

環境汚染 防止를 위한 植物의 生態學的 研究(Ⅲ)

—道路邊 植生과 重金屬 含量 및 汚染에 관한 研究—

車 鍾 煥
(東國大學校 師範大學)

Ecological Studies of Plants for Control of Environmental Pollution, III.

—The Studies on the Content and Contamination of Heavy Metals
and Vegetation of Roadside.—

Cha, Jong Whan
(Dongguk University, Seoul, Korea)

ABSTRACT

Some ecological attributes of perennial plants and Pb contamination were analyzed for study plots near an entrance of Nevada Test Site at Mercury Valley, Nye County, Nevada.

The surface of the desert pavement soil was composed of stones (1 to 4cm diameter). The underside of each stone was coated with coarse and fine sand (about 90%). The profiles of soil were constituted with the A-horizon and C-horizon only. The soil pH at the plots ranges from 7.6 to 8.5, C/N was 13 and cation exchange capacity showed 15me/100g.

Nine species and 42 number of individuals were found in all plots. *Franseria dumosa* and *Larrea divaricata* were dominant species. The discrete clumps of vegetation were consisted of 9 species of common perennials and these were covered about 25% on desert pavement, on the other words, bare area without vegetation was about 75%. The size and spacing of the plants was irregular. Community coefficient as comparison between shrub species in these study area and those in near the low elevation desert indicated a low degree of similarity. Density, cover and productivity in the study plots as compared with those in the nearest study areas in Mercury Valley showed a higher value.

The soils in the studied area involved high heavy metal elements and heavy metal contents in the plant tissue was higher than those of its soil. The leaves of *Lycium andersonii* tended to accumulate more Zn and Mo than those of the other species. *Larrea divaricata* leaves accumulated very high levels of Fe and *Ephedra nevadensis* were generally high in Mn.

Lead contamination was apparent in foliage of desert vegetation collected alongside the roadway, reflecting the variation in traffic volume. Lead contents greater than fifteen-fold of normal (low traffic) were found in plant foliage alongside the heavily traveled roadway. Lead content of old foliage by the heavily traveled roadway was as much as 129 ppm but that of new foliage 17 ppm only.

1962. Disc electrophoresis of basic proteins and peptides on polyacrylamide gels. *Nature*. 195: 281—283.
- Richards, E.G., J.A. Coll, and W.E. Gratzar. 1965. *Analyt. Biochem.* 12:452—453.
- Rottem, S., and S. Razin. Electrophoretic patterns of membrane proteins of mycoplasma. *J. Bacteriol.* 94: 359—364.
- Scandalios, J. G. 1964. Tissue—specific isozyme variations in Maize. *J. Heredity* 55: 231—235.
- Shannon, M.C., S.K. Bailal, and J.W. Harries. 1973. Starch gel electrophoresis of enzymes from nine species of poiyporus. *Amer. J. Bot.* 60:96—100.
- Shuster, L., and R.H. Gifford. 1962. Changes in 3—nucleotidase during the germination of wheat embryos. *Arch. Biochem. Biophys.* 96: 534—540.
- Stafford, H. A., and S. Bravinder—Bree. 1972. Peroxidase isozymes of first internode of Sorghum. *Plant Physiol.* 49: 950—956.
- Steward, F.C. 1966. Protein syrthesis and turn—over: Its relation to the induction to the induction of growth in plant cells. The U.S.—Japan Seminar on Plant Growth Regulation in Kyoto.
- Stiles, I. E. 1948. Relation of water to the germination of corn and colton seeds. *Plant Physiol.* 23: 201—222.
- Subramanian, A.R., and G. Kalnitsky. 1964. The major alkaline proteinase of *Aspergillus oryzae*. *Biochem.* 3: 1868—11874.
- Susuki, L. H. 1959. Study on the disinfection of seeds in vegetables. *Noko and Engei.* 23: 254—257.
- Takayama, K. 1934. Polyacrylamide gel electrophoresis of the mitochondrial electron transfer complexes. *Arch. Biochem. Physiol.* 114: 223—230.
- Tanaka, Y. 1970. Enzymic mechanism of starch breakdown in germinating rice seeds. *Plant Physiol.* 45: 650—654.
- _____, and T. Akazawa. 1970. α —Amylase isozymes in gibberellic acid—treated barley hale—seeds. *ibid* 46:536—591.
- Teraoka, H. 1967. Proteins of wheat embryos in the period of vernalization. *Plant Cell Physiol.* 8: 87—95.
- Vaughan, J. G., A. Waite, D. Boulter, and S. Waiters. 1966. Comparative studies of the seed proteins of *Brassica campestris*, *Brassica oleraceae* and *Brassica nigra*. *J. Exp. Bot.* 17: 332—343.
- Wrigley, C.W., H.L. Webster, and J. F. Turner. 1966. Electrophoresis of the soluble proteins of wheat leaf. *Nature* 290: 1133—1134.
- Zech, A.C., and A.W. Pauli. 1960. Cold resistance in three varieties of winter wheat as related to nitrogen fractionation and total sugar. *Arg.J.* 52: 334—336.
- _____, _____. 1962. Changes in total free amino acids and amides of winter wheat crowns during cold hardening and dehardening. *Crop. Sci.* 2: 421—423.

