

濟州道 翰林邑의 부채仙人掌群落에 있어서 環境要因과
物質生産에 관한 研究

張楠基 · 金姬伯 · 金仁子
(서울대학교 師範大學 生物教育科)

A Study on the Environmental Factors and Matter Production
in *Opuntia lanceolata* Communities in Hanrim-Eup, Jeju-Do

Chang, Nam-Kee, Heui-Baik Kim and In-Ja Kim
(Dept. of Biology, College of Education, Seoul National University)

ABSTRACT

Jeju-Do is a volcanic island of which climate is very warm and humid, but *Opuntia lanceolata* Haw. showing CAM metabolism is growing at Wolyung-Ri, Hanrim-Eup, Jeju-Do. Annual productivity of *Opuntia* was 696.47g/m²/yr and 533.47g/m²/yr at two populations on the seashore respectively and 414.92g/m²/yr on the basalt wall of a village.

Stem area index was 13.74, 6.93, and 9.30 at each population which are higher values than average range of leaf area index.

The standing crop was the highest at the second cladode from the top. Each cladode showed little difference at most chemical properties of P, K, Ca and Na. Total nitrogen contents were the most at the youngest cladode and the lest at the oldest one.

Soils were infertile of which organic contents were 1.5% and 5.0% on the seaside and the basalt wall respectively. The soil on the basalt wall contained little water whose water contents were 0.9% and at seashore population 16.12% of water contents were. Furthermore high exchangeable Na contents in soil added water deficiency.

緒 論

最近 CO₂ 固定方法에 따른 C₃ 型과 C₄ 型 植物의 分布나 物質生産力에 관한 研究가 Black(1973), Teeri와 Stowe(1976), 張과 李(1983)等에 依하여 활발하게 進行되었다. 그러나 CAM 植物에 관한 연구는 별로 없다. CAM植物은 乾燥地域에 대한 植物의 適應形態로 生産力에 있어서는 C₃ 型植物이나 C₄ 型植物에 比하여 뒤떨어지지만 극심한 乾燥狀態에서도 水分을 効

率的으로 利用하여 生存할 수 있으며, 水分을 충분히 吸收할 수 있는 狀態가 되면 氣孔開閉나 CO₂ 固定 機作에 있어서 C₃ 型 植物의 性質을 나타냄으로써 生産力이 높아지게 된다(Kluge and Ting, 1978). 따라서 이와같이 環境에 신속히 적응하여 多様な 生理的 機能을 보이는 CAM 植物의 生態的 環境에 대해 調查하는 것은 植物의 環境에 대한 適應機作을 연구하는데 重要的 資料가 될 것이다.

本 研究에서는 CAM 植物의 典型的 環境이 아닌 濟州道에서 生育하고 있는 부채仙人掌群落을 대상으로

하여 이 群落의 形成될 수 있었던 生態的 環境에 대해 調査하고 아울러 이 群落의 物質生産力 및 生産構造를 調査함으로써 典型的인 沙漠氣候에서 生育하고 있는 CAM 植物의 것과 比較하였다.

材料 및 方法

調査地의 概況

濟州道는 東徑 126°58'~126°08', 北緯 33°21'~33°

07'에 位置한 橢圓形의 섬으로 面積은 1,789.65km²이다. 地質은 第3紀의 死火山으로 漢拏山이 分출하여 粗面岩이 섬의 基型을 이루고 그후 다시 第4紀에 玄武岩을 噴出시켜 옛 火山體를 덮음으로써 현재의 火山形態를 나타내게 되었다고 한다.

