

아까시나무 황화현상 발생임분의 토양 이화학적 특성

이승우* · 변재경 · 지동훈 · 권영대¹

국립산림과학원 산림복원연구과, ¹경기도 산림환경연구소

Soil Physiochemical Properties in Leaf-yellowing Black Locust (*Robinia Pseudo-acacia* L.) Stands

Seung-Woo Lee,* Jae-Kyoung Byun, Dong-Hun Ji, and Young-Dae Kwon¹

Division of Forest Restoration, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

¹Gyeonggi Forest Environment Research Institute, Osan 447-290, Korea

In 1970's Black locust(*Robinia pseudoacacia*) had been widely planted Korea as an important forest greening species for erosion control afforestation. Since 2000, however, the tree's leaf-yellowing symptom has often been observed at a limited region and then spreaded out over the country in 2006. This study was conducted to study soil physiochemical properties of black locust stands with and without the leaf-yellowing symptom in Osan, Gyeonggi province. Most of soils in sampling sites were mostly slightly eroded, dry, and moderately dry. Available soil depth(16cm) and total soil depth(26cm) in leaf-yellowing (LY) site were significantly lower than in non leaf-yellowing (Non-LY) site's soil depths which were 30cm and 56cm, respectively. And solid phase proportion and bulk density in soils were lower in LY site than in non-LY site soils, while soil liquid phase proportion was also low. It could reflect that LY site soils might have a lower air and moisture movement in the rhizosphere of black locust stand compared with non-LY site soils. Soil acidity in both sites was very strong acid, soil pH (4.42) of LY site was slightly lower than non-LY site's (pH 4.54). Content of available phosphorous, exchangeable Ca²⁺ and Mg²⁺ and percent base saturation were less than LY site. These results indicated that soil physiochemical condition in LY site, more deteriorated than non-LY site, should adversely affect the retention and supply capacity of soil nutrients and moisture. Therefore the black locust may be more sensitive to other environmental stresses.

Key words: Black locust, Leaf-yellowing, Forest soil properties

서 언

아까시나무(*Robinia pseudoacacia* L.; Black Locust)는 북미원산의 콩과식물로서 영양분에 대한 요구는 많지 않고 황폐지에서도 생육이 가능한 세계 3대 보급수종이다(Keresztesi, 1988). 국내에는 1890년에 일본으로부터 처음 도입된 후 입지적응성이 좋아 척박지에서도 생장이 왕성하여 1970년대 후반까지 산림 조기녹화와 황폐지 복구에 주로 이용되어 왔다(우종호, 1994). 그러나 장점으로 부각되던 아까시나무의 뛰어난 갱신능력과 척박지에 대한 높은 적응력, 인접하고 있는 다른 임분에 대한 빠른 이입능력과 강한 경쟁력 때문에 인접하고 있는 다른 임분의 생장, 천연갱신 및 육림작업에 지장을 주는 것이 문제시 되어 왔다(Jung et al., 2003). 이 외에도 중구성과 층위구조가 단순하

여 산림의 종다양성을 저하시키는 단점 등으로 인해(Maekawa and Nakagoshi, 1997) 1980년대 이후 연료림정책이 중단된 후 제거해야할 수종으로 잘못 인식되어 관리측면에서 소홀히 다루어지기도 하였다.

그럼에도 불구하고 양봉업계의 주요 자원으로 이용되어 오던 아까시나무가 지난 1990년 8월에 경기 인천, 김포, 충남 당진을 중심으로 아까시나무의 집단 피해가 관찰된 것을 시작으로 2000년 이후 황화현상(Leaf yellowing 또는 Chlorosis)이 국지적으로 빈번히 발생해 오고 있다(신준환 등, 2006). 이러한 아까시나무 황화현상의 발생과 관련해서는 지구온난화에 따른 이상고온, 노령화, 병충해, 오존 등 다양한 요인이 제기되고는 있으나 아직까지 뚜렷한 해답을 얻지 못해 원인구명을 위한 다각적인 연구가 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 2006년 아까시나무 황화현상이 전국적으로 심하게 발생하였던 시점에서 경기도 오산지역을 대상으로 황화현상 피해지와 미피해지의 토양환

접수 : 2009. 10. 6 수리 : 2009. 11. 20

*연락처 : Phone: +8229612638,

E-mail: soilloverlee@forest.go.kr

경을 조사하여 황화현상 발생여부와 토양이화학적 특성간의 관계를 밝히고자 수행되었다.

