, 2009. (1):p.52-56.
- 훤야전(霍亞貞) 외. 『베이징 자연지리』. 베이징사범학원출판사, 1989.
- 쑤롄산(孫鐵山)·리궈핑(李國平)·루밍화(盧明華). 『징진지 도시권 인구 집중과 확산 및 영향 요소, 지역 밀도 함수의 실증 연구를 기반으로』. 지리학보, 2009. 64(8):p. 956-966.
- 펑잉딩(彭應登)·중량(鍾良)·류추이링(劉翠玲). 『베이징 PM2.5 오염 특징과 방지 방법』. 에너지절약과 환경보호, 2012. (3):p.52-54.
- 왕차오신(王朝欣)·한춘량(韓純亮). 『허베이성 생태환경 변화 추세 및 대책 분석』. 허베이요감(遙感), 2006. (4):p.14-15, 30.
- 시단리(奚旦立)·쑤위성(孫裕生)·류슈잉(劉秀英). 『환경 모니터링(제3판)』. 고등교육출판사, 2004.

京津冀地区雾霾治理政策举措

Wang Li

Assistant Professor, Institute of Spatial Planning & Regional Economy, National Development and Reform Commission, P. R. China

一、京津冀地区资源环境本底特征

京津冀自然基础特征是以西北山地、东南平原、东部海域为基本组成。京津冀地区位于东经 113°04'至 119°53', 北纬 36°01'至 42°37'之间。地处华北平原, 北接内蒙古高原, 西邻黄土高原, 东临渤海。该地区西为太行山山地, 北为燕山山地, 燕山以北为张北高原, 其余为海河平原, 总面积 21.6 万平方公里。所接省域为: 以北与辽宁、内蒙古自治区相接壤, 以西与山西交界, 以南与河南、山东相邻, 以东紧傍渤海。由于京津冀地区处于中纬度地带, 使得该地区气候具有明显的暖温带、半湿润大陆性季风气候特征, 这对本区域内其它资源环境要素具有深刻的影响。