(Received December 20, 1974)

總 論

Nevada주 Mercury는 美國 核實驗場所로 内部는 一般에 非公開地域이다. 따라서 核실험 場所인 비공개 지역과 공개지역인 입구 부근의 植生 比較는 放射線에 의한 反應을 研究하는데 참고가 되거나 一般 砂漠植物의 生態研究에 도움이 될 수 있다고 본다. 또한 이들 조사지 내의 토양과 植物의 金屬 含量 및 路邊의 대표 樹種에 대한 中금속 公營에 관한 조사가 본 研究의 目的이다. 이와같은 研究는 環境 汚染 防止를 위한 좋은 자료를 提供하리라 믿는다. 일찌기 Beatley (1965, 1967, 1972)는 본 研究지역이 포함되는 Mojave 사막중 lower elevation 사막의 代表種을 *Larrea-Fraseria*로 지적하고 middle elevation의 代表種을 *Larrea, Lycium, Grayia*로 언급한바 있다.

調査地域의 개요

Mojave 사막은 北美 砂漠에서 가장 乾燥한 곳이다. 본 植物 調査地는 Mojave 砂漠의 北東쪽에 位置하며 Mercury市 中 美原子力 위원회에 所有되어 운영되는 實驗地域 入口를 中心으로 한 부분이다. 이곳은 Las Vegas에서 北西쪽으로 약 100km 떨어진 거리이며 US Highway 95의 沿변으로 33°37'N와 115°53'W의 교차점 부근이다. Pb汚染에 관한 조사는 이 부근의 二次線 道路와 고속도로 및 사막 내부의 교통량이 없는 지역이다. 植生조사지는 Great Basin 砂漠과 Mojave 砂漠의 轉移帶에 屬한 곳이다.

本 調査地域이 포함된 Mercury Valley의 soil origin은 모두 石炭岩이며 이곳 土壤의 滲透는 거의 찾아볼 수가 없었다. 表土의 64%가 자갈로 이루어졌으며 土層에서 B層은 볼 수 없었고 A層과 C層만이 나타나고 있었다. A層은 表土에서 평균 17cm까지의 사이에 나타나고 C層은 보통 42cm 정도에서 끝치고

Table 1. Soil condition of studied areas in Mercury Valley

| | Average | Maximum | Minimum |
|-----------------------|-------------------|----------------|-------------|
| Elevation (m) | 1059 | 1188 | 927 |
| Slope (%) | 2 | 5 | 1 |
| Surface stoniness (%) | 64 | 80-100 | <20 |
| Horizon depth (cm) | A 0-17 C 17-42 | 0-42 42-100 | 0-5 6-17 |

있다(Table 1).

Table 1에 依하면 해당고는 16個 調査地中 平均 10-59mm이고 傾斜度는 2%로서 거의 平地임을 알 수 있다.

그리고 이곳 年 平均 降雨量은 1965년부터 3年間 조사한 기록에 依하면 약 14cm로 降雨의 大部分은 늦은 겨울에 내리며 每年 상당한 변화가 있고 平均氣溫은 영하로 부터 37°C를 넘는다.

調査內容 및 方法

本 調査는 1972년부터 1974년 8月 22일에 이루어진 것이다.