재료 및 방법

조사지 개황 조사지는 2006년 전국에서 황화현상 발생정도가 가장 심하였던 경기도 지역 중에서 오산시 3개 지역(금암동, 수청동, 외삼미동)의 아까시나무 임분을 대상으로 하였다. 각 임분에서 황화현상 피해지(leaf yellowing site: LY)와 미피해지(non-leaf yellowing site: Non-LY)로 구분하여 조사하였으며, 이때 미피해지는 장소적 변이성을 최소화하기 위해 피해지와 가장 인접하면서 황화현상이 전혀 관찰되지 않은 임분을 대상으로 선정하였다. 조사지 위치는 Fig. 1과 같다.

과거 사방조림 및 연료림 조성 등을 위해 아까시나무가 식재된 조사대상지의 식생분포 특성을 살펴보면 상층 임관은 아까시나무가 주를 이루며, 졸참나무, 리기다소나무, 상수리나무, 밤나무 등이 혼재하고 있으며, 하층 식생으로는 오리나무, 찔레꽃, 복자기나무, 싸리나무, 진달래, 붉나무, 청미래덩굴 등이 주로 분포하였다.

조사지 일대의 토양은 화강암과 화강편마암으로부터 생성된 사방지토양(Er-C), 갈색건조산림토양(B1) 및 갈색약건산림토양(B2)이 주를 이루었다. 낙엽층과

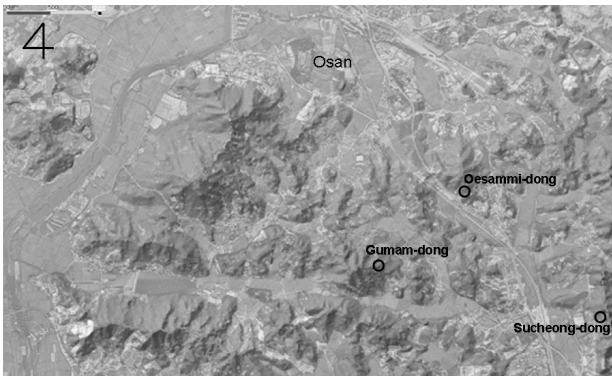


Fig. 1. Location of surveyed sites.

부식층이 얇게 발달하고는 있으나 광물질토양층 10cm 이하로는 풍화정도가 매우 미약한 전형적인 침식지의 토양특성을 갖고 있었다. 그 외 조사대상지의 지형은 Table 1과 같다.

시료채취 및 분석 각 조사지별로 표층과 심층으로 구분하여 채취한 토양을 공시재료로 이용하였다. 토양 물리적 특성은 토양의 깊이, 토성, 삼상 등을 측정하였으며, 토양화학성은 농촌진흥청 표준분석법(NIAST, 2000)에 준하여 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5로 진탕한 혼탁액을 pH meter(HORIBA F-53)로 측정하였고, 토양유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, Ca^{2+} 등 치환성양이온은 추출용액을 Atomic Absorption Spectrophotometer(Varian AA280FS)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

토양 깊이 아까시나무 황화현상 피해지와 미피해 임지에 대한 토양 양분 및 수분의 보유량에 직·간접적으로 영향을 미치는 토양 깊이(이하 토심)를 측정하였다. 근계의 수직적 분포 정도를 파악할 수 있는 유효토심은 피해지와 미피해지에서 각각 16cm와 30cm로 조사지간에 큰 차이를 보였다. 또한 전토심 역시 피해지의 25cm에 비해 미피해지는 56cm로 약 2배 정도 깊었다(Fig. 2).