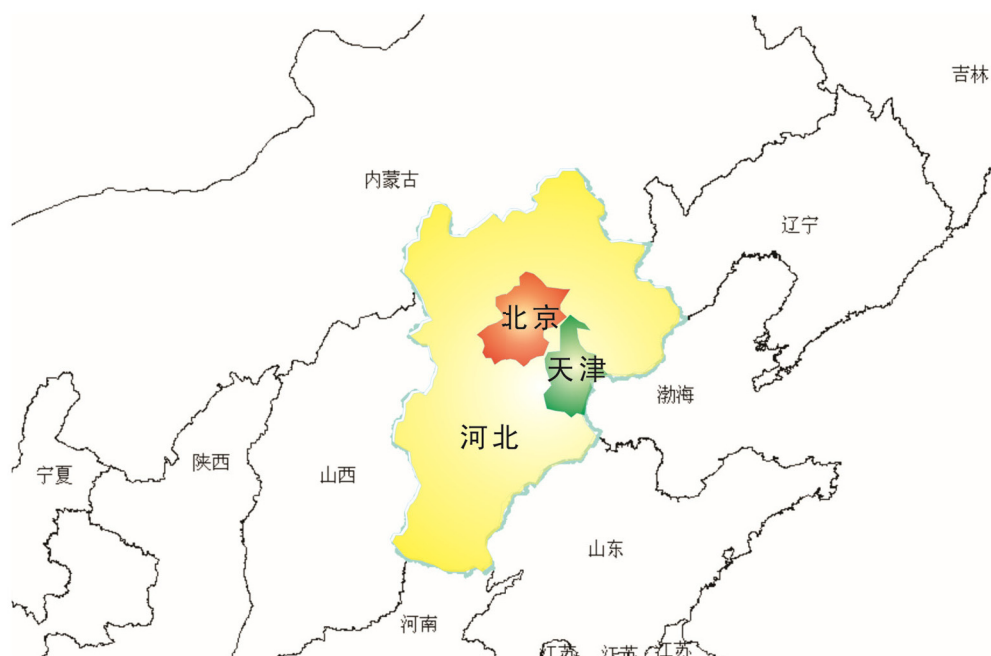


图 1 京津冀的地理区位

受燕山、太行山、内蒙古高原的影响，京津冀地区整体地势呈西北高、东南低的特征。区域内部的自然地理要素较为齐全：山地、高原、丘陵、平原、盆地、湖泊洼淀、海洋等均具备。平原面积 74946 平方公里，所占全区域面积比重为 34.7%，远高于全国 11.98% 的平均水平。其中，北京平原面积比重 38.6%、天津 95.5%、河北 30.5%，均高于 30%。良好的地质条件有利于人类在此集聚定居。山地 80577 平方公里，所占比重 37.3%。山地主要集中在河北境内，河北的山地面积 70197 平方公里，共集中了区域内部 87.1% 的山地。京津冀区域内高原全部集中在河北境内，集中分布在北部的张家口、承德地区。与山地相对应，盆地主要集中在河北境内，所占总面积比重为 10.5%。丘陵、湖泊洼淀的面积较小，分别占全域面积的 4.3% 和 1.9%。海岸线分布在河北和天津境内，共 640 公里，河北与天津的海岸线长度约 3:1（表 1）。

表 1 京津冀自然地理基本要素特征

区域	北京		天津		河北		京津冀	
项目	面积(平方公里)	比重(%)	面积(平方公里)	比重(%)	面积(平方公里)	比重(%)	面积(平方公里)	比重(%)
总面积	16410	100.0	11917	100.0	187693	100.0	216020	100.0
山地	10072	61.4	308	2.6	70197	37.4	80577	37.3
高原	0	0.0	0	0.0	24344	13.0	24344	11.3
丘陵	0	0.0	229	1.9	9066	4.8	9294	4.3
平原	6338	38.6	11381	95.5	57228	30.5	74946	34.7
盆地	0	0.0	0	0.0	22711	12.1	22711	10.5
湖泊洼淀	0	0.0	0	0.0	4148	2.2	4148	1.9
海岸线长度(公里)	0		153		487		640	

数据来源：根据相关资料综合整理。

根据京津冀地区自然地理基本要素特征，可将该地域总体分为三大地域单元：山区、平原、海域。其中，山区包含高原、山地、盆地等地理要素。在本报告中，也主要以此三大地域单元来系统梳理京津冀地区资源开发利用与环境保护的现状和存在的问题。京津冀地区主要地形区划如下图所示：



图 2 京津冀地区主要地形区划图

二、京津冀地区大气污染状况

长期以来，京津冀地区大气受煤烟型污染、沙尘污染的困扰。近年来，虽然通过努力传统型大气污染的恶化态势有所遏制。于此同时，随着城市建设的快速发展和人民物质生活水平的提高，以机动车尾气为主体的新型排放源导致京津冀大气污染的性质发生了根本性变化。煤烟型污染、沙尘污染与机动车尾气污染发生叠加，形成了新的复合型大气污染。其中，以 **PM_{2.5}** 为重要组成。**PM_{2.5}** 是指大气中直径小于或等于 2.5 微米的颗粒物，对人体健康、空气质量和能见度影响极大。**PM_{2.5}** 主要由直接排入空气的一次粒子和污染物再次通过化学反应生成的二次粒子组成。其中，一次粒子主要包括尘土性粒子及由植物和矿物燃烧产生的碳黑粒子，主要来源机动车、燃煤及生物质燃烧。二次粒子主要包括硫酸铵和硝酸铵，其由大气中的一次气态污染物二氧化硫和氮氧化物通过均相或非均相的氧化形成酸性气溶胶，再和大气中唯一的偏碱性气体 **NH₃**

