第 5 卷 第 3 期
1957 年 9 月

土 壤 學 報
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol. 5, No. 3
September, 1957

酸性土、鈣質土和鹽漬土指示植物的化學成分*

林厚萱　章慧麟　侯學煜

(中國科學院植物研究所)

一、緒　　言

在自然界中各種植物所能適應環境條件的幅度,有大有小。就植物與土壤性質的關係來說,有些植物只能生長在酸性土上,從不見於鹽漬土或鈣質土上,這些植物就叫做酸性土指示植物。另一些植物只能生長在有碳酸鈣反應的或含有碳酸鈣膠體的土壤上,這些植物就是鈣質土指示植物。還有一些植物只生長在鹽漬土上,從不見於酸性土或鈣質土上的,就是鹽漬土指示植物[1,42]。

植物的無機化學成分,就是表示着該植物在某種環境條件下(空間和時間),從土壤裏吸收或積蓄的礦物養分[4]。植物對於這些養分的吸收和積蓄作用,一方面是依靠着那些養分在土壤裏的存在情況,能不能便於它們吸收或積蓄,另一方面是依靠植物本身對於土壤中養分的選擇性吸收能力而定;許多種化學元素的鹽類,雖然在土壤溶液裏的含量不多,但植物却能把它們積蓄在自己的身體裏,植物具有這種選擇性吸收的生理過程,是影響他們體內礦物成分的主要因素之一。所以影響植物的礦物成分的因素,歸納起來,可以包括下列各方面:

1. 不同種植物的化學成分不同。在天然環境下生長在一起的一羣不同種植物,由於吸收養分的能力各有不同,它們體內所含成分就會不同。例如地刷子(*Lycopodium complanatum*)和濱州越橘(*Vaccinium pennsylvanicum*)生長在一起,地刷子能吸收和積蓄大量的鋁,而濱州越橘則積蓄大量的錳[26]。

2. 同種植物生長在不同的土壤上的化學成分也有不同。就作者等分析結果,蘆葦(*Phragmites communis*)長在海邊鹽沙土上的含灰量佔乾物質的 5.88%,生長在內陸鹽漬土上的,灰分含量達到 15.52%。

3. 同種植物的器官不同,化學成分也有不同。就作者等的分析結果,白花(*Statice*

* 本項研究所用的植物分析標本是由中國科學院植物研究所生態地植物學組的各野外調查隊所採集。在化學分析過程中,先後承趙機溶、胡式之、高秉良、查靜娟、馮瑞清同志等協助,在整結工作中又得李正則、趙佩珍同志很多協助,特此誌謝。

bicolor)葉部灰分佔乾物的 19.66%，莖的灰分佔 10.36%，根的灰分佔 9.52%，花的灰分佔 11.62%。

4. 植物生長發育階段不同，它的化學成分也有不同。例如磷、鉀在玉米內的含量，是隨植物年齡的增長而減少的；苜蓿體內鈣含量在生長期間是一直增加的；馬鈴薯的鈣含量，在植物生命過程中，一直是下降的[32]。

本文的目的在研究酸性土、鈣質土和鹽漬土上各種植物和指示植物的化學成分特點，其中包括灰分及氮、硫、磷、鐵、鋁、錳、鉀、鈉、鈣等九種元素，並且還測定了一部分鹽漬土植物的水提取液中的碱度以及 Cl^- 和 $SO_4^=$ 的含量。希望通過這些研究，對於各類土壤的指示植物內部化學性質得到一定的認識，進而可能部分地解釋爲什麼某些植物專門限長於某種土壤上。

二、所用材料和分析方法

本項研究所用的材料是以天然植物爲對象，所有標本是自 1950 年以來採自全國各處。進行全量分析的包括 31 種 132 個酸性土植物和指示植物，34 種 54 個鈣質土植物和指示植物，43 種 112 個鹽漬土植物和指示植物。進行水提液分析的包括 31 種 104 個鹽漬土植物和指示植物。由於植物的葉部最足以表示該植物新陳代謝類型的特性，所以分析材料以植物葉部或地上綠色部分爲主[19]。

標本採集後，在野外儘最短時間內風乾或晒乾，到實驗室後即置烘箱內 50—60°C 烘 24 小時[35]，磨碎，放入 Jena 硬質燒杯中在 450°C 下灰化 12 小時，稱得灰分的重量。在灰分中加入過氯酸和硝酸，用以氧化灰分中礦質化不完全的部分和含亞鐵的鹽類。以稀鹽酸溶解灰分，所收集的鹽酸溶液即稱之謂植物的母液[28]。