이러한 조사지간의 토심 차이는 오산지역 야산에서 침식지 토양특성이 많이 나타나는 것과 조사지의 모암, 지형, 식생분포 등이 유사한 것을 감안하면 자연적인 토양발달 요인과 별채, 산불 등 인위적인 인간의 간섭이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다.

이러한 토심과 아까시나무 황화현상간의 관계성은 아직까지 국내외적으로 보고된 바 없다. 그러나 임목의 황화현상이 엽록소의 합성에 이상이 생겨서 나타나는데, 이러한 문제가 주로 무기영양소의 결핍, 수분 부족, 이상기온 등과 관련이 있음을 고려할 때(이경준, 1993), 본 연구의 황화현상 미피해지와 비교해 상

Table 1. Geographical characteristics of surveyed sites.

Site		Coordinate	Altitude (m)	Aspect	Slope position	Slope (°)
GA	Non-LY	E127.02.32.72 N37.10.32.37	66	N	Lower	16
	LY	E127.02.23.44 N37.10.25.98	133	S	Upper	18
SC	Non-LY	E127.04.12.82 N37.10.08.08	56	SW	Middle	11
	LY	E127.04.16.03 N37.10.09.29	70	SW	Middle	15
OSM	Non-LY	E127.03.08.57 N37.10.56.63	72	SW	Middle	14
	LY	E127.03.06.17 N37.11.01.95	96	W	Upper	17

GA, SC and OSM mean Geumam-dong, Sucheong-dong, and Oesammi-dong, respectively in Osan.

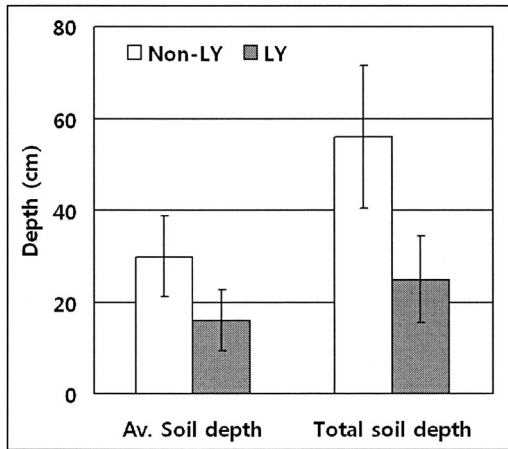


Fig. 2. Available soil depth and total soil depth in investigated sites.

Non-LY : Non-Leaf Yellowing site, LY : Leaf Yellowing site.

대적으로 낮았던 피해지의 토심 결과는 토양양분 및 수분 공급능력의 상대적 열악함을 반영하고 있다. 이와 관련하여 이여하와 정인구(1968)는 일반적인 아카시나무 임분의 평균 유효토심이 36cm이며 유효토심

이 깊을수록 생육이 양호하다고 보고한 바 있다. 토심은 임목의 뿌리가 양분과 수분을 이용할 수 있는 수직적 공간의 규모를 의미하는 것이므로 본 연구의 조사기간 황화현상 발생 유무와 토심의 관계는 매우 의미 있는 결과로 판단된다.

토양 물리적 특성 임목생육에 직·간접적으로 관여하는 토양의 물리적 특성 중의 하나인 토성은 조사지와 토양층위에 따라 다소 차이가 있었으나 대체로 배수가 양호한 사질양토(SL)와 양질사토(LS)이었다(Table 2). 토양삼상(三相)의 경우 황화 피해지와 미피해지간에 액상률은 차이가 없었으나, 미피해지에 비해 피해지의 표토층과 심토층 모두에서 고상률은 높은 반면 기상률이 낮은 결과를 보였다(Fig. 3). 이는 토양공극량과 관련이 있는 것으로 기상률이 낮은 피해지 토양의 경우 상대적으로 토양가스의 이동성이 낮을 것으로 추정된다. 일반적으로 화강암과 변성암을 모재로 하는 산림토양의 표토층과 심토층의 평균 기상률이 각각 약 41%와 39%인 점을 감안

Table 2. Soil particles's separates and soil texture of investigated sites.