反应生成，主要来源机动车排放、溶剂涂料等挥发、工业面源等。

约从 2012 年开始，京津冀地区的雾霾问题开始被公众广为关注。下表展现雾霾较为严重时，京津冀地区反应生成 PM_{2.5} 的主要污染物排放情况。由表可以看出，京津冀地区二氧化硫排放量 174.09 万吨、氮氧化物排放量 234.84 万吨、烟（粉）尘排放 146.42 万吨，分别占全国的 7.85%、9.77%和 11.45%。污染物排放量相当巨大。从地均污染物排放来看，二氧化硫 8.06 吨/平方公里，是全国的近 3.5 倍，其中天津的排放量 19.38 吨/平方公里，超过了全国平均水平的 8 倍；氮氧化物京津冀排放量为 10.87 吨/平方公里，是全国的近 4.5 倍，其中天津 30.12 吨/平方公里，更是高达全国的 12 倍；烟（粉）尘排放量京津冀地区 6.78 吨/平方公里，是全国平均水平的 5 倍。由于污染物排量大、地均密度高，造成了该地区复合型污染严重，为区域大气治理提出了更为严峻的挑战。

表 2 京津冀地区废气中主要污染物排放情况

指标	地区	二氧化硫	氮氧化物	烟（粉）尘
总量		万吨	万吨	万吨
	北京	9.79	18.83	6.58
	天津	23.09	35.89	7.59
	河北	141.21	180.11	132.25
	京津冀	174.09	234.84	146.42
	全国	2217.91	2404.27	1278.83
地均		吨/平方公里	吨/平方公里	吨/平方公里
	北京	5.96	11.48	4.01
	天津	19.38	30.12	6.37
	河北	7.52	9.60	7.05
	京津冀	8.06	10.87	6.78
	全国	2.31	2.50	1.33

数据来源：《中国统计年鉴 2012》

近年来,京津冀雾霾状况较为好转,但仍面临一定压力。根据中国环境保护部“全国城市空气质量日报”数据显示,2016年冬季北京日均空气质量指数(AQI)为145,其中,严重污染和重度污染天数比重分别高达10.23%和18.18%;2017年春季日均AQI为99,其中,优和良的天数比重分别高达25.56%和40.00%,严重和重度污染天数降为1.11%和5.56%;截至目前夏季日均AQI为128¹,空气质量主要集中在中度、轻度和良的类型,比重分别为28.57%、28.57%、38.57%(表3)。

表3 2016年冬季以来北京空气质量统计

空气质量		冬季	春季	夏季
AQI		145	99	128
污染类型比重(%)	优	9.09	25.56	0.00
	良	37.50	40.00	38.57
	轻度污染	18.18	18.89	28.57
	中度污染	6.82	8.89	28.57
	重度污染	18.18	5.56	2.86
	严重污染	10.23	1.11	1.43

三、京津冀地区环境治理的困难和压力

首先,半封闭的地貌特征加剧了生态环境恶化。从地势来看,整个地区西北高、东南低,北部和西部的燕山和太行山将大部分平原地区半包围住。由于主导风向是偏北风和偏西风,北部内蒙古高原、西部黄土高原作为重要沙尘源,加上主导风向的影响,使得本地区频繁受到沙尘暴侵袭。近年来,随着三北防护林等一系列生态环境保护工程的实施,沙尘影响明显减弱。另外,雾霾问题当前较为突出。据研究,北京雾霾来源主要为交通排放的大量挥发性有机物、氮氧化物和周边工业生产排放的大量二氧化硫经化学转化生成的颗粒物。京津冀以南地区污染较重,偏南风夹着污染物进入本地区后,受山体阻隔影响无法扩散,与本地区污染物进行二次反应,加剧了空气污染。

其次,京津冀经济社会发展对生态环境提出更高要求。虽然京津的经济发

¹分别以立冬、立春、立夏为界,冬季日期为2016年11月7日到2017年2月3日、春季日期为2017年2月3日到5月4日、夏季起始日期为2017年5月5日,本文夏季统计截止日期为2017年7月14日。