植物調査 方法은 line transect와 belt transect法을 결합한 것으로 전 길이 500m를 5m간격마다 1m² 크기의 方形區 100개를 調査한 것이다.

植物 및 土壤調査는 Mercury Valley를 16등분하여 각 지소 즉 16個 地點에서 채취하여 분석한 것이다. 分析方法은 常法에 依해 U.C.L.A.에서 이루어 졌다.

各 方形區에 나타나는 種들의 頻度, 被度, 個體數, 높이등을 現地에서 調査한 후 筆者가 共同으로 저술한 砂漠植物 生態學(p. 231)에 기술한 方法에 依해 정리하였다.

本 調査地에서 채집한 植物標本의 감정은 U.C.L.A.의 植物園에 의뢰하여 이루어졌다. Pb汚染에 관한 研究는 本 植物 조사지를 中心으로 더 交通량이 많은 고속도로변과 교통량이 없는 砂漠 内部등 각각 7개 지점에서 채취한 전체 21개의 樣本을 갖고 分析하였다.

結果 및 考察

本 調査地 附近의 16個 地點에서 채취한 表土의 土質은 Table 2에서 볼 수 있다. 表土의 60%가 細砂이었고 약 30%가 粗砂이었고 silt와 clay의 含量은 약 13% 정도이었다. 이는 물론 자갈의 含量을 제거시킨 후의 분석 結果이다.

Table 2. Physical properties of A horizons beneath shrub clumps (particle size distribution, %)

| | Average | Maximum | Minimum |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Coarse sand (2-0.25mm) | 27.4 | 42.4 | 11.7 |
| Fine sand (0.25-0.05) | 59.5 | 82.5 | 44.5 |
| Silt (0.05-0.002) | 7.6 | 14.8 | 2.0 |
| Clay (<0.002) | 5.6 | 9.8 | 1.9 |

Table 3. Chemical properties of A horizons beneath shrub clumps.

| | Average | Maximum | Minimum |
|------------------------------------|---------|---------|---------|
| pH (paste) | 8.1 | 8.5 | 7.6 |
| Organic carbon, % | 2.03 | 7.76 | 0.36 |
| Exchangeable cations (me/100g) | Na | 0.35 | 0.20 |
| | K | 2.97 | 0.94 |
| | Ca+Mg | 11.39 | 4.14 |
| Cation exchange capacity (me/100g) | 14.7 | 22.1 | 8.6 |
| Organic nitrogen, % | 0.157 | 0.403 | 0.027 |

또한 表土인 A층의 化學的 組成은 Table 3에 나타나 있다. 토양의 酸性度는 알칼리성이었으며 유기탄소는 약 2%이었고 치환성 陽 ion은 Na이 0.35, K가 약 3, 그리고 Ca과 Mg가 11.4me/100g를 表示하였고 陽 ion 置換能은 약 15me/100g이었으며 유기질소는 0.157%이었고 C/N은 13을 나타내고 있었다.

出現區數, 個體數, 被度, 높이 등에 의해 유도된 比密度, 比頻度, 比被度, 比高 등에 의해 重要值를 산출한 結果를 Fig. 1에서 볼 수 있다.

*F. dumosa*가 가장 높은 順位를 나타내었는데 重要值는 약 153/400으로 전체의 3/8이상을 점령하고 있었다. 따라서 이곳 植物은 *F. dumosa* stratal society라고 할 수 있다. 다음 *L. divaricata*가 약 1/6을 점유하고 *Yucca schidigera*, *Krameria parvifolia*, *L. andersonii*, *E. nevadensis*등의 順序로 낮아지고 있었다.

全圖 100個 方形區中 나타난 全植物은 9種 42個體로 개체당 占有面積이 상당히 넓었으며 전체 被度도 25.6%로 약 75%가 植物의 被覆이 없는 裸地이었다. 그러나 筆者의 前報(1973a)의 low elevation의 mojave沙漠에 比하면 植生의 被覆率이 2배 정도 되었다.

重要值에 의한 植生 構造를 比較하기 위하여 Fig. 1에 phytograms을 表示한다. 이 그림은 重要치 계산에 의하여 유도된 四個要素 사이의 相互關係를 나타낸 것이다. 이 그림에 의하여 *F. dumosa*가 대표종이고 *L. divaricata*가 第2位임을 알 수 있고 第3位부터 第9位까지는 큰 차이가 없었다.