Site	Horizon	Separates(%)			Soil texture	
		Sand	Silt	Clay		
GA	Non-LY	Top	74.3	20.5	5.2	SL
		Sub	76.6	17.3	6.2	LS
	LY	Top	71.2	15.9	12.9	SL
		Sub	75.7	14.7	9.6	SL
SC	Non-LY	Top	75.4	18.2	6.4	SL
		Sub	69.4	21.6	9.0	SL
	LY	Top	65.2	26.2	8.6	SL
		Sub	66.7	26.0	7.3	SL
OSM	Non-LY	Top	82.6	9.7	7.7	LS
		Sub	80.7	6.1	13.2	SL
	LY	Top	50.9	33.0	16.1	L
		Sub	75.2	15.5	9.3	SL

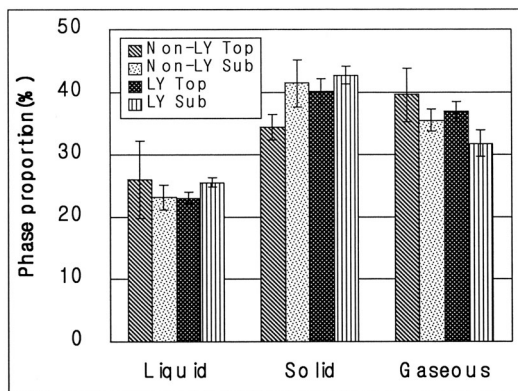


Fig. 3. Soil three phase in topsoil and subsoil of investigated sites

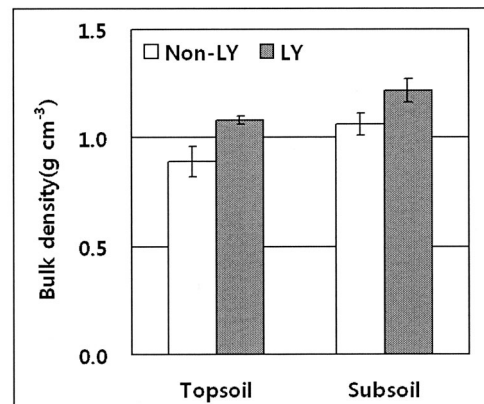


Fig. 4. Bulk density in topsoil and subsoil of investigated sites.

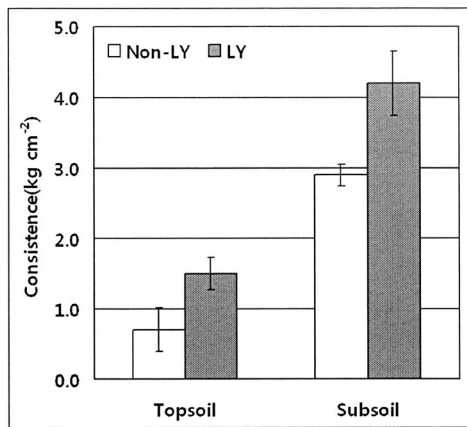


Fig. 5. Consistency in topsoil and subsoil of investigated sites.

하면 본 연구의 황화현상 피해지의 토양 기상률은 34%로 현저히 낮은 수준임을 알 수 있다(Jeong et al., 2003).

표토와 심토를 평균한 가비중($g\ cm^{-3}$)은 피해지가 1.15로 미피해지의 0.98에 비해 상대적으로 높은 결과를 보였다(Fig. 4). 또한 토양입자의 응집 정도를 의미하는 견밀도($kg\ cm^{-2}$) 역시 전체 토심을 평균하여 피해지가 2.85로 미피해지의 1.80에 비해 높았다(Fig. 5). 이처럼 가비중과 견밀도 모두가 피해지에서 높았던 결과는 피해지 토양의 고상률과 관련이 있다.

토양 화학적 특성 산림토양의 화학적 특성은 주로 임목의 생육에 영향을 주는 필수양분의 형태 및 유효도는 물론 토양생물의 분포 및 활동량에도 연관될 수 있다. 토양의 산중화능력을 가늠할 수 있는 토양 pH의 경우 피해지의 표토와 심토에서 각각 pH 4.21~4.56와 pH 4.57~4.65의 범위에 있었으며, 미피해지의 표토와 심토는 각각 pH 4.32~4.95와 pH 4.48~5.24였다. 전체적으로 조사지가 산성도가 매우 높은 강산성 토양이지만 미피해지 표토의 평균 pH가 4.54인 것에 비해 피해지 표토의 평균 pH는 4.42로 산성도가 다소 높았다. 이와 관련하여 Johnson et al.(1982) 및 Schlegel et al.(1992)은 토양산성도가 증가함에 따른 염기성 양이온의 가용성 저하 및 식물독성물질인 Al과 Mn의 활성 증가가 임목생육 저하 및 산림의 쇠퇴로까지 이어질 수 있음을 보고한 바 있다.

Liu and Deng(1991)은 아까시나무의 공생체가 약산성인 토양 pH의 조건에 비해 중성인 조건에서 질소 고정능력(N_2 -fixing capacity)이 상대적으로 더 크다는 연구결과를 보고한 바 있다. 또한 Dučić et al.(2009)은 산림토양에 석회를 사용하여 토양산도를 pH(KCl) 4.8로 조절한 결과, 질소를 고정하는 뿌리혹의 형성이 470%까지 증가하였다고 하였다. 이와 관련시켜 볼 때 본 연구의 토양 pH와 전질소 함량이 조사지간에 유의적인 차이를 보이고 있지는 않아 선행연구 결과와 연관

Table 3. Soil chemical properties(\pm standard deviation) in investigated sites.

Site & Horizon		pH	C	Total N	Av. P	CEC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TBC	BS	
			----- % -----	----- % -----	mg kg ⁻¹	----- cmolc kg ⁻¹ -----						%	
GA	Non-LY	Top	4.95	0.39	0.08	211.5	7.48	0.59	0.05	0.83	0.15	1.62	21.6
		Sub	5.24	0.05	0.02	43.6	5.50	0.49	0.05	1.39	0.26	2.20	40.0
	LY	Top	4.56	0.71	0.10	10.7	7.48	0.47	0.06	0.62	0.14	1.29	17.2
		Sub	4.58	0.11	0.03	14.9	7.04	0.45	0.05	0.38	0.11	0.99	14.0
SC	Non-LY	Top	4.36	3.35	0.31	139.3	18.70	0.34	0.05	1.52	0.40	2.31	12.4
		Sub	4.50	1.46	0.09	80.2	16.28	0.26	0.08	0.37	0.08	0.79	4.9
	LY	Top	4.49	1.66	0.15	68.0	14.74	0.23	0.05	0.22	0.05	0.55	3.7
		Sub	4.57	0.92	0.09	21.0	16.50	0.23	0.05	0.11	0.06	0.45	2.7
OSM	Non-LY	Top	4.32	1.03	0.08	34.8	12.76	0.24	0.06	0.65	0.27	1.22	9.6
		Sub	4.48	0.71	0.06	12.5	13.42	0.30	0.05	0.49	0.18	1.02	7.6
	LY	Top	4.21	2.77	0.26	51.8	17.16	0.32	0.05	1.04	0.53	1.94	11.3
		Sub	4.65	0.40	0.07	11.6	9.90	0.22	0.05	0.15	0.09	0.51	5.2
Mean	Non-LY	Top	4.54	1.59	0.16	128.5	12.98	0.39	0.05	1.00	0.27	1.72	14.5
		Sub	± 0.35	± 1.55	± 0.13	± 88.9	± 5.61	± 0.18	± 0.01	± 0.46	± 0.13	± 0.55	± 6.3
	LY	Top	4.74	0.74	0.06	45.4	11.73	0.35	0.06	0.75	0.17	1.34	17.5
		Sub	± 0.43	± 0.71	± 0.03	± 33.9	± 5.58	± 0.12	± 0.02	± 0.56	± 0.09	± 0.76	± 19.5
	LY	Top	4.42	1.71	0.17	43.5	13.13	0.34	0.05	0.63	0.24	1.26	10.8
		Sub	± 0.18	± 1.03	± 0.08	± 29.6	± 5.04	± 0.12	± 0.00	± 0.41	± 0.26	± 0.70	± 6.7
		4.60	0.48	0.07	11.4	11.15	0.30	0.05	0.21	0.09	0.63	7.3	
		± 0.04	± 0.41	± 0.03	± 9.8	± 4.85	± 0.13	± 0.00	± 0.15	± 0.02	± 0.30	± 5.9	

CEC : Capacity of exchangeable cations, TBC : Total base cations, BS : Base saturation

시키기는 어려우나 전체 조사 대상지의 토양이 pH 4.5 내외의 강산성인 것은 토양산성화로 인한 질소고정능력 저하 및 무기영양소의 결핍이 아까시나무 황화현상 발생에 직·간접적으로 영향할 수 있음을 시사한다.

이 외에도 토양내 유효인산 함량은 피해지에서 표토와 심토를 평균하여 27.4 mg kg^{-1} 로 미피해지의 86.9 mg kg^{-1} 에 비해 현저히 낮게 나타났다. 대기 중의 질소를 고정하는 뿌리혹이 인산 요구도가 높다는 Marschner(1995)의 연구결과를 고려할 때, 피해지에서 유효인산 함량이 적은 결과는 상대적으로 질소고정능력이 낮을 수 있음을 반영한다.

일반적인 산림토양에서 무기태 인산의 가용성이 토양산성화에 의해 제한된다는 연구결과(Compton and Cole, 1998)와 유효인산 함량이 사탕단풍나무의 직경생장에 결정적인 인자로 작용하였다는 연구결과(Gradowski and Thomas, 2006)를 볼 때, 산성화된 아까시나무 임분에서 인산의 가용성에 관한 연구가 추가로 필요할 것으로 사료된다. 한편 아까시나무의 뿌리에서 산성의 분비물에 의해 근계부 토양이 산성화됨에 따라 인산의 가용성이 높아질 수 있음이 보고된 바 있다(Gillespie and Pope, 1990).

칼슘과 마그네슘 함량 및 염기포화율의 조사지간 차이 역시 토양 pH의 결과와 유사한 경향을 보였다. 화강암을 모재로 하는 일반 갈색산림토양이 평균적으로 pH가 5.1이고, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 함량 $3.3 \text{ cmolc kg}^{-1}$, 그리고 염기포화율이 27%이라는 연구결과(Jeong et al., 2003)와 비교하면, 전반적으로 모든 조사지에서 낮은 경향을 보였으며 특히 피해지에서 현저한 차이를 보였다.

일반적으로 산림토양의 effective CEC에 대한 염기포화도가 15% 이하에서는 Al stress와 양분 불균형으로 인한 산림생태계의 피해 가능성이 50%인 점(Cronan and Grigal, 1995)을 고려할 때, 염기포화도가 10% 이하인 특히, 황화현상 피해지의 경우 양분 불균형의 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다.