그후에 또 다시 玄武岩의 熔岩地臺를 깨어 뚫어 360餘個의 寄生火山이 형성되었다. 그러므로 全島의 곳곳에서 매우 두꺼운 火山灰와 火山砂의 推積層을 볼 수 있으며 돌은 黑色의 多孔質 玄武岩으로서 濟州道 全域

Table 1. The meteorological data in Hanrim-Eup, Jeju-Do in Korea
Average six-year(1972~1977), Central Meteorological Office, Annual Report

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperature(°C)	5.2	5.5	8.4	13.3	16.5	20.4	24.5	26.3	22.2	17.5	11.9	7.3
Precipitation (mm)	59.8	80.3	74.0	141.4	133.6	177.1	227.4	152.3	126.1	57.4	71.0	55.4
Velocity of Wind (m/sec)	3.1	3.1	3.0	3.1	2.6	2.3	3.2	3.0	2.0	2.1	2.8	3.0
Direction of Wind	WSW	WSW	SE	S	SSE	SSE	SE	SE	SE	SSE	NW	NNW
Accumulation of Snow	4.2	3	1	0.2	—	—	—	—	—	—	—	2

1 : 50,000 지형도

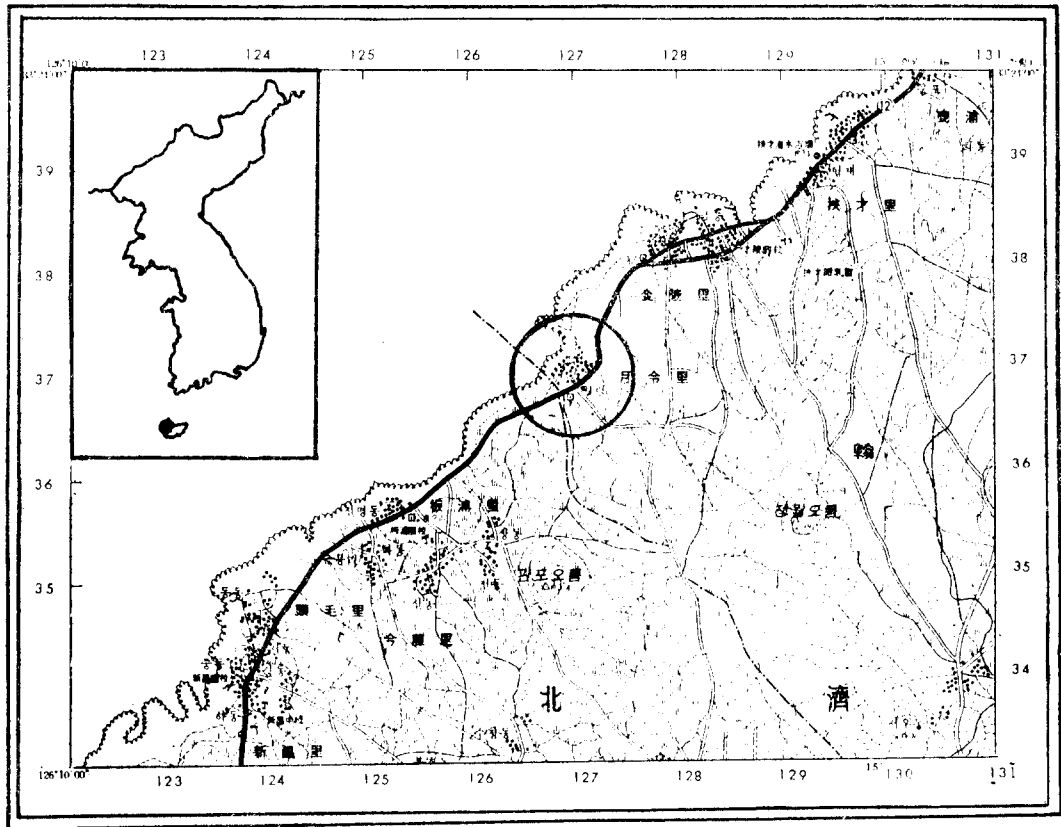


Fig. 1. Geographical map of the studied area.

을 덮고 있다. 濟州道는 4面이 바다로 둘러싸여 海洋性氣候를 나타내므로 相對濕度가 70~85% 程度로 多濕하고 氣溫의 연교차도 적어 겨울에도 零上을 유지하지만 (Table 1) 最低氣溫이 -4°C ~ -7°C 까지 떨어지

는 날도 있다.

調查地域

調查地域은 北濟州郡 翰林邑 月令里의 바닷가 마을이다 (Fig. 1). 이 마을은 절절마다 玄武岩으로 된 제리

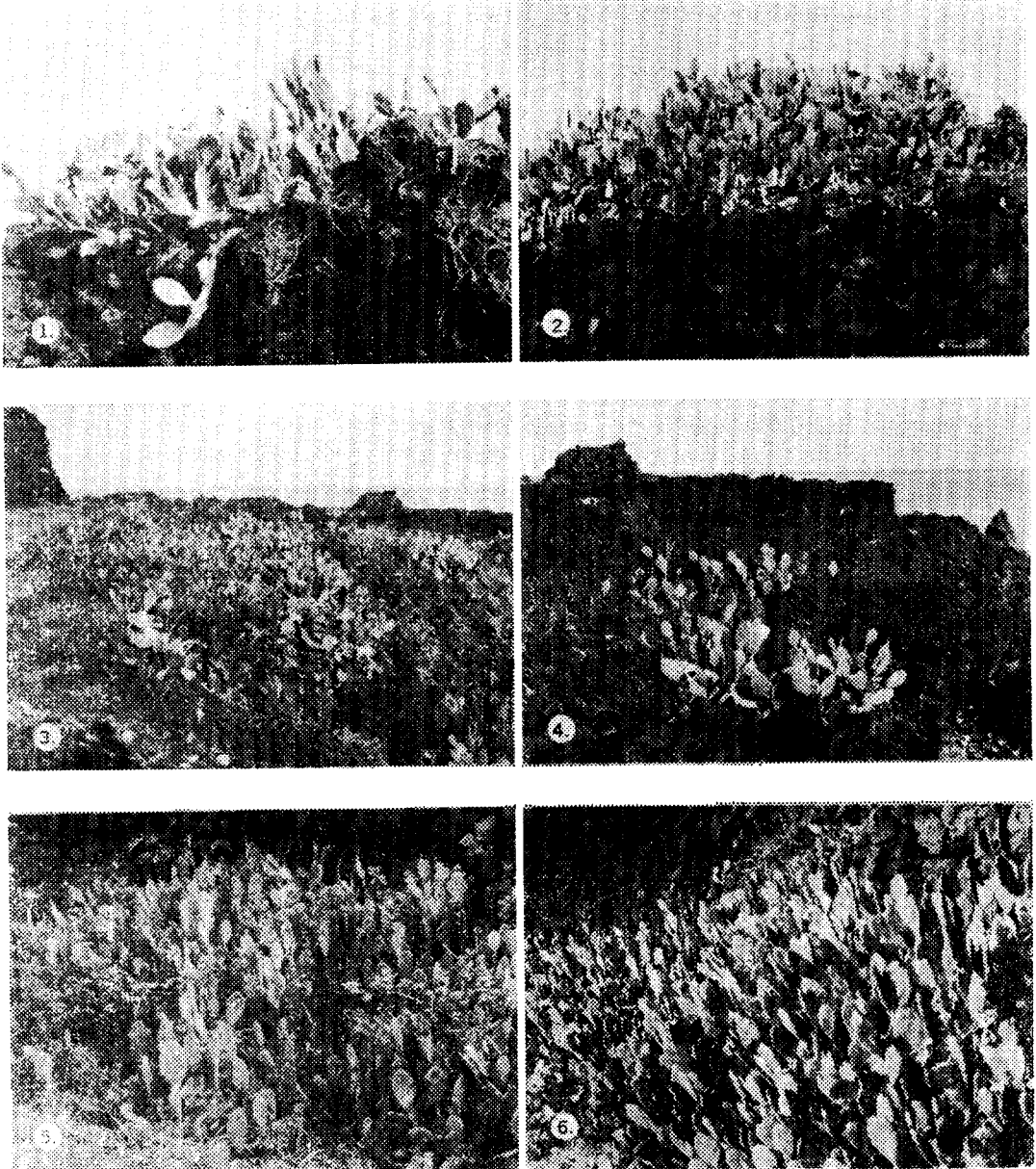


Fig. 2. Explanation of photograph:

1-2. *O. lanceolata* on the basalt wall in Wolyung-Ri, Hanrim-Eup, Jeju-Do.