植物의 높이는 모두 1m以下로 多年生 灌木으로 이루어졌다.

本 조사지 附近에서 가끔 發見되는 植物으로써 채집된 것은 *Eurotia lanata*, *Acemtopappus shockleyi*, *Schaeralea ambigua*, *Atriplex confertifolia*들이었다.

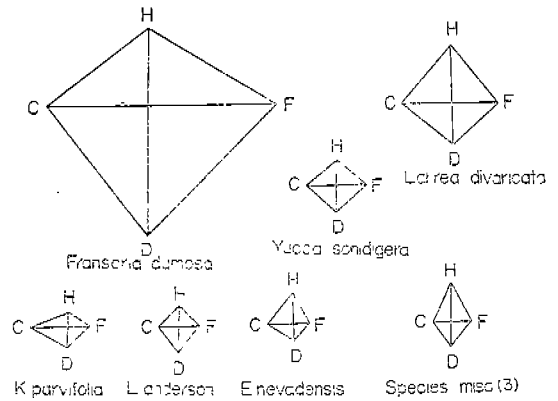


Fig. 1. Phytogram of important values for nine shrub species (H,F,D,C are respectively of Height, Frequency, Density and Cover)

필자의 前報(1974)의 Baker 지대의 植生과의 群落係數는 32%로 아주 相異한 結果를 보이고 있다.

Table 4에서 볼 수 있는 바와 같이 Mercury 골짜기의 금지 구역 내에서 調査한 平均 被度率이 17.1%인데 比하여 본 조사지는 25.6%로 더 높은 値를 나타내고 있었다.

그밖에 密度, 植物의 부피 및 生産力도 ha당 약 1.5 배 정도 본 조사지가 内部 禁止 구역보다 더 높은 値를 나타내고 있었다.

Table 4에 나타난 結果는 16개 토양 성분 조사 지역 중 13個 地點에서 植物調査를 한 實驗結果이다.

本 調査 地點의 鎳屬 元素의 含量은 加州의 보통 경각지 토양에 比하여 상당히 높은 値를 보이고 있었다. (Lisk, 1972). 특히 Mn의 含量은 약 40배 정도 더 높은 結果를 보이고 있었다.

다음은 本 調査지의 植物 및 土層內 鎳屬 含量과 鈾屬의 含量, 중간이고 직유에 따라 Pb오염도에 관한 結果를 살펴보기로 한다.

本 調査지의 16個 地點에서 채취한 토양 A층의 鎳속 함량은 Table 5와 같다.

Table 4. Ecological attributes of vegetation in studied area.

| | Density (No/ha) | Cover % | Plant volume (m ³ /ha) | Plant biomass (kg/ha) |
|-----------------------|-----------------|---------|-----------------------------------|-----------------------|
| Nevada test site(in) | 10585 | 17.1 | 1038 | 1505 |
| Nevada test site(out) | 15877 | 25.6 | 1557 | 2257 |

Table 5. Extractable micronutrients in soils.

| Heavy metal, ppm | Fe | Zn | Cu | Mn |
|------------------|-----|------|------|------|
| A ₁ | 0.7 | 0.87 | 0.17 | 8.27 |

Each value is mean from the 16 test points.

Table 6. Heavy metal contents in some plant leaves of Mojave desert.

| Plants | Mineral contents | | | | |
|---------------------------|------------------|-----|--------|------|---------|
| | Zn | Cu | Fe | Mn | Mo |
| <i>Franseria dumosa</i> | 35±4 | 5±2 | 279±49 | 31±3 | 1.7±0.2 |
| <i>Larrea divaricata</i> | 20±3 | 3±1 | 666±72 | 47±6 | 1.3±0.4 |
| <i>Lycium andersonii</i> | 41±7 | 4±2 | 155±23 | 34±4 | 5.1±2.1 |
| <i>Ephedra nevadensis</i> | 23±4 | 4±3 | 203±12 | 75±9 | 0.2±0.1 |

ppm in dry weight

이들 모든 重金屬含量이 경작지보다도 상당히 높았다(Lisk, 1972). 특히 Mn의 함량은 대단히 높았다. 본 調査 지점에서 나타난 代表種들의 重金屬 元素의 함량은 Table 6에서 볼 수 있다.