展已经分别进入后工业化和工业化后期阶段，但占据京津冀地区 86.89%国土面积的河北省正处于工业化发展中期阶段，以重化工业为主导的产业结构特征在短期内无法改变。根据《河北省第三次全国经济普查主要数据公报》数据显示，全省制造业数目 9.36 万个，占有企业数目的 21.46%；制造业吸纳的从业人员最多，为 493.98 万人，占有从业人员的 36.71%，其中黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业、金属制品业从业人员数位居前三位。制造业在河北省经济增长和就业拉动方面的作用巨大。另外，根据《河北省 2014 年国民经济和社会发展统计公报》数据显示，规模以上工业增加值 11758.3 亿元，其中装备制造业、钢铁工业、石化工业、建材工业、医药工业、纺织服装业为主导产业，这其中大部分产业的环境污染和能源消耗问题较为突出。河北的高污染特性与产业结构特征相依存，在短期内难以改变。另外，京津冀地区在污染防治、环境标准对接、环保技术交流等领域的合作尚未完善，产业发展带来的生态环境压力进一步加大。

第三，结构性失调给生态环境带来较大压力。京津冀结构性问题主要体现在人口、产业主要集中于特大城市，无法合理疏解。虽然三地产业结构具有很好的梯度特性，但目前尚没有实现协调发展。除此之外，人口结构的失调性问题也非常突出。京津冀地区城市体系中顶层是北京、天津两个超大城市和特大城市，底层是数量占 95%的中等城市和小城市，中间层的大城市数量过少，城市体系出现了明显断层。京津冀地区仅有唐山市、石家庄市、邯郸市、定州市、保定市、永年县 6 个城市人口在 100 万人以上，且其中仅有唐山市人口在 300 万人以上。由于中间层城市数量明显偏少，无法承接来自顶层的辐射，带动底层发展的能力也较弱。京津冀地区城市体系的失调，和超大城市、特大城市与区域整体合作体系未能建立有关，人流、物流、资金流、信息流无法在区域间顺畅流通。由于人口过度集中，京津的水资源、土地资源、生态承载均已到达瓶颈，城市公共服务和基础设施不堪重负，各类生态环境问题突显。

四、京津冀地区雾霾成因探析

京津冀地区的雾霾，与经济社会发展阶段、资源禀赋、自然地理格局、气象条件息息相关。

经济社会发展方面，虽然，北京和天津分别处于后工业化和工业化后期阶段，但是，河北省仍处于工业化中期阶段，产业结构偏重是其重要特征。根据环境库兹涅兹曲线，工业化中期阶段资源消耗更多、环境污染更重。

资源禀赋方面，河北的铁矿石储量高达 27.3 亿吨，占全国的 13.15%。另外，我国主要能源中煤炭相对丰富，年产量占全世界比重维持在 48% 左右；虽然采取产量压减措施，2016 年，煤炭在我国能源消费中的比重仍然高达 62.0%。河北发展钢铁工业有丰富的原材料支撑利于其规模扩张，再加上煤炭的广泛使用，极易导致污染物排放相对更多。

自然地理格局方面，京津冀北部为燕山山地和张北高原，西部为太行山山地，其余为海河平原，呈西北高、东南低的“簸箕状”。污染物到达山前的北京后，无法向外扩散。

气象条件方面，一旦本区域发生偏南风，其带着河北排出的大量污染物向北进，受燕山太行山阻挡，停留于北京，并进一步发生二次反应加重污染（图 3）。

除此之外，民用燃煤、机动车尾气、扬尘、餐饮油烟等，也一定程度上影响本区域雾霾程度。

北京市环境保护监测中心和环保局的研究团队对本市多次典型空气重污染进行研究发现，来自南方（包括河北、河南和山西西部等地）的外来污染物输送对北京 PM_{2.5} 贡献较大，外来贡献率在 42.36%-69.12% 之间；在污染最重的时段，外部区域输送对北京雾霾贡献率平均值达到 63.75%。