3-4. *O. lanceolata* on the basalt on the seaside in Wolyung-Ri, Hanrim-Eup, Jeju-Do.

5-6. *O. lanceolata* on the sand soil on the seaside in Wolyung-Ri, Hanrim-Eup, Jeju-Do.

식 돌담이 約 2~2.5m의 높이로 둘러 싸고 있다. 부채仙人掌(*Opuntia lanceolata* Haw.)은 이러한 玄武岩의 돌담위나 바닷가의 玄武岩 위와 모래땅에 약 60cm의 높이까지 자라고 있었다(Fig. 2).

돌담은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 그 폭이 2~4m 정도로 그 위에서 仙人掌이 群落을 形成하여 生長하기에 충분하였다. 本研究의 對象으로 선택한 仙人掌群落은 돌담위에서 자라고 있는 仙人掌群落, 바닷가로부터 약 10m 정도 떨어진 곳에 發達한 玄武岩위의 仙人掌群落 및 海邊의 모래땅에 形成된 仙人掌群落을 擇하여 調査하였다(Fig. 2).

調査方法

1m²의 方形區를 設置하여 採取한 仙人掌을 年令別, 마디별로 分類하여 兩面의 面積을 求하여 幹面積指數(stem area index: SAI)를 산출하였다. 부채仙人掌의 境遇에는 잎이 없고 줄기가 光合成의 器管과 機能을 대신하고 있고, 줄기는 地面에 대하여 直立하고 있다. 따라서 줄기의 兩面에서 光을 吸收하게 되므로 잎과는 달리 兩面의 面積의 합으로 SAI를 구하였다.

부채仙人掌의 現存量과 生産力은 1982年 5月 20日과 1982年 10月 9日에 現存量을 各各 常法에 依하여 調査하고 年間 生産力을 구하였다.

植物體의 化學分析은 年令別로 줄기마디를 氣乾시킨 후 460°C의 電氣爐에서 完全히 灰化시킨 다음 鹽化合物로 만들어 定量分析에 使用하였다.

土壤의 化學分析은 A層의 土壤을 採取하여 氣乾시킨 후 直徑 2mm의 체로 쳐서 分析試料로 使用하였으

에서 6時間동안 灼熱하여 消失量으로 測定하였다.

全窒素: micro-Kjeldahl 法으로 植物體와 土壤試料의 全窒素를 分析하였다.

磷: 標準 molybden 法으로 光電比色하여 定量하였다.

K, Ca 및 Na: flame photometer 와 atomic absorption spectrophotometer 로 分析하였다.

結 果

生産性과 生産構造

濟州道 翰林邑에서 生育하고 있는 仙人掌은 높이가 約 60cm 정도로 기존의 원줄기에서 하나 이상의 가지가 난 경우가 많았다. 仙人掌群落內에는 地上에 떨어진 줄기에서부터 시작하여 生長한 것과 種子에서 發芽된 어린 줄기도 관찰할 수 있었다.

仙人掌群落의 現存量의 調査는 1m²의 方形區를 사용하여 5月 20日과 10月 9日에 實施하였고 이 結果에 의하여 年生産力을 계산하였다(Table 2). 海岸의 仙人掌群落中에서 被度와 密度가 높은 群落과 낮은 群落을 選擇하여 調査하고 마을의 담장 위에서 잘 발달한 仙人掌群落을 調査한 結果와 比較하여 볼 때 海岸에 있는 仙人掌의 年間 生産力이 높았다. 海岸의 두 仙人掌群落에서는 被度와 密度가 높은 群落의 幹面積指數가 2倍 정도 높았으며 年間 生産力도 1.3倍 정도 많았다. 이 結果는 葉面積 指數가 높아질 수록 生産力도 增加한다는 結果와 일치하고 있다. 本研究 結果에 의하면 葉面積 指數에 비하여 幹面積指數의 値가 높은 것은 葉面積指

Table 2. Standing crops, annual productivity, and SAI of *Opuntia lanceolata* Haw. in Wolyung-Ri, Jeju-Do

<i>Opuntia</i> communities	Standing crop 1982. 5. 20 (g/m ²)	Standing crop 1982. 10. 9 (g/m ²)	Annual productivity (g/m ² /year)	Stem area SAI (m ² /m ²)	
Sea-side	1	5,698.39	6,394.86	696.47	13.74
	2	2,875.56	3,942.50	533.47	6.93
Basalt wall		3,587.86	4,002.78	414.92	9.30

며 玄武岩의 돌담위의 土壤은 多孔質의 玄武岩의 돌속까지 仙人掌의 뿌리가 들어가 있기 때문에 土壤과 함께 돌도 分析에서 빼놓지 않았다. 土壤試料는 pH 7.0의 1N NH₄OAC 로 土壤溶液을 만들어 有効磷酸, 置換性 K, Ca 및 Na 를 分析하였다.

含水量: 土壤의 含水量은 新鮮한 土壤試料를 110°C 로 24時間동안 乾燥시켜 減量으로 결정하였다.

有機物含量: 植物體와 土壤試料를 460°C의 電氣爐

數는 잎의 한 면만을 고려하였으나 幹面積指數는 줄기의 全表面積을 고려하는 점과 줄기는 地面에 대하여 垂直으로서 있으므로 群落內를 通過하는 光의 차단율이 낮아 비하여 적기 때문이라고 생각된다.

仙人掌의 生産構造는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 初期生長段階의 줄기만이 epimeral leaf 를 가질 뿐이고 성숙된 줄기에는 잎이 없으므로 줄기자체가 光合成 器管이 된다. 줄기는 가운데의 貯水組織을 中心으로 하

여 綠色同化組織이 대칭으로 存在하므로 Fig. 3과 같이 대칭으로 작성한 결과, 위로부터 첫째, 둘째 마디에서 現存量이 높았다(Fig. 3).

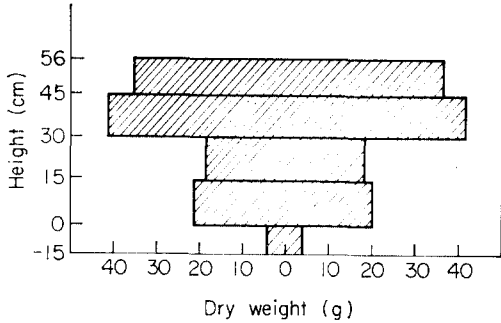


Fig. 3. The productive structure in an *Opuntia lanceolata* community in Wolyung-Ri, Hanrim-Eup, Jeju-Do, in Korea.

고 있기 때문이라고 생각된다.

N 이외의 P, K, Ca 및 Na는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 뿌리와 줄기간에는 뚜렷한 차이가 있었다.

土壤의 化學分析

仙人掌群落의 調査地所인 海岸과 담장 위의 土壤에 含有되어 있는 有機物含量, 水分含量, 全窒素, 有効P, 置換性 K, Ca 및 Na 등을 分析한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같았다. 土壤에 含有된 有機物の 含量은 6.5%와 5.0%로 비교적 淸박한 편이었으며 土壤含水量은 담장위의 土壤은 0.9%로 거의 水分을 含有하지 않고 있었다. 海岸土壤도 水分含量이 적었다. 특히 注目할만한 것은 全窒素, 有効 P, 置換性 K 및 Ca에 比較하여 置換性 Na의 含量이 大端히 높은 것은 水分의 결핍을 더욱 加증시키는 結果임을 알 수 있었다. 그러나 濟州도의 多濕한 氣候와 多孔質의 玄武岩은 仙

Table 3. Chemical properties of cladodes of *Opuntia lanceolata* Haw. communities in Wolyung-Ri, Jeju-Do

Age of Pads	Pad area(cm ²)	Organic matter(%)	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Na(%)
1st	126.40	84.9	2.7	1.15	1.35	4.33	1.51
2nd	194.68	79.0	0.9	1.18	0.93	3.52	1.56
3rd	222.77	81.4	1.1	1.12	0.99	4.12	1.53
4th	212.03	85.8	0.6	1.11	0.69	4.32	1.57

Table 4. Soil properties in *Opuntia lanceolata* Haw. communities in Jeju-Do

Site	Organic matter contents (%)	Water contents(%)	Total N (%)	Available P (ppm)	K (μeq)	Exchangeable Ca (μeq)	Na (μeq)
Sea-side	6.5	16.12	0.8	0.54	0.18	3.13	3.48
Basalt wall	5.0	0.90	0.1	0.38	0.21	3.38	5.22

仙人掌의 뿌리는 그 發達이 매우 미약하여 TR ratio가 6.75로 우리나라에서 自生하고 있는 C₃형이나 C₄型植物에 비하면 대단히 크다는 것을 알 수 있었다.

植物體의 無機物分析

仙人掌의 줄기를 幹齡에 따라 含有되어 있는 有機物, N, P, K, Ca, Na 등을 分析한 結果는 Table 3에서 보는 바와 같다. N含量的 경우는 幹齡에 따라 현저한 差異가 있었으며 가장 어린 줄기에서 가장 높았고 가장 오래된 줄기에서 가장 낮았다. 어린 줄기는 生長이 가장 왕성한 部位로 生長에 필요한 많은 蛋白質이 요구되기 때문이라고 생각되며 오래된 줄기는 代謝機能도 活發하지 못하고 生命維持에 必要的한 基礎代謝만이 進行되

仙人掌이 生長하는데 必要的한 만큼의 水分을 공급해 주고 있다는 것을 알 수 있었다.

論 議

濟州道는 氣候가 溫暖하고 濕한 편으로 降雨量과 蒸發量과의 關係는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 이 結果에 의하면 降雨量보다 蒸發量이 많은 10月만이 土壤에 含有된 水分을 消耗할 뿐이고 降雨量이 植物生長에 모두 利用될 수 있으므로 仙人掌과 같은 CAM植物의 生育에는 充分하다고 생각된다. 仙人掌이 生育하고 있는 이 地域의 多濕한 氣候의 特性과는 달리 Table 5에

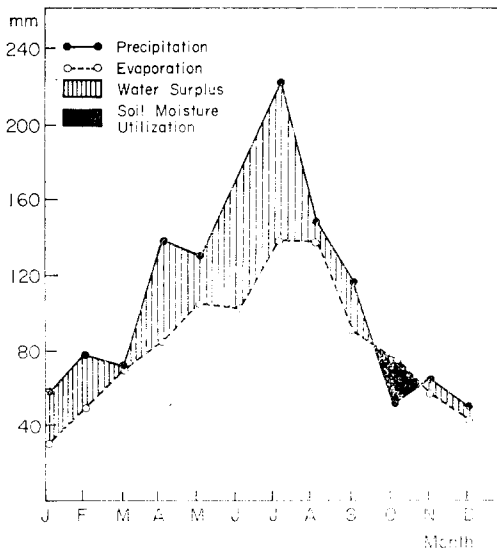


Fig. 4. Relationship between precipitation and evaporation in Hanrim-Eup, Jeju-Do.

서 보는 바와 같이 土壤이 매우 척박하고 乾燥하다는 것이 本 調査結果 나타났다. 같은 濟州道의 경우에 있어서도 관음사부근의 草地에서 調査한 土壤의 特性을 보면 表土의 水分含量이 70~125%로 보고된 바 있으며 (尹과 張, 1970), 江原道 鐵原地區의 草地도 30~40%의 水分含量을 나타내었다 (尹等, 1969).

그러나 本 研究에서 海岸近處의 仙人掌群落의 表土는 土壤含水量이 16.12%이었고, 마을 담장위의 경우는 0.9%에 불과하였다. 土壤의 含水量은 降雨量, 蒸發量, 土壤構造 및 地下水水位에 依存되는데, 本 研究地域의 경우에 仙人掌群落이 生育하고 있는 海岸의 앞은 砂質表土와 多孔質인 玄武岩 담장 위나 玄武岩의 母岩 위는 그 含水量이 大端히 적다. 이는 玄武岩은 투수성이므로 母岩위에 地下水의 貯藏이 불가능하므로 따라서 土壤含水量이 낮은 것으로 생각된다. 土壤有機物の 含量도 尹과 張(1970)에 의하면 草地의 境遇 10~23%인데 비하여 상당히 적은 편이며 Na 含量이 높아 수분의 결핍을 가중시키고 있음을 알 수 있다. 그러므로 이곳에서 生育하고 있는 부채仙人掌은 雨期이외에는 뿌리를 통한 水分의 吸水가 매우 적으므로 乾燥에 대한 適應型인 CAM을 통해 光合成을 하고 生長을 하면서 植物體内の 水分을 効率的으로 유지하게 된다.

이와 같이 乾燥한 土壤에서 生育할 수 있는 CAM 植物은 水分결핍과 같은 極限狀況에서 生存할 수 있는 長點을 가지고 있지만 物質生産力은 C_3 型植物이나 C_4 型

植物에 비해 떨어진다 (Black, 1973). 여러 環境下에서 자라는 植物의 生産力을 比較하여 本래 熱帶雨林의 年生産力은 $1,000\sim 3,500g/m^2/yr$, 溫帶에서는 $600\sim 2,500g/m^2/yr$, 그리고 沙漠의 관목림의 경우에는 $10\sim 250g/m^2/yr$ 정도이다 (Whittaker, 1975). 本 研究地域에서 얻은 年生産力은 溫帶보다는 낮고 沙漠에서 보다는 높은 편이지만 美國 南西部에서 調査한 *Opuntia*의 年生産力이 $7\sim 70tons/ha/yr$ (Griffith, 1915)인데 비하면 $414\sim 696g/m^2/yr$ 로 낮은 편에 속한다. 이 원인은 本 研究地域의 氣候的 水分條件은 좋은 편이지만 仙人掌의 生育에 必要한 光條件이나 溫度等の 環境要因이 美國 南西部의 경우에 미치지 못하기 때문으로 思料된다.

植物群落의 物質生産力에 미치는 영향으로 氣候와 土壤條件以外에 光合成器管인 잎의 分布를 들 수 있다. 單位面積當存在하는 잎의 總面積으로 定義되는 葉面積指數(LAI)가 2~3以上이 되면 水準으로 位置하는 잎보다 垂直으로 서있는 잎을 가진 植物의 경우에 生産力이 높다는 研究報告가 있다 (Salisbury and Ross, 1978). 잎의 密度가 높은 地域에서 잎이 水準으로 分布하고 있으면 잎층을 通過하는 光量이 급격히 減少하므로 地面에 가까운 부분에 분포하는 잎은 거의 光을 吸收할 수 없게 된다. 그러나 垂直에 가깝게 서있는 잎의 경우에는 葉층을 通過하면서 光量이 比較的 적게 減少하므로 全群落의 光合成器管이 고르게 光을 흡수할 수 있다.

부채仙人掌은 잎이 없고 地面에 거의 垂直으로 선 줄기가 光合成을 수행하므로 잎의 경우보다 群落內에서의 광차단율이 낮게 된다. 本 調査地域 中 幹面積指數(SAI)가 높은 海岸에 있는 仙人掌群落의 生産力이 큰 것 (Table 2)은 줄기가 直立하고 있기 때문에 광차단율이 낮아 넓은 面積의 줄기가 광을 받아 光合成을 할 수 있기 때문이라고 생각된다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 어린 줄기의 乾량이 큰 것은 母體가 되는 줄기마더로부터 새로 나오는 줄기의 갯수가 하나 이상으로 가지를 치고 있기 때문이다. 이와 같이 仙人掌群落의 頂端部の 幹面積이 넓고 乾량이 큰 것은 보다 効率的으로 光을 利用하여 보다 활발하게 光合成을 하고 있다는 것을 나타내는 것으로 解釋된다.

本 研究地域의 氣候가 多濕하고 候溫의 日交差나 年交差가 그다지 크지 않음에도 불구하고 CAM 植物인 부채仙人掌이 生育할 수 있는 조건으로는 낮은 土壤含水量, 높은 Na 含量 및 낮은 有機物含量을 들 수 있다. 張等(1984)에 의하면 이 부채仙人掌은 氣候가 沙漠과

매우 큰 차이가 있으므로 氣孔開閉나 光合成의 樣相이 典型的인 CAM 植物과는 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 本 研究結果는 우리나라의 CAM 植物을 조사하는데 基礎資料가 될 것이다.

摘 要

濟州道 翰林邑 月令里는 溫暖 多濕한 氣候 지역이나 仙人掌은 CAM 성격을 지니며 생육하고 있다. 年間生産力은 해안의 두 地所에서 각각 696.47g/m²/yr 와 533.47g/m²/yr 이었고, 玄武岩 담장 위의 경우는 414.92g/m²/yr 이었으며, 幹面積指數는 각각 13.74, 6.93 및 9.30 으로 다른 식물의 평균 葉面積指數에 비해 높았다.

마디별 現存量은 위로부터 들체 마디의 現存量이 가장 높았으며, 幹齡別 N, P, K, Ca, Na 등의 함량 중에서 뚜렷한 차이를 보인 것은 窒素 성분으로 어린 줄기에서 많았고 오래된 줄기에서 적었다.

仙人掌 群落의 토양은 有機物含量이 5.0~6.5%로 척박한 편이었고, 土壤含水量은 담장 위의 경우에는 0.9%이었으나 해안의 경우는 16.12%로 나타났으며, 치환성 Na 함량이 대단히 높아 수분의 결핍을 가증시키고 있었다.

參 考 文 獻

Black, C. C., 1973. Photosynthetic carbon fixation in rela-

tion to net CO₂ uptake. *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, 24 : 253~286.

張楠基·李性圭, 1983. 韓國의 植生에 있어서 C₃, C₄ 및 CAM 植物의 分類, 生産力 및 分布에 관한 研究. *韓國生態會誌*, 6(2) : 128~141.

張楠基·金永洙·陳昌德, 1984. 부채 선인장의 cladode 방위에 따른 光合成 樣式的 變化에 관한 연구. *韓國植物學會誌*.

Griffiths, D., 1915. Yields on native prickly pear in Southern Texas. *U.S.D.A. Bull.*, 208 : 1~11.

Kluge, M. and I. P. Ting, 1978. *Crassulacean Acid Metabolism*. Springer-Verlag, New York, pp.161~177.

Salisbury, F. B. and C. W. Ross, 1978. *Plant Physiology*. 2nd ed. Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, California, pp.172~173.

Teeri, J. A. and L. G. Stowe, 1976. Climatic pattern and the distribution in North America. *Oecologia*, 23 : 1~12.

Whittaker, R. H., 1975. *Communities and ecosystems*. 2nd ed. Macmillan, Inc., New York.

尹益錫·張楠基, 1970. 草地型에 따른 濟州道 草地的 生産構造 및 土壤特性에 관한 研究. 常虛 劉錫昶 博士 古稀 紀念論文集, pp.563~577.

尹益錫·張楠基, 金炳泰, 1969. 鐵原地區 自然草地에 대한 群落構造, 生産性, 再生力 및 土壤肥料學的 研究. *建國學術誌*, 10 : 369~394.

(1984年 5月 19日 接受)