Table 6의 *F. dumosa*는 12個體의 平均値이다.

他植物에 비하여 Cu의 含量이 약간 높고 Mn의 含量이 약간 낮았으나 큰 差異는 없었다.

*L. divaricata*는 14個體의 平均値로써 Fe이 다른 植物에 비하여 2~4倍 정도 높은 含量을 나타내고 있었다. 이렇게 많은 Fe 含量을 함유하는 것으로 보아 Fe의 汚染에 의하여 比較的 蓄積量이 많은 土壤에서도 *L. divaricata*가 많은 Fe를 吸收하여도 障害 現象이 일어나지 않음을 보여 주는 것이므로 Fe 汚染地에 栽植한다면 많은 Fe를 吸收하여 土壤의 Fe 濃度를 감소 시키는 功効할 수 있는 植物이라고 간주할 수 있을 것이다. 즉 이 植物은 Fe에 의하여 汚染된 土壤에서 脫 Fe作用에 功効하리라고 본다.

*L. andersonii*의 分析 結果는 11個體의 平均値로 다른 植物에 비해 Zn과 Mo의 含量이 높았다. 이는 Zn과 Mo의 汚染도가 높은 土壤에서 脫 Zn 및 Mo作用에 의하여 環境淨化에 功効하리라 본다. 반면 Fe의 含量이 제일 낮은 것으로 보아 土壤에 Fe의 汚染도가 높은 地域에서는 環境淨化에 功効한 수 없을 것이다.

*E. nevadensis*는 5個 地所에서 採취한 5個體의 平均値이다. Mo의 含量이 낮은 것으로 보아 Mo의 吸收能力이 약한 植物일 것으로 생각된다. 反面 Mn의 吸收能力은 강하여 다른 植物의 2倍정도 되었다. 이는 Mn의 汚染도가 높은 곳에서 많은 量을 흡수하여 環境淨化에 큰 作用을 할 수 있는 것으로 볼 수 있다.

Table 6에 나타난 이상의 植物들은 토양속에 있는 重金屬元素의 濃도에 의하여 植物體內에 상당히 높은 元素含量을 그들 토양으로부터 흡수하여 축적하고 있음을 알 수 있다. Table 7에서 교통량에 따른 本 調査地의 優勢種인 *Larrea divaricata* 내의 Pb의 含量을 調査한 結果를 볼 수 있다.

*L. divaricata*는 관찰한 바에 의하면 상록잎으로써 새잎이 나기 前의 이른 봄에 落葉이 지고 葉表面이 단조곤직 하여 상당히 많은 量의 먼지가 부착한다.

Pb含量 調査를 위한 첫째 sampling은 一月로써 일 이 九月月 以上 未달된 때에, 둘째 sampling은 六月로써 새로운 잎이 생겨서 약 3個月이 지났을 때에 이루어졌다.

Table 7의 data는 筆者의 前報(1973b)에서 인용한 것이다. Table 7의 結果는 交通量이 많은 本 植生調査地에서 比較的 가까운 고속도로면과, 交通量이 中間程度의 Mercury시대로 들어가는 二次線의 交通道路邊으로써 本 研究의 植生 調査 地域이다. 그리고 交通量이 낮은 車道가 없는 砂漠의 内部에서 各 8個 地所씩 선정하고 各 地所에서 採취된 잎의 分析値를 平均한 것이다.

交通量이 많은 곳에서 採취한 잎 일수록 交通에 따른 重金屬 公室 附近의 代表的인 Pb의 含量이 높음을 보여 준다. 高速道路에서 거리가 멀수록 植物體 및 土

Table 7. The lead contents in leaves of *Larrea divaricata*.

| Traffic | ppm in dry weight | | |
|---------------------------|-------------------|---------|------|
| | Age | | |
| | 9 Month | 3 Month | |
| Heavy (3500 vehicles/day) | 129 | 17 | |
| Medium (960 vehicles/day) | 41 | 13 | |
| Low (desert) | 8 | 4 | |
| L.S.D. | { 1% | 4.03 | 2.02 |
| | { 5% | 2.94 | 1.47 |

Reprod. from ref, Cha, J.W (1973b).

· 葉內 Pb 含量이 낮다는 사실은 여러 사실편에 의하여 언급된 바 있었다. (Singer and Hanson, 1969; Lagerwerff and Specht, 1970).

· 葉內 Pb 含量이 높은 植物에서도 外觀상 障害 現象을 찾아 볼 수가 없었다. 木 植物은 葉面이 끈적끈적하기 때문에 다른 植物들보다 더 많은 Pb를 蓄積할 수 있는 特性을 가지고 있다. 즉 土壤에 의한 吸收와 아울러 葉에 의한 吸收가 가능할 수 있는 特性이 있는 것이다. 이런 植物은 街路樹로서는 結果的으로 적합하다고 할 수 없다. 또한 Table 7에서 葉令에 따른 含量의 차이를 볼 수 있다. Pb 含量은 새싹이 나온 후 9個月이 지난 老葉이 3個月이 지난 어린 잎보다 重交通地帶에서는 약 8배 程度 많았다. 葉令의 差가 3배인 데 비하여 Pb 含量은 상당히 높은 격차를 보여 주었다

要 約

1. 本 論文은 Nevada Test Site 入口인 Mercury Valley에서 植物調査와 이 부근에서 Pb오염 조사를 한 것이다.

2. 調査地域은 해발 약 1,000m 정도의 平地이며 表土는 大部分 자갈이고 土層은 A 및 C층이 많이 발달하였으며 表土에서 자갈을 제거한 나머지 部分中 모래가 약 90%를 占有하고 있었다.

3. 土性은 alkali性이고 C/N은 13이며 鹽基置換能은 15me.를 나타내었다.

4. 本 調査地에서 나타난 種은 모두 9種이며 個體數는 42個 이었으며 植生의 種數值가 가장 높은 것은 *F. dumosa*이고 다음이 *L. divaricata*이었다.

5. 植生은 單純하였고 被度는 1/4程度로 75%가 裸地로 노출되어 있었고 附近의 low elevation 沙漠과의 群落係數는 32%로 상당히 相異한 植生分佈를 보였다.

6. 같은 Mercury Valley중 出入 금지 구역보다 개

방 地域의 被度, 密度 및 生産量이 1.5배 程度 높았고 調査地의 土壤은 많은 重金屬 元素를 含有하였다.

7. 植物體內 重金屬元素의 含量은 土壤보다 훨씬 많았는데, *L. andersonii*의 葉은 Zn과 Mo을 다른 種보다 더 많이 蓄積하는 경향이 있었다. *L. divaricata*는 Fe의 含量이 대단히 높고, *E. nevadensis*는 일반적으로 Mn의 含量이 높았다.

8. 路邊에서 채취한 植物의 葉內 Pb 含量은 交通量의 變化에 따른 反應이 잘 반영되었다. 낮은 交通量地에 비해 重交通量地는 15배 以上の Pb 含量을 보였다. 重交通量의 路邊의 老葉內에 Pb 含量은 129 ppm이고 幼葉에서는 17 ppm이었다.

引用 文 獻

- Beatley, J.C. 1965. Ecology of the Nevada Test Site. U.S.A.E.C. report, U.C.L.A. 12-553.
- _____, 1967. Survival of winter annuals in the northern Mojave Desert. *Ecology* 48: 745-750.
- _____, 1972. Biomass of desert winter annual plant populations in southern Nevada. *Oikos* 20: 261-273.
- Cha, J.W. 1973a. Ecological studies of some plants in the southwestern Mojave desert. *Jour. Kor. Forestry Soc.* 19: 25-31.
- _____, 1973b. Accumulation on lead in road side vegetation of major highway. *Jour. Kor. Landscape* 2: 19-26.
- _____, 1974. Ecological studies of some plants in low elevation area (Baker) in Mojave desert. *Donggug Univ. J. of Sawon*, 3 and 4: 1-4.
- Lagerwerff, J.V., and A.W. Specht. 1970. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. *Environ. Sci. Tech.* 4: 583-586.
- Lisk, D.J. 1972. Trace metals in soil, plants and animals. *Adv. in Agron.* 24: 267-325.
- Singer, M., and L. Hanson. 1969. Lead accumulation in soil near highways in the twin cities metropolitan area. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 152-153. (1974. 9. 22 접수)