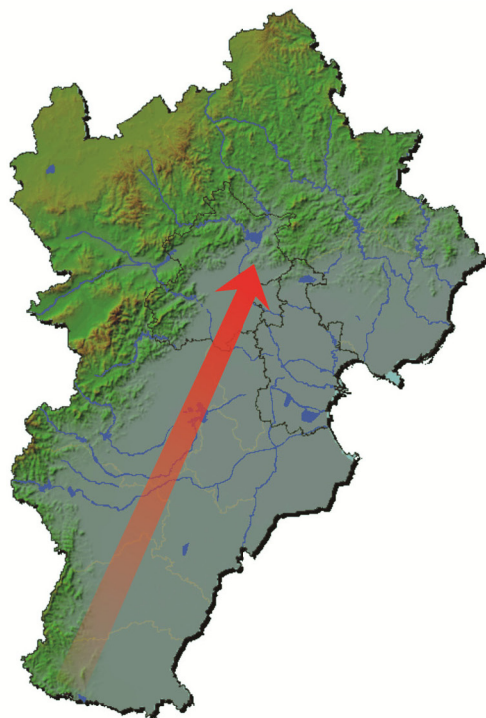


图3 京津冀自然地理格局导致携带污染物的偏南风在此滞留并加重反应

五、京津冀地区雾霾治理政策举措

近年来，京津冀地区雾霾治理力度非常大。国家和地方出台了五十余项政策文件，开展了监测、预警、应急、督查、标准制定、风道建设、对口合作，以及以煤炭、产业、车辆为重点的综合治理等大量治霾探索（表4）。去年中国环保部联合京津冀三地政府出台的《京津冀大气污染防治强化措施（2016-2017）》，今年的京津冀及周边地区大气污染防治强化督查，更是极其严厉治理雾霾。

表 4 近年来京津冀地区雾霾治理政策措施

类别	内容		
政策文件	国家及区域	宏观指导	《京津冀协同发展规划纲要》、《“十三五”时期京津冀国民经济和社会发展规划》、《大气污染防治行动计划》
		环保治霾	《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》及年度重点工作、《京津冀大气污染防治强化措施(2016-2017)》、《京津冀协同发展生态环境保护规划》、《京津冀及周边地区机动车排放污染控制协同工作实施方案》、《京津冀及周边地区重点行业大气污染限期治理方案》、《京津冀及周边地区 2017 年大气污染防治工作方案》、《2017-2018 年京津冀及周边地区大气污染防治强化督查方案》
	地方	单方	三地《大气污染防治条例》、《北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划》及各年度计划、《天津市清新空气行动方案》及各年度计划、《河北省大气污染防治行动计划实施方案》及各年度计划、《河北省大气污染深入治理三年(2015-2017)行动方案》、河北省内各市大气污染防治攻坚行动方案/计划/综合治理方案/集中行动、《北京市大气污染防治重点科研工作方案(2014-2017)年》
		多方	《京津冀区域环保率先突破合作框架协议》、《北京市人民政府天津市人民政府进一步加强环境保护合作框架协议》、《天津市人民政府河北省人民政府加强生态环境建设合作框架协议》
政策举措	治理	煤炭	煤炭消费总量控制、燃煤替代、煤炭清洁利用、设置禁煤区、淘汰燃煤小锅炉
		产业	压减产能、企业搬迁调整、关停及不新建高排放企业、重点行业污染治理、“散乱污”企业清理整治、设备提标改造、企业无组织排放治理、企业脱硫脱硝、企业挥发性有机物治理
		车辆	限购、限行、淘汰高排放车辆、提升机动车排放标准
		其他	施工工地扬尘治理、提高污染物排污收费、秸秆禁烧治理、船舶大气污染治理、提高集中供热普及率、城市及周边绿化和防风防沙林建设等
	监测		增加空气质量监测站点、污染重点安装在线监测设备
	预警		建立京津冀及周边七省区市重污染预警会商平台、中国气象局成立京津冀环境气象预报预警中心、成立京津冀区域大气污染防治专家委员会
	应急		重污染企业限产停产、建筑工地停止土方作业、机动车限行、中小学校停课等