利用前法所製得的母液，在光電比色計上測定鐵、鋁、錳、磷的含量。鐵的測定是採用 Saywell 和 Cunningham 所述的鄰位二氮菲 (o-phenanthroline)法[37]，鋁的測定是根據 Winter 等所述的鋁試劑法[45]，錳的測定是用 Willward 和 Peech 的過碘酸鈉法[43,34]，磷的測定是用 Fiske 和 Subbarow 的磷鉬藍法[13]。再利用火焰光度計測定鉀、鈉、鈣的含量[2]。用硫酸鋇沉澱的重量法測定全硫含量[40]。此外，另稱標本用 Kjeldahl 的方法測定植物全氮量[35]。至於部分植物水提取液中氯離子的測定是用硝酸銀滴定法，以鉻酸鉀爲指示劑。硫酸根離子的測定用硫酸鋇沉澱的重量法，碱度的測定是用鹽酸滴定法，以酚酞和甲基橙作雙指示劑[35]。

三、分析結果

本文內所述的植物化學成分分析結果是作者等 1954—1957 年三年來的工作總結，共分析了 600 餘號標本，每個標本共分析 10 個項目。如果把全部分析結果都列出來，所

佔篇幅過大，各種植物生長地的土壤也由其他同志作過分析。爲了節省篇幅起見，對於土壤分析以及一些隨遇種和生態類型未明確的植物的分析結果，不在本文內報導；現在只按照三種生態類型的酸性土、鈣質土及鹽漬土植物和指示植物分別列表說明。每種生態類型植物又按着科屬的順序加以排列，而且同種植物各個分析結果只列出平均數值，作爲討論的根據。例如鐵芒箕(*Dicranopteris linearis*)是中國南方酸性土的指示植物，我們曾分析了採自不同地點的酸性土(黃壤、紅壤、紅黃壤、黃化磚紅壤)上的標本36個。再如鹽吸(*Suaeda ussuriensis*)是我國北方鹽漬土的指示植物，我們曾分析22個採自不同地點的標本；其餘採自不同地點的一些同種植物標本的數目或多或少不等。

(1) **酸性土植物和指示植物的化學成分**(表1)：在本類型的植物中，除牙疙疸(*Vaccinium vitis-idaea*)、達子香(*Rhododendron dauricum*)是採自內蒙古大興安嶺灰化土上外，其餘各種都分別採自長江以南的江西、湖南、廣東、廣西、雲南、四川、浙江等省的黃壤、紅壤、紅黃壤、黃化磚紅壤和黃化棕色森林土上。這些土壤的 pH 值主要是 4.0—5.8，它們的醋酸鈉浸提液的成分，含有低量的硝酸態氮、磷、鉀、鈣和鎂，含有高量的鋁[1]。生長在這些土壤上植物的灰分及其組成，因各科各種而有不同。就灰分總量來說，石松科三種共12個標本是4.30—5.98%，裏白科鐵芒箕(*Dicranopteris linearis*) 36個標本平均含量是4.92%，兩種裏白是6.62—6.79%，鳳尾蕨科的半邊蕨(*Pteris semipinnata*)是10.02%，扇狀鐵線蕨(*Adiantum flabellulatum*)是10.56%，烏毛蕨科的狗脊(*Woodwardia japonica*)是12.43%，東方烏毛蕨(*Blechnum orientale*)是8.98%，山毛櫸科的苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)是2.84%，山茶科的兩種是4.70—8.38%。桃金娘科的兩種是2.85—3.43%，薔薇科的春花(*Rhaphiolepis n dica*)是4.31%，野牡丹科的兩種是7.71—9.12%，杜鵑科的七種是2.84—6.65%，茜草科的黃梔子(*Gardenia jasminoides*)是6.00%，菊科的羊耳朵(*Inula cappa*)是8.25%。總起來說，這種生態類型植物的灰分是一般小於10.00%，而以5.00—6.00%的爲主，也有個別達到12.43%的。就酸性土植物的氮素含量而言，除了個別幾種達到1.50%以外，一般都在1.00%左右；在132個標本中沒有任何含氮突出高的植物。它們的硫含量從0.04—0.20%，而以0.10%左右爲主；也沒有任何含硫突出高的植物。酸性土植物的磷含量除了個別植物如達子香(*Rhododendron dauricum*)達到0.21%外，其餘大都低於0.10%。酸性土植物的鐵含量除了少數達到0.050%左右以外，大半接近或低於0.020%。在酸性土指示植物中最突出的分析結果，就是其中有些是鋁質生物聚積者，含有極高量的鋁，如石松科的舖地蜈蚣(*Lycopodium cernuum*)是0.976%，石松(*Lycopodium clavatum*)——0.684%，地刷子(*Lycopodium complanatum*)——0.892%，裏白科的鐵芒箕(*Dicranopteris linearis*)——0.368%，華裏白(*Hicriopteris chinensis*)——0.782%，裏白(*Hicriopteris glauca*)——0.873%，山茶科的細葉山茶

(*Camellia cuspidata*)——0.445%，油茶(*Camellia oleosa*)——0.568%，山茶(*Camellia drupifera*)——0.751%，日本柃木(*Eurya japonica*)——0.814%，華柃木(*Eurya chinensis*)——0.727%，荷木(*Schima superba*)——0.286%，野牡丹科的野牡丹(*Melastoma candidum*)——0.919%，舖地錦(*Melastoma dodecandrum*)——1.214%。另外其他各科一些植物含鋁不很高，含鋁量約爲0.050%左右。就酸性土植物錳含量而言，除了個別植物很低外，一般約在0.020—0.050%之間，另一些含錳突出高的植物如油茶(*Camellia oleosa*)、山茶(*Camellia drupifera*)、荷木(*Schima superba*)、福氏杜鵑(*Rhododendron fortunei*)等都高於0.100%。至於酸性土植物的鉀含量，除了石松科的舖地蜈蚣(*Lycopodium cernuum*)、石松(*Lycopodium clavatum*)，裏白科的華裏白(*Hicriopteris chinensis*)、裏白(*Hicriopteris glauca*)，蕨科的半邊蕨(*Pteris semipinnata*)，烏毛蕨科的狗脊(*Woodwardia japonica*)、東方烏毛蕨(*Blechnum orientale*)，菊科的羊耳朵(*Inula cappa*)等以及其他個別植物的含量可達到2.000%以外，大多數都是在1.000%以下。它們的鈉含量全部很低，一般都在0.100—0.150%，只有個別達到0.500%。至於鈣含量也都極低，除了個別植物如映山紅(*Rhododendron simsii*)、達子香(*Rhododendron dauricum*)接近1.000%外，一般都在0.100—0.400%或更低。

(2) **鈣質土植物和指示植物的化學成分**(表2)：本類型植物主要採自北方的內蒙古自治區、山西、河北、甘肅等省的栗鈣土和炭酸褐色土上，另一部分採自四川、雲南、浙江、江西等省黑色石灰岩土和石灰岩上。這些土壤的pH值主要是6.5—8.0。它們的醋酸鈉提取液成分，含有比酸性土較高量的硝酸態氮、磷、鈣、鎂，而鋁含量極低。就生長在這種類型土壤上的34種54個標本的分析結果看來，植物的灰分一般都接近10.00%，還有少數如豆科的甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、芸香科的花椒(*Xanthoxylum simulans*)、蒺藜科的蒺藜(*Tribulus terestris*)，蘿藦科的杠柳(*Periploca sepium*)等達到15.00%或稍高。就氮含量而言，除了象牙烏毛蕨(*Struthiopteris eburnea*)、側柏(*Thuja orientalis*)、冲天柏(*Cupressus duclouxiana*)、小蘗(*Berberis pruninosa*)以及禾本科幾種爲1.00—1.10%以外，其餘各種都高於2.00%，含氮量達到3.00—4.50%之間的有小檸角(*Caragana microphylla*)、檸角(*Caragana pygmaea*)、黃花苜蓿(*Medicago ruthenica*)、苜蓿(*Medicago sativa*)、面人眼睛(*Thermopsis lanceolata*)、苦參(*Sophora flavescens*)、苦豆(*Sophora alopecuroides*)、花椒(*Xanthoxylum alatum*)、酸棗(*Zizyphus sativa* var. *spinosa*)、榆樹(*Ulmus pumila*)、枸杞(*Lycium chinense*)等。以上除最後三種外都屬於豆科植物。鈣質土植物的硫含量除甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)和杠柳(*Periploca sepium*)最高，分別爲1.05%和1.30%外，一般以0.10%左右爲多。磷含量除了幾種蕨類植物和一些禾本科植物較低以

外，其餘大多在 0.150—0.250%，顯然較一般酸性土植物爲高。它們的鐵含量除了少數爲 0.010% 外，大多數爲 0.020—0.050%，另有黑老雅子 (*Pycnostelma laterifolium*) 突出高達 0.252%。在鈣質土植物中顯然沒有鋁的聚積，所有鈣質土植物的含鋁量都極低，一般都在 0.010—0.050% 之間。只有個別的分析結果達到 0.104%。錳含量除了少數植物如黑老雅子(*Pycnostelma laterifolium*)、楊柴(*Hedysarum scoparium*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)等在 0.011—0.023% 以外，其它植物都極低，只有 0.000—0.003%。至於鈣質土植物的鉀含量，一般顯然較酸性土植物的爲高。它們的鉀含量，除了金毛蕨 (*Ctenitis rhodolepis*)、側柏 (*Thuja orientalis*)、冲天柏 (*Cupressus duclouxiana*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、小蘗(*Berberis pruninosa*)、苦豆(*Sophora alopecuroides*)、楊柴(*Hedysarum scoparium*)以及幾種禾本科植物低於 1.000%以外，其餘各種在 1.000—1.500%，最突出高的有枸杞(*Lycium chinense*)——3.437%，花椒(*Xanthoxylum simulans*)——5.317%。就鈣質土植物的鈉含量而言，大致與酸性土的相似，含量都極低，一般在 0.050—0.100—0.200%。至於它們的鈣含量，除了幾種禾本科植物和蕨科兩種較低以外，其餘多在 1.000—1.500—2.000%；突出高的有冲天柏 (*Cupressus duclouxiana*)——3.420%，楊柴 (*Hedysarum scoparium*)——4.251%，蒙古椴 (*Tilia mongolica*)——3.329%，杠柳 (*Periploca sepium*)——4.010%，枸杞 (*Lycium chinense*)——3.329%。

(3) 鹽漬土植物和指示植物的化學成分（表 3）：這個生態類型的植物標本分別採自內蒙古自治區、黑龍江、山西、河北、陝西、江蘇、河南等省，青海柴達木盆地各種鹽漬土或鹽漬化土壤上；其中少部分採自沿海的受海水浪花影響到的砂土上，另一部分採自廣東沿海鹽漬土上。這些土壤都含有不同量的氯化鈉、硫酸鈉，也有含碳酸鈉的，一般土壤 pH 值爲 7.0—10.0。就 43 種植物 112 個標本的分析結果而言，鹽漬土植物的灰分也因各科各種而不同。藜科植物一般是 20.00—30.00—40.00%，其他各科各種除了生長在海邊砂土上以及禾本科兩種的含灰量在 10.00%左右或更低外，其餘各科各種的灰分也多在 10.00—15.00—25.00%。其中含灰分突出高在 40.00—45.00% 之間的有海蓬子(*Salicornia herbacea*)、鹽爪爪(*Kalidium gracile*)和南方鹽吸(*Suaeda australis*)等。含灰分在 20.00—35.00% 之間的，有落粒(*Atriplex littoralis*)、麻落粒(*Atriplex sibirica*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、鹽吸(*Suaeda ussuriensis*)、海棗 (*Nitraria schoberi*)、紅蝨(*Reaumuri soongorica*)、檉柳(*Tamarix juniperina*)、羊角菜(*Scorzonera mongolica*)、驢耳朵(*Saussurea glomerata*)、鹽泥胡菜(*Saussurea salsa*)等，這些植物大多是鹽生的肉質植物。

鹽漬土植物的氮含量，全部都高於 1.00%，除了少數植物如海蓬子 (*Salicornia herbacea*)、海乳草(*Glaux maritima*)、鹽泥胡菜(*Saussurea salsa*)以及紅樹科、禾本

科植物以外，其餘都在2.00—3.00%之間，含氮量突出高的植物有羊辣辣(*Lepidium latifolium*)——4.88%，海棗(*Nitraria schoberi*)——3.57%，野大料(*Glycyrrhiza squomulosa*)——3.28%。就它們的硫含量而言，除了禾本科、南方紅樹林以及生長在海邊鹽性砂土上的植物含硫較低以外，一般都在0.40—0.60%。另一些聚硫植物有鹽爪爪(*Kalidium gracile*)——1.54%，海蓬子(*Salicornia herbacea*)——2.04%，羊辣辣(*Lepidium latifolium*)——1.41%，鹽吸(*Suaeda ussuriensis*)——1.41%，曲曲菜(*Sonchus brachyotus*)——1.34%，紅蝨(*Reaumuri soongorica*)——2.58%，檉柳(*Tamarix juniperina*)——2.73%，海乳草(*Glaux maritima*)——1.08%，白花(*Statice bicolor*)——1.40%，黃花蒼蠅架(*Statice aurea*)——1.42%，鹽泥胡菜(*Saussurea salsa*)——1.21%，莞(*Scirpus* sp.)——1.12%。它們的磷含量除了紅樹科各種以及其他一些種含磷較低外，大都在0.100—0.200—0.300%。它們的鐵含量一般都在0.020—0.040—0.050%，也有少數高達0.179%的。鹽漬土植物的鋁含量都顯然較酸性土植物低得多，而與鈣質土植物相同，但多數植物微微較鈣質土植物爲高，它們的含量一般爲0.050—0.100%，個別的鹽生植物含鋁較高的有碱灰菜(*Chenopodium glaucum*)——0.209%，海蓬子(*Salicornia herbacea*)——0.306%，南方鹽吸(*Suaeda australis*)——0.500%，扎屁股草(*Crypsis aculