

韓國産 벌노랑이 (*Lotus corniculatus* var. *japonicus* Regel : Leguminosae) 잎의 靑酸生成 多型現狀

文太暎

高麗大學校 附設 韓國昆蟲研究所
生物多樣性 研究部

Cyanogenic Polymorphism in the Leaves of *Lotus corniculatus* var. *japonicus* Regel (Leguminosae) in South Korea

Moon, Tae-Young

Department of Biodiversity, Korean Entomological Institute
c/o Korea University, Seoul 136-701

ABSTRACT

The populations of the legume *Lotus corniculatus* var. *japonicus* Regel were polymorphic for the character of leaf cyanogenesis. The distribution of the related phenotypes was investigated at ten different sites scattered in South Korea. The frequencies of leaf-cyanogenic plants were respectively and in percentage (the number of the samples): Ch'onmasan(2 sites) 98.00%(200), 99.44%(180); Ch'onggyesan 92.30%(104); My'ongjisan 97.00%(100); Songnisan 98.00%(100); Kyeryongsan 92.50%(120); Ch'ilgapsan 91.82%(110); Hwasan 96.00%(100); Chirisan(2 sites) 46.67%(105), 68.59%(156); $\chi^2=309.25$, $df=9$, $p \ll 0.001$. The factors that may be responsible for the distribution of the phenotypes are discussed.

緒 論

Lotus corniculatus L. 는 種子繁殖과 함께 營養繁殖을 통한 빠른 地域占領(local colonization) 이 가능한 다년생 콩과식물로서, 아프리카 동북부에서 英國을 포함한 대부분의 유럽을 거쳐 舊蘇聯의 經度 66° E 지역과 히말라야 부근의 經度 80° E에 이르는 광범위한 지역에 自然分布하며 (Jones and Turkington, 1966), 中國과 北美에는 주로 畜産과 기타 목적의 作物로 원래 도입되었으나 현재에는 광범위한 지역에 歸化 分布하고 있다 (Turkington and Franco, 1980).

광범위한 지리적 분포를 하는 많은 식물들에서 흔히 발견되듯이, *Lotus corniculatus*도 다양한

形態的 變異와 함께 여러 二次代謝產物들(secondary substances 또는 secondary metabolites)을 함유하는 것이 알려졌는데, 그 중에는 잠정적으로 生態的 效果를 기대할 수 있는 cyanoglucosides(Armstrong *et al.*, 1912), tannins(Sakar *et al.*, 1976), pinitol (Smith and Phillips, 1980), gossypetin 7-과 8-monomethyl ethers (Harborne *et al.*, 1978)과 fluorine (Johnson, 1976) 등이 포함되어 植物化學과 化學生態學的 觀點에서 흥미로운 연구재료이다. 특히 靑酸配糖體(cyanoglucoside)의 加水分解產物로 생성되는 시안화수소(또는 靑酸, HCN)는 강한 毒性作用이 있어서, 대부분의 척추동물들은 미토콘드리아 호흡계의 末端 酸化酵素의 작용이 빠른 속도로 저해되어 酸素缺乏이 급격히 야기되기 때문에 中毒 즉시 呼吸障礙를 일으켜 소량으로도 致死될 수 있다 (Solomonson, 1981).

Fig. 1은 청산 배당체가 가수분해를 통해 HCN과 ketone 또는 aldehyde로 분해되는 靑酸生成現狀(cyanogenesis)을 간략히 나타낸다. 식물에서 청산 생성현상은 조직이 파괴되거나 시들거나 하는 등 주로 식물에 상해가 있을때, 조직 내에 분리 저장되어 있던 청산배당체와 β -glucosidase가 서로 작용하므로서 일어난다.

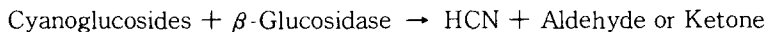


Fig. 1. The procedure of cyanogenesis

*L. corniculatus*의 청산 생성현상에 대해서는 주로 Jones와 그 동료들(Jones, 1972 ; Ramnani *et al.*, 1986)에 의하여 1970년 이후로 다양한 연구가 실시되어, 英國과 서유럽 그리고 북부 파키스탄에 분포하는 *L. corniculatus* 地域 集團들에서 靑酸生成 多形現狀(cyanogenic polymorphism)이 확인된 바 있고, 서유럽에서는 靑酸生成型(cyanogenic type)과 靑酸非生成型(acyanogenic type)의 出現頻도가 分布地圖化되기도 했다. 그 외의 지역에서는 지역 식물상 조사에서 種의 분포가 간단히 기록되는 정도들이다.

한편, *L. corniculatus*의 한 變種인 *L. corniculatus* var. *japonicus* Regel은 히말라야 동부에서 中國 남부를 거쳐 韓國과 日本에 이르는 지역에 제한적으로 자연분포하고 있다 (Turkington and Franco, 1980). 그러나 이 지역에서 *L. corniculatus* var. *japonicus*와 그 近緣種들에 관하여서는 분류학적 또는 특히 식물화학적으로 자세히 연구된 바 없다. 이에 韓國產 *L. corniculatus* var. *japonicus*에서 HCN의 前驅物質로서 청산배당체, 즉 linamarin과 lotaustralin의 존재를 확인하고 (Fig. 2), 동시에 청산생성 다형현상 여부를 조사하여 近緣 植物分類群과의 化學的 進化, 그리고 動植物 共進化(coevolution) 관계를 연구하는 기초자료로 삼고자 한다.

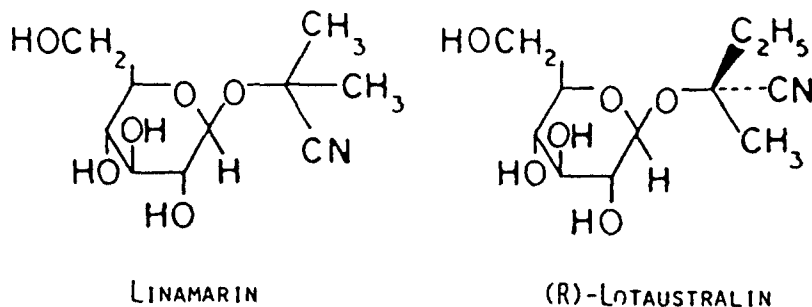


Fig. 2. The chemical structures of cyanoglucosides linamarin and lotaustralin

材料 및 方法

*L. corniculatus*는 대체로 草地性 分布를 보이는데 이 種과 관련된 연구가 상당히 진행된 英國의 경우 石灰性 草地에 先驅植物로 침입한 뒤 營養繁殖을 통해 많은 生育地에서 絨緞分布를 하고 있으나, 韓國産 *L. corniculatus* var. *japonicus*는 해안 언덕이나 절벽에 따른 협소한 草地 또는 山 입구 근처의 길가, 또는 鐵道나 道路를 따라 형성된 周邊 植生 중에 섞여 소규모로 산만히 분포하는 것으로 보이며, 본인은 英國에서와 같이 대규모의 群集은 아직 韓國 내에서 찾지 못하고 있다.

본 연구에 재료로 사용된 *L. corniculatus* var. *japonicus*들이 채집된 곳은 각각 京畿道에서는 天磨山 근처의 두 場所 즉, 南楊州郡 漢金面 墨峴里 먹갓마을 高度 180 m 부근의 길가와 京春線 高度 100 m 부근의 철도변, 淸溪山은 京畿道 加平郡 上板里 기점이 高度 300 m의 길가, 明智山은 京畿道 加平郡 栢屯里 高度 220 m 부근의 길가, 忠淸北道에서 俗離山은 尙州郡 化北面 壯岩里 高度 360 m 부근의 길가, 忠淸南道에서 鷄龍山은 公州郡 鷄龍面 中壯里 농바위 高度 95 m 부근의 길가, 七甲山은 靑陽郡 赤谷里 高度 20 m 부근의 길가, 全羅北道에서 華山은 沃溝郡 沃溝面 高度 0 m 되는 해안 언덕, 智異山은 全羅南道 쪽에서는 求禮郡 土地面 內東里 高度 220 m 근처의 민가의 뜰, 그리고 慶尙南道 쪽에서는 河東郡 岳陽面 中垆里 高度 180 m 근처 민가의 길가인데 채집된 표본들로 두 匍匐型(prostrate type)이었으며, Table 2에 採集日字와 採集內容이 기록되어 있다.

청산생성 여부는 Jones(1966)의 방법을 사용하여 채집된 후 12시간 이내에 검사되었다. Dawson(1941)이 linamarin과 lotaustralin의 四染色體性 遺傳(tetrasomic inheritance)을, 그리고 Bansal(1966)이 그 加水分解酵素인 β -glucosidase의 유전방식을 보고한 바, 이와 관련된 *L. corniculatus* var. *japonicus*의 表現型은 Table 1과 같이 정리될 수 있다. 그러나 본 연구에서는 연구 목적상 네 表現型을 청산생성형(++; 이하 CT)과 청산비생성형(+-, -+, --; 이하 AT) 두 가지로만 구분한다. 단, 본 연구는 앞 부분에서 얻은 결과만을 사용하고, 기타 식물 기관에서의 결과는 포함하지 않는다. 각 기관들에서의 청산생성현상은 기관 상호간 독립적으로 일어나므로 (Guérin, 1929), 앞에서의 청산생성현상 확인이 다른 기관에서의 청산생성 가능성을 반드시 의미하지는 않는다.

Table 1. Phenotypes of *Lotus corniculatus* with respect to cyanogenic glucosides and β -glucosidase production

Plants contains	Gross Phenotype	Shorthand Notation: Glucoside First
Glucosides, Enzyme	Cyanogenic	++ or <u>AcLi</u>
Glucosides, No Enzyme	Acyanogenic	+ - or <u>Acti</u>
No Glucosides, Enzyme	Acyanogenic	- + or <u>acLi</u>
No Glucosides, No Enzyme	Acyanogenic	-- or <u>acli</u>

結 果

유럽산 *L. corniculatus*와 마찬가지로 한국산 *L. corniculatus* var. *japonicus*도 청산 배당체를 함

유하지만 집단간 또 지역간에 청산 생성능력에 차이가 있어 청산생성 다형현상을 나타내었다. Table 2에서와 같이 京畿道 天磨山, 清溪山, 明智山, 忠清北道 俗離山, 忠清南道 鷄龍山, 七甲山 들의 입구 길가와, 全羅北道 華山의 해안 언덕 등, 즉 中西部 地方에서 채집된 재료들은 91.82~99.44%의 높은 CT 출현빈도를 보인 반면 ($\chi^2_{(8)}=21.76$, $df=7$, $0.001 < p < 0.01$), 全羅南道와 慶尙南道에서 접근하는 智異山 근처의 각기 다른 길가에서 채집된 재료들은 46.67%와 68.59%로 중서부 지역 집단과 비교할 때 상대적으로 낮은 CT 출현빈도를 나타내어 ($\chi^2_{(2)}=12.54$, $df=1$, $p < 0.001$), 중서부와 남부 지역의 집단들은 식물화학적 측면에서 상대적으로 구분될 가능성이 있다. 전체 결과에 대한 χ^2 검증은 유의성이 높은 것으로 판정되었다 ($\chi^2_{(10)}=309.25$, $df=9$, $p < 0.001$).

Table 2. Cyanogenic frequencies (%) of *Lotus corniculatus* var. *japonicus* Regel sampled at ten different sites in South Korea

1=the number of cyanogenic leaves; 2=the number of acyanogenic leaves; 3=total number of leaves tested; 4=the frequencies (%) of cyanogenic leaves; 5=habitat description

Locality	Date	1	2	3	4	5
Ch'onmasan A	4.10. 1985	196	4	200	98.00	Roadside Hedge
Ch'onmasan B	14.10. 1985	179	1	180	99.44	Railway Bank
Ch'onggyesan	9. 9. 1985	96	8	104	92.30	Roadside Hedge
Myongjisan	19. 9. 1985	97	3	100	97.00	Roadside Hedge
Songisan	8.10. 1985	98	2	120	98.00	Roadside Hedge
Kyeryongsan	10. 8. 1985	101	9	120	92.50	Roadside Hedge
Ch'ilgapsan	10. 8. 1985	101	9	110	91.82	Roadside Hedge
Hwasan	7. 7. 1985	96	4	100	96.00	Coastal Hill
Chirisan A	25. 8. 1985	49	56	105	46.67	Roadside Hedge
Chirisan B	25. 8. 1985	107	49	156	68.59	Roadside Hedge
	Σ	1,130	145	1,275	88.63	

$$\chi^2=309.25, df=9, p < 0.001$$

考 察

각 採集場所에서 單一年에 반복되지 않은 調査에서 얻은 標本들이어서 다양한 통계적 경향을 유도할 수 있는 형편은 아니었지만, 이 조사의 결과로서 *L. corniculatus* var. *japonicus*에 청산배당체가 존재하며 또한 그와 관련된 표현형들이 한국산 자연집단에서도 다양한 분포로 출현 또는 유지되는 것을 확인하였다.

중서부지방 재료가 극히 높은 CT 출현빈도를 보인 반면, 비교적 남쪽인 지리산에서 채집된 재료들은 상대적으로 낮은 CT 출현빈도를 보이는 것에 대하여서는 유럽산 *L. corniculatus*에서 청산생성 다형현상이 유지되는 원인으로 제시된 겨울철 最低溫度와 植食無脊椎動物의 選別壓에 의한 影響을 추후 고려해 볼 수 있을 것이다 (Daday, 1954; Jones, 1966). 그러나 국내에서 채

집된 *L. corniculatus* var. *japonicus* 집단들이 광범위한 地域占領이나 擴散을 보이지 않고 제한된 狹生育地에 산만하게 분포하는데다, 이런 협생육지들의 겨울철 최저온도에 대한 微氣候的 資料가 현재 축적된 바 없어서 地方의 大氣候에 근거한 최저온도와의 상관을 고려하기에는 무리가 따른다고 본다.

또한 국내에서는 아직까지 *L. corniculatus* var. *japonicus*에 대해 寄主特異性을 가진 專門的 植食者(specialist-herbivore)는 물론이고 一般的 植食者(generalist-herbivore)도 전혀 조사된 바 없어 植食者荷重(herbivore load)도 측정할 수가 없는 형편이다. 英國의 경우 *Arianta arbustorum* (L.), *Helix aspersa* (Müller), *Deroceras* (= *Agliolimax*) *reticulatum* (Müller) 같은 달팽이류들 그리고 *Microtus agrestis* (L.) 같은 설치류들은 *L. corniculatus*에 대해 기주 특이성을 갖지 않는 일반적인 식식자들이지만 CT보다는 AT를 分別攝食(differential feeding)하여 결국 자연집단의 청산생성 개체군 유지에 기여하는 것으로 신뢰성 있는 실험적인 증거와 함께 제시되었다 (Jones 1966, 1971).

한편 식물의 그와 같은 化學的 防禦에 영향을 받지 않는 곤충들도 있어 *Zygaena filipendulae* (L.)와 *Z. loti* (Dennis & Schffermüller) 같은 나방의 유충들은 청산 생성현상에 전혀 영향을 받지 않고 *L. corniculatus*를 섭식하는 기주 특이성이 높은 곤충도 있다 (Jones 1962). 그러나 *Apion loti* Kirby (Coleoptera), *Eurytoma platyptera* (Walker) (Hymenoptera), *Cydia compositella* (F.) (Lepidoptera) 같은 종자를 먹는 곤충들은 더 높은 기주 특이성을 가지면서도 실제로 청산 생성현상과는 관계가 없는데, 이는 한국산 *L. corniculatus* var. *japonicus*와 마찬가지로 유럽산 *L. corniculatus*의 종자에 전혀 청산배당체가 존재하지 않기 때문이다(문, 미발표 개인자료). 이상의 논의는 한국산 *L. corniculatus* var. *japonicus*의 청산생성 다형현상과 분포에 유전적인 요소와 함께 주변환경과의 다양한 생태적 상호작용들이 관련되었을 가능성을 시사한다.

따라서 한국산 *L. corniculatus* var. *japonicus*의 청산생성 다형현상에 관한 본 연구의 결과는 이 종에 대한 자세한 分布調査와 함께 각 自然集團의 CT 出現頻度を 조사하여 그 地域的 傾向性을 파악하고, 동시에 자연집단들에 가해지는 여러 選別壓을 조사하여 청산생성 다형현상이 유지되는 機作을 추적할 필요성에 대한 근거를 제시한다.

摘 要

韓國產 콩과식물 중 벌노랑이 *Lotus corniculatus* var. *japonicus* Regel 잎에서 靑酸生成 多型現狀이 확인되었는데, 靑酸生成型 個體들의 出現頻度(%) (標本數)는 京畿道 天磨山 98.00%(200), 99.44%(180), 淸溪山 92.30%(104), 明智山 97.00% (100), 忠淸北道 俗離山 98.00%(100), 忠淸南道 鷄籠山 92.50%(120), 七甲山 91.82% (110), 全羅北道 華山 96.00%(100), 全羅南道 智異山 46.67%(105), 慶尙南道 智異山 68.59%(156)으로 나타났다 ($\chi^2=309.25$, $df=9$, $p \ll 0.001$). 이 自然集團들에서의 靑酸生成 個體群이 유지되는 要因으로서 環境에 의한 選別壓을 연구할 必要性이 論議되었다.

引用文獻

Armstrong, H. E. , E. F. Armstrong and E. Horton, 1912. Herbage studies. 1. *Lotus*

- corniculatus*, a cyanophoric plant. Proc. R. Soc. London, B84:471-484
- Bansal, R. D. 1966. Studies on procedures for combining clones of Birdfoot Trefoil, *Lotus corniculatus* L. Thesis, Cornell University
- Daday, H. 1954. Gene frequencies in wild population of *Trifolium repens* L. I. distribution by latitude. Heredity. 8:61-78
- Dawson, C. D. R. 1941. Tetrasomic inheritance in *Lotus corniculatus* L. J. Genet. 42:49-72
- Guérin, P. 1929. La teneur en acide cyanhydrique des Lotus. Comp. Ren. Heb. Seace. Acad. Sci. 189:1011-1013
- Harborne, J. B., N. A. M. Saleh and D. M. Smith. 1978. On the natural occurrence of gossypetin 7- and 8-monomethyl ethers. Phytochemistry. 17:589-591
- Johnson, M. 1976. Potentiometric method for determination of fluoride in vegetation. Fluoride. 9:56-63
- Jones, D. A. 1966. On the polymorphism of cyanogenesis in *Lotus corniculatus*, selection by animals. Can. J. Genet. Cytol. 8:556-567
- Jones, D. A. 1971. Chemical defense mechanisms and genetic polymorphism, Science. 173:945
- Jones, D. A. 1972. On the polymorphism of cyanogenesis in *Lotus corniculatus* L. IV. the Netherlands. Genetics. 43:394-406
- Jones, D. A. and R. Turkington. 1986. Biological flora of the British isles, No. 163. *Lotus corniculatus* L. J. Ecol. 74:1185-1212
- Ramnani, A. D., G. S. Markhand, N. M. Bhatti and A. R. Malik. 1986. Distribution of the cyanogenic phenotype of *Lotus corniculatus* L. in the Murree hills, the Jhelum and the Swat valleys of northern Pakistan. Pak. J. Bot. 18(1):91-96
- Sakar, S. K., R. E. Howarth and B. P. Goplen. 1976. Condensed tannins in herbaceous legumes. Crop Science. 16:543-546
- Smith, A. E. and D. V. Phillips. 1980. Occurrence of pinitol in foliage of several forage legume species. Crop Science. 20:75-77
- Solomonson, L. P. 1981. Cyanide as a metabolic inhibitor. In Cyanide in biology, Vennesland, B., E. E. Conn, C. J. Knowles and F. Wissing (eds.), Academic Press, London, pp. 11-28
- Turkington, R. and G. D. Franco. 1980. The biology of Canadian weeds, 41. *Lotus corniculatus* L. Can. J. Pl. Sci. 60:965-979

(1991年 12月 23日 接受)