督查	京津冀及周边地区大气污染防治强化督查、定期会商、京津两地机动车超标排放联合执法试点工作、零点突击检查
标准制定	锅炉污染物、餐饮油烟、扬尘及挥发性有机物排污费、挥发性有机物污染物排放标准初步一致，重污染预警标准统一
风道建设	在北京建设两级通风廊道，提升建成区空气流通性
对口合作	北京支持廊坊、保定每年 4.6 亿元，天津支持沧州、唐山每年 4 亿元进行大气治理，开展技术援助

上表每一项政策措施内部都包含了复杂而艰巨的努力。以北京市机动车治理为例，近年来北京市在机动车低排放控车减油所做的努力如下：

2013 年，北京在全国率先实行汽油车辆第五阶段排放标准，另外，通过淘汰补贴，淘汰老旧机动车 36.6 万辆。

2014 年，北京机动车总量控制指标年增量由 24 万辆压缩到 15 万辆。另外，进一步提高补贴标准，淘汰老旧机动车 47.6 万辆。

2015 年，北京市在全国率先实施柴油车辆第五阶段排放标准；实施出租车 8 年改 6 年强制报废标准；淘汰老旧机动车辆 38.9 万辆，提前五年完成 120 万辆淘汰目标；全面淘汰黄标车；新能源汽车规模达到 3.5 万辆；实施了 8800 多辆柴油公交车的升级改造。

2016 年，淘汰（含转出）老旧机动车 44 万辆；完成 4.6 万辆出租车三元催化器更换；5500 余辆八大行业新增重型柴油车“戴口罩”；中心城公交出行比例达到 52%；发布了第六阶段车用汽柴油标准；发布了国 I、国 II 排放标准轻型汽油车五环路（不含）以内道路工作日限行政策。

通过上述努力，截止至 2016 年底，北京市机动车保有量约 570 万辆，通过机动车污染治理，二氧化氮浓度实现平稳下降，2016 年首次降至 50 微克/立方米以下，达到 48 微克/立方米。

曾经京津冀地区受到风沙的困扰，但随着三北防护林等一系列生态环境保护工程的实施，沙尘影响明显减弱。近年来，在政府强有力的雾霾治理工作中，京津冀地区的雾霾状况已经有所改善。我们坚信，照此以往，一定能够打赢京津冀地区空气污染的攻坚战。

参考文献:

- 张建, 京津冀地区现代气候变化和气候适宜度研究, 硕士学位论文, 2009.
- 刘焱, 京津冀地区空气质量状况及其与气象条件的关系, 硕士学位论文, 2010.
- 冯长红, 贺康宁, 任宝俊, 张立玲. 河北省京津风沙源区困难立地植被恢复主要模式与技术. 辽宁林业科技, 2009, (1): 52-56.
- 霍亚贞等. 北京自然地理. 北京师范学院出版社, 1989.
- 孙铁山, 李国平, 卢明华. 京津冀都市圈人口集聚与扩散及其影响因素——基于区域密度函数的实证研究. 地理学报, 2009, 64(8): 956-966.
- 彭应登, 钟良, 刘翠玲. 北京 $\text{pM}_{2.5}$ 污染特点及防治途径. 节能与环保, 2012, (3): 52-54.
- 王朝欣, 韩纯亮. 浅析河北省生态环境演化趋势及对策. 河北遥感, 2006, (4): 14-15, 30.
- 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测(第三版). 高等教育出版社, 2004.