요 약

아까시나무는 척박지에서 적응력이 뛰어나 과거 산림녹화와 사방조림 등에 많이 이용된 수종이다. 그러나 2000년 이후 황화현상이 국지적으로 빈번히 발생해 오다가 2006년에는 전국적으로 확산된 바 있다. 따라서 본 연구는 경기도 오산시 3개 지역에서 아까시나무의 황화현상 피해지와 미피해지 내에서 산림토양의 물리화학적 특성을 조사, 분석하여 그 관계성을 파악하고자 수행되었다. 조사지 일대 토양은 사방지토양, 갈색건조산림토양 및 갈색약건산림토양이 주를

이루었다. 피해지의 유효토심(16cm)과 전토심(25cm)은 미피해지(30cm, 56cm)에 비해 현저히 낮게 나타났다. 또한 미피해지에 비해 피해지 토양에서 고상물은 높은 반면 기상물은 낮고, 가비중도 높은 결과를 보여 근계부내 공기와 수분 이동성의 상대적 저하를 반영하였다. 또한 전체 조사지가 산성도가 매우 높은 강산성 토양이지만 피해지의 토양산도는 평균 pH 4.42로 미피해지의 pH 4.54보다 다소 낮았으며, 토양내 유효인산, 칼슘, 마그네슘 함량과 염기포화율의 결과 역시 피해지에서 낮게 나타났다. 이러한 미피해지에 비해 열악한 황화현상 피해지의 토양 물리화학적 성질은 양분과 수분에 대한 보유 및 공급능력의 상대적 저하로 아까시나무 임분이 다른 환경 스트레스에 보다 민감하게 반응할 수 있음을 반영한다.

인 용 문 헌

- Compton, J.E., and Cole, D.W., 1998. Fate and effects of phosphorus additions in soils under N_2 -fixing red alder. *Biogeochemistry* 53:225-257.
- Dučič, T., D. Berthold, R. Langenfeld-Heysler, F. Beese, and A. Polle. 2009. Mycorrhizal communities in relation to biomass production and nutrient use efficiency in two varieties of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* and var. *glauca*) in different forest soils. *Soil Biology & Biochemistry* 41:742-753.
- Gillespie, A.R. and P.E. Pope. 1990. Rhizosphere acidification increases phosphorous recovery by black locust: I. Induced acidification and soil response. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:533-537.
- Gradowski, T., and S.C. Thomas. 2006. Phosphorus limitation of sugar maple growth in central Ontario. *Forest Ecology and Management* 226(1):104-109.
- Jeong, J.H., C.S. Kim, K.S. Goo, C.H. Lee, H.G. Won, and J.G. Byun. 2003. Physico-chemical properties of Korean forest soils by parent rocks. *Jour. Korean For. Soc.* 92(3):254-262.
- Johnson, D.W., J. Turner, and J.M. Kelly. 1982. The effects of acid rain on forest nutrient status. *Water Resour. Res.* 18:449-461.
- Jung, S.C., T.C. Huh, and S.H. Joo. 2003. Changes of soil properties in Black Locust(*Robinia pseudoacacia* L.) stand and adjacent stand. *Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ.* 21:39-47.
- Keresztesi, B. 1988. Black Locust: the tree of agriculture. *Outlook on Agr.* 17:77-85.
- Liu, G., T. Deng. 1991. Mathematical model of the relationship between nitrogen-fixation by black locust and soil conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 23(1):1-7.
- Maekawa, M. and N. Nakagoshi. 1997. Impact of biological invasion of *Robinia pseudo-acacia* on zonation and species diversity of dune vegetation in Central Japan. *Japanese Journal of Ecology* 47(2):131-143.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, 861pp.
- NIASST. 2000. Methods of soil and crop plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.

Schlegel, H., R.G. Amundson, A. Huttermann. 1992. Element distribution in red spruce(*Picea rubens*) fine roots; evidence for aluminium toxicity at Whiteface Mountain. *Can. J. For. Res.* 22: 1132-1138.

신준환 외 19인. 2006. 아까시나무 황화피해 원인 구명 및 관리방안. 국립산림과학원 연구보고(06-16). 150pp.

우종호. 1994. 아까시나무 임분의 자원화에 관한 연구. 경북대학교 박사학위논문. 113pp.

이경준. 1993. 수목생리학. 서울대학교출판부. 504pp.

이여하, 정인구. 1968. 수개의 토양인자가 아까시아나무 생장에 미치는 영향. *건국학술지* 9(1) : 339-343.