

酸性비가 몇가지 草花類 種子の 發芽에 미치는 影響

이재석 · 김정숙

Effects of simulated acid rain on seed germination of several floricultural crops.

Jae-Seog Lee, Jung-Sook Kim

Abstract

The experiments were performed to examine the effects of simulated acid rain(pH 1.0~5.0) prepared by mixing sulfuric acid and nitric acid at the ratio of 3 : 1 on germination and growth of seedlings of some floricultural crops. Days to germination showed a one to three days' interval among crops, but pH level did not show any effect on germination for each crop. All seeds used in this experiment did not germinate at pH 1.0. At pH 2.0, the flowering cabbage and geranium still did not germinate, and even though the radicles of seeds were germinated, root hairs did not develop. The length of hypocotyls and radicles appeared to be significantly different according to the pH levels.

緒 言

산업혁명 후 꾸준히 진행되는 공업화와 각종 운송수단의 증가는 많은 에너지를 필요로 한다. 이에 소요되는 에너지는 거의 대부분 화석연료로 부터 얻는데 화석연료의 연소시에는 다량의 SO_x와 NO_x 및 CO₂가 발생하여 가스상태로 대기중에 방출된다.

이들 산화물은 대기중의 수증기에 녹고, 분진 기타 aerosol 물질들과 결합하여 강한 산성을 띤 물질로 되어 강수시 지상으로 내려온다. 이런 강수의 pH는 지역과 시기에 따라 차이가 심한데 보통 강수의 pH 5.6을 기준으로, 그 이하를 산성강우라고 부른다¹⁾.

우리나라에서도 매우 강한 산성비가 내리는 경우도 있다는 조사보고가 있다²⁾. 산성비는 금속의 부식,

—효성여자대학교 자연대학 원예학과(Dept. of Horticulture, Hyosung Women's University, Hayang 713-702, Korea)

—본 연구는 1993년도 학술연구조성비에 의해 수행된 것임.

인체의 질병유발, 수질의 변화등 그 영향이 매우 광범위하지만 무엇보다도 토양에 뿌리를 댄고 강수를 그대로 맞는 식물이 직,간접으로 가장 큰 영향을 받게 된다.

산성비는 토양의 염류용탈에 의한 산림의 황폐화³⁾, 식물의 성장저해^{5,6)}, 각종 작물의 생육, 수량 및 품질의 저하를 가져온다는 것은 이미 많은 보고들에서 밝혀져 있다.^{7,8,9)} 뿐만 아니라 광합성과 호흡 및 세포발달의 이상조래¹¹⁾, 화분발아¹²⁾, 종자발아¹³⁾에 영향을 미친다고 한다.

그런데 식물발육의 첫 단계인 종자의 발아에 미치는 산성비의 영향에 대한 보고는 적다. 특히 노지의 초화류 식물은 산성비에 완전 노출되어 있어 식물의 성장, 색소변화, 뿌리의 발달 및 종자의 발아에 많은 영향을 미칠 것으로 예견되나¹⁴⁾ 이에 대한 연구가 많지 않다.

그래서 본 실험에서는 앞으로 산성비에 대한 피해를 예측하고, 대책을 마련하는데 필요한 기초자료를 얻기 위하여, 우선 노지에서 생육의 전기간을 보내는 몇가지 초화류 식물의 종자에 대하여, 인위적으로 황산과 질산을 배합하여 pH를 조절한 인공산성비를 강수의 형태로 처리하여 종자의 발아, 유근, 배축 및 근모의 발생을 조사, 비교하였다.

材料 및 方法

1. 공시종자

본 실험에 공시한 종자는 홍농종묘(주)에서 시판

표 1. Kind of seeds used the experiment.

Seed name	Scientific name
Sweet pea	<i>Lathyrus odoratus</i> L.
Carnation	<i>Dianthus caryophyllus</i> L.
Geranium	<i>Pelargonium hortorum</i> L. H. Bailey.
Flowering cabbage	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.
Lupine	<i>Lupinus hybrida</i> Hort.
Indian blanket	<i>Gaillardia pulchella</i> Foug.
Zinnia	<i>Zinnia elegans</i> Jacq.
Common cockcomb	<i>Celosia cristata</i> L.

하는 초화류 종자 19종류를 구입하여 예비실험에서 90% 이상의 발아율을 보이는 스위트 피 외 7종류를 사용하였는데 그 내용은 표 1과 같다.

2. 산성비조제

인공산성비는 시약용 1급 황산(H_2SO_4)과 질산(HNO_3)을 3 : 1의 용량비율(V/V)로 혼합하여 원액을 만들고, 이 용액을 pH meter(Methrom, Model 632)를 이용하여 pH가 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0이 되도록 증류수로 희석하여 각각 조제하였다. 이때 대조구는 증류수(pH 6.2)를 사용하였다.

3. 발아 시험

건전한 종자를 골라 직경 12cm인 petri 접시에 여지(Toyo No 2) 2매를 깔고 해당 pH별로 산성용액을 주입하여 종이 가 젓게 한 다음 한 시험구에 스위트 피와 루핀은 50립, 그의 종자는 100립씩 치상하여 3반복으로 파종하였다.

파종한 petri접시는 실온(20~25°C)에 두고 매일 오전 11시에 발아상태를 조사하여 기록하고, 같은 온도의 용액을 보충하였다.

이때 인공산성비의 처리는 매일 2회씩 손분무기를 이용하여 수분이 안개(mist) 상태로 공급되도록 하여 종자에 서서히 젖어들게 하였다. 그래서 종자 표면에 산성액이 묻고 흘러내린 산성비는 여지에 흡수되어 토양에서처럼 종자에 계속 산성의 영향이 주어지도록 하였다.

4. 유식물의 성장조사

매일 발아상태를 조사한 결과 치상후 7일이 되면서 더 이상 발아하지 않았다. 그래서 하루를 더 두었다가 8일째 되는 날 발아한 종자의 배축과 유근의 길이 및 근모의 발생유무를 조사하였다.

結果 및 考察

1. 발아율 및 발아일수

여러 수준의 pH로 조제한 산성비를 처리한 종자

의 발아상태를 조사한 것이 표 2이다. pH 1.0에서는 공시한 모든 종자가 발아하지 못하였고, pH 2.0에서는 꽃양배추와 제라니움만이 발아되지 않았다. 그러나 '스위트 피는 52%, 맨드라미는 80%나 발아하였다. 한편 pH 3.0에서는 천인국(60%)이 가장 낮았고, 카아네이션, 루핀, 맨드라미는 90%이상 발아하였다. pH 4.0에서는 천인국(86%)을 제외한 다른 종자는 90~100%의 발아율을 보였고, pH 5.0에서는 전부 96%이상의 발아율을 보였다.

발아일수는 식물의 종류에 따라 1~3일간의 차이가 있었으나 같은 작물에 있어서는 pH 수준에 따른 차이는 거의 없었다.

Justice와 Reece¹⁵⁾는 대부분의 종자발아는 수소가 온 농도 즉 pH가 4.0~7.0 사이라고 하였는데, 본 실험에서 사용한 종자도 pH 4.0에서 모두 발아하여 종자의 발아는 비교적 강산성에서도 일어날 수 있음을 알 수 있다. 한편 Ogawa와 Ono¹⁶⁾는 종자발아

에 있어 순수한 물에서 보다 KNO₃와 같은 염류가 어느 농도까지 들어있으면 오히려 발아율이 현저히 높아지고 염류가 GA와 kinetin과 같이 존재하면 발아에 상승작용이 일어난다고 하였다.

이와같이 종자발아에는 용액내에 존재하는 물질의 종류와 농도에 많은 영향을 받는다. 종자의 발아가 저해되는 것은 삼투압의 변화¹⁷⁾, 각종 효소의 활성억제, 또는 물질대사의 저해 등¹⁸⁾에 의한 것으로 알려져 있으나 강한 산성이 종자발아에 미치는 생리화학적 기작에 대해서는 아직 밝혀져 있지 않다¹⁴⁾. 그러므로 앞으로 이에 대한 상세한 연구가 요망된다.

2. 배축과 유근의 생장

종자를 치상한 후 발아가 종료되고 하루가 지난 8일째에 배축과 유근의 길이를 조사하였다(표 3). 배축의 길이는 pH 2.0에서 제라니움과 꽃양배추는

표 2. Percent germination and days to germination of seeds treated with varied pH levels of simulated acid rain.

Seed name	pH					Control (pH 6.2)
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	
	(%)					
Sweet pea	0	52 (5)*	63 (5)	95 (6)	100 (6)	100 (6)
Carnation	0	57 (5)	90 (6)	100 (6)	100 (6)	100 (6)
Geranium	0	0 (5)	65 (6)	95 (7)	100 (7)	100
Flowering cabbage	0	0 (4)	86 (4)	94 (4)	100 (4)	100
Lupine	0	73 (7)	90 (7)	100 (7)	100 (7)	100 (7)
Indian blanket	0	18 (5)	60 (5)	86 (5)	96 (6)	100 (7)
Zinnia	0	75 (5)	88 (6)	90 (6)	96 (5)	100 (6)
Common cockcomb	0	80 (5)	91 (5)	95 (5)	97 (6)	100 (5)

* The values in the parenthesis refer to the days to germination.

표 3. Effects of simulated acid rain on growth of hypocotyles and radicles of some floricultural crop's seeds.

Seed name		pH					Control (pH 6.2)	LSD, 5%
		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0		
(cm)								
Sweet pea	A	O	1.33	2.37	2.53	2.37	3.20	0.593
	B	O	0.97	1.37	1.27	1.13	1.63	0.613
Carnation	A	O	0.10	1.03	1.00	0.97	1.57	0.120
	B	O	UD	0.20	0.27	0.30	0.43	0.121
Geranium	A	O	O	1.30	1.23	1.30	1.80	0.150
	B	O	O	0.87	0.90	1.00	1.23	0.265
Flowering cabbage	A	O	O	1.53	1.70	1.67	2.17	0.434
	B	O	O	1.30	1.53	1.60	1.97	0.422
Lupine	A	O	1.60	1.90	2.07	2.10	2.30	0.473
	B	O	1.17	1.33	1.33	1.30	1.67	0.120
Indian blanket	A	O	1.10	1.80	2.03	2.07	2.17	0.376
	B	O	UD	0.20	0.23	0.37	0.37	0.157
Zinnia	A	O	0.30	2.23	2.58	2.87	3.23	0.641
	B	O	0.23	1.43	1.50	1.60	1.83	0.606
Common cockcomb	A	O	0.20	0.97	1.03	1.07	1.17	0.085
	B	O	UD	0.45	0.50	0.53	0.73	0.120

A : hypocotyl UD : undeveloped radicles.
B : radicle O : non-germination.

미발육상태이었으나 스위트 피 외 다른 5가지 종자는 대조구에 비해 유의성 있는 차이를 보였다. 특히 루핀의 경우는 산성비의 pH가 단계적으로 낮아짐에 따라 배측의 길이가 이에 따라 유의성 있게 짧았다.

그러나 유근의 길이는 공시한 모든 종류에서 pH의 변화에 따른 차이가 없었다. 즉 대조구에 비하여는 유의성 있게 짧았으나 pH의 수준간에는 차이가 없었다. 이것은 조사일이 유근 발생 후 짧은 기간내에 실시하였기 때문인지 또는 유근은 매우 연약한 조직이어서 직접 용액의 화학적 성질에 영향을 받게 되어 산성용액에서 생장이 억제되었기 때문인지에 대해서는 명확히 알 수 없다. Ferebaugh¹¹⁾는 인공산성비 처리에 의하여 잠두의 잎세포가 적어지고, 세포간격이 좁아지는 등 위축현상이 일어났다고 하였다. 산성비는 식물의 생장을 억제시킨다고 하는데^{6,8,9)}, 이것은 산성비가 세포의 분화와 발달을 저해

하기 때문으로 보인다.

Harber와 Luippold¹⁹⁾는 종자의 발아시 세포분열과 세포신장은 별개의 기작이라 하였고, 배측과 유근이 종피 밖으로 나오는 것은 세포의 신장에 의해서 일어나고 유근의 발달은 세포의 분열이 일어나므로서 진행된다고 하였다.

앞에서 유근의 길이가 pH 수준간에 차이가 없었던 것은 강산성내에서 유근세포의 분열이 정상적으로 일어나지 못하였기 때문인 것으로 추측된다. 그러므로 세포신장에 의해서 이루어진 배측길이보다 세포분열의 영향을 받는 유근의 길이가 더 민감하게 반응한 것 같다. 즉 산성비는 세포신장보다 분열에 더 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다.

곽,김²⁰⁾은 고농도 NaCl(0.5%)을 처리하면 맨드라미의 발아가 거의 억제되는데 여기에 석회(Ca⁺⁺)를 첨가하면 거의 정상적으로 발아하고, 배측과 유근의

신장이 일어난다고 하였다. 이것은 Na^+ 와 Ca^{++} 간의 길항작용 또는 Ca^{++} 의 해독작용의 결과인 것으로 볼 수 있는데 산성비의 경우도 앞으로 이에 대한 피해경감대책을 연구할 필요가 있는 것으로 생각된다. 왜냐하면 이 실험결과로 볼 때 노지에 파종한 종자가 산성비에 영향을 받으면 발아는 되어도 유근의 발달이 되지 않아 식물체로서 발달할 수 없기 때문이다.

3. 근모의 발달 및 유식물생장

표 4를 보면 pH 2.0에서는 루핀과 스위트 피가 약간의 근모가 발달했으나 그 이외 다른 종자는 근

모발육이 거의 없었다. 그러나 pH 3.0의 산성비 처리에서는 루핀을 제외한 모든 종자가 50%이상의 근모 발생율을 보였고 pH 4.0이상에서는 거의 대조구와 같이 정상적인 근모발생이 일어났다.

그런데 루핀은 낮은 pH에서도 근모가 발생하였으나 pH 5.0에서도 95%로서 공시한 다른 종자가 100%선에 비하여 루핀이 가장 낮은 강산성에서는 내성을 나타내었고 약산성에서는 민감성을 보였다. 한편 pH 2.0의 산성비를 처리한 후 8일째에 발아한 유식물의 성장상태를 부위별로 조사하여 분류한 것이 표 5이다. 제라니움과 꽃양배추는 발아도 하지 못하였고 스위트 피와 루핀을 제외한 나머지 종자는

표 4. Effects of simulated acid rain on root hair development of germinated seeds.

Seed name	pH					Control (pH 6.2)
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	
	(%)					
Sweet pea	0	10	68	97	100	100
Carnation	0	*	50	93	98	100
Geranium	0	0	55	80	98	100
Flowering cabbage	0	0	53	95	100	100
Lupine	0	17	38	83	95	100
Indian blanket	0	*	62	90	97	100
Zinnia	0	*	55	82	98	100
Common cockcomb	0	*	56	98	98	100

* Although the radicles were elongated, root hairs did not developed.

표 5. Differences in growth pattern of seedlings after germination at pH 2.0.

Non-germination	After germination			
	hypocotyl* elongated	radicle* extended	root hair developed	radicle undeveloped
Geranium	Sweet pea	Sweet pea	Sweet pea	Carnation
Flowering cabbage	Lupine	Lupine	Lupine	Indian blanket
	Zinnia	Zinnia		Common cockcomb
	Carnation			
	Indian blanket			
	Common cockcomb			

* Hypocotyls and radicles were elongated slightly, but the young seedlings were eventually withered.

근모가 발생하지 않았다. 특히 카네이션, 천인국, 맨드라미는 유근도 발달하지 못하였다. 이 실험에 공시한 종자 가운데 루핀과 스위트 피가 가장 산성비에 내성이 있는 것으로 보였다.

이상의 결과를 종합하여 보면 초화류의 종자발아는 산성비에 상당한 내성을 가지고 있고, 종류에 따라 어느 정도의 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 그리고 흥미로운 것은 유근과 배축이 종피밖으로 나와도 각 부위의 발달에는 종자의 종류에 따라 pH 수준에 대한 반응이 매우 다르다는 것이다. 즉, 유근의 발달과 근모의 발생은 새로운 세포의 분열에 의해서 이루어지기 때문에 근모발생의 유무는 산도에 대한 반응의 기준이 될 수도 있다는 것을 알 수 있었다.

摘 要

황산과 질산을 3 : 1의 비율로 혼합하여 조제한 인공산성비(pH 1.0~5.0)처리가 몇가지 초화류의 종자발아와 유식물의 생장에 미치는 영향을 조사하였다. 종자의 발아소요일수는 작물의 종류에 따라 1~3일간의 차이가 있었으나 같은 종류에 있어서는 산도에 따른 차이는 없었다. pH가 1.0인 산성비 처리에서는 본 시험에 사용한 모든 종자가 발아하지 않았다. 그리고 pH 2.0에서는 꽃양배추와 제라니움이 발아되지 않았고, 발아한 종자도 근모가 발생하지 못하였다. 배축과 유근의 길이는 pH 수준에 따라 유의성 있는 차이를 보였다.

參 考 文 獻

1. Lickens, G. E. and T. H. Bormann. (1974) : Acid rain: A serious regional environmental problem. *Science* **84** : 1176-1179.
2. 강종국, 이종국, 이덕배, 김선관, 소재돈. (1993) : 전북 평야지역의 강우성분조사. 한국토양비료학회. 추계학술발표요지. p. 186.
3. Cronan, C. S, R. C. Reynolds, and G. E. Lang.

- (1978) : Forest floor leaching: Contributions from mineral, organic, and carbonic acids in New Hampshire subalpine forests. *Science*, **200** : 309-311.
4. Johnson, D. W., D. D. Richter, H. V. Miegroet, and D. W. Cole. (1983) : Contributions of acid deposition and natural processes at cation leaching from forest soils: A review. *J.A.P.C.A.* **33** : 1036-1041.
5. Haines, B., M. Stefani. and F. Hendrix. (1980) : Acid rain: threshold of leaf damage in eight plant species from a southern Appalachian forest succession. *Water, Air Soil Pollut.* **114** : 403-407.
6. Wood, T. and Bormann, F. H. (1974) : The effects of an artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis* Britt. *Environ. Pollut.* **7** : 259-268.
7. Forsline, P. L., R. C. Musselman, W. J. Kender, and R. J. Dee. (1983) : Effects of acid rain on apple tree productivity and fruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **108(1)** : 70-74.
8. 姜榮吉, 金聖培. (1992) : 人工酸性雨が 벼, 콩, 참깨의 生育 및 收量에 미치는 影響. 韓作誌. **37(3)** : 237-243.
9. Lee, J. J., G. E. Neely, S. C. Perrijean, and L. C. Grothaus. (1981) : Effects of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. *Environ. Exp. Bot.* **21** : 171-185.
10. 金福榮, 金奎植. (1988) : 農作物에 對한 人工酸性비의 影響. 韓土肥誌. **21(2)** : 161-167.
11. Ferebaugh, R. W. (1976) : Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (fabaceae). *Amer. J. Bot.* **63(3)** : 283-288.
12. Sidhu, S. S. (1983) : Effects of simulated acid rain on pollen germination and pollen tube growth of white spruce(*Picea glauca*). *Can. J.*

Bot. **61** : 3095-3099.

13. 李敦求, 金甲泰. (1986) : 人工酸性雨が 樹種の種子發芽와 苗木生産에 미치는 影響. 서울大 農學研究. **11(2)** : 15-21.
14. 内山鳥善兵衛 編. (1990) : 地球環境의 危機. p. 204-213. 岩波書店.
15. Justice, O. L. and M. H. Reece. (1954) : A review of literature and investigation on the effect of hydrogen-ion concentration on the germination of seeds. *Proc. of the AOAC*, 144-149.
16. Ogawa, T. and K. Ono. (1961) : Interaction of gibberellin, kinetin and potassium nitrate in the germination of light-sensitive tobacco seeds. *Plant and Cell Physio.(Japan)* **2** : 87-88.
17. Dotzenko, A. D. and J. G. Dean. (1959) : Germination of six alfalfa varieties at three levels of osmotic pressure. *Agronomy J.* **51** : 308-309.
18. Jones, R. S. and J. E. Armstrong. (1971) : Evidence for osmotic regulation of hydrolytic enzyme production in germinating barely seeds. *Plant Physio.* **48** : 137-142.
19. Harber, A. H. and H. J. Luippold. (1966) : Separation of mechanisms initiating cell division and cell expansion in lettuce seed germination. *Plan. Physio.* **35** : 168-173.
20. 郭炳華, 金貞淑. (1970) : 高濃度 鹽分에 있어서의 맨드라미 發芽生長에 미치는 石灰效果. 韓國誌. **8** : 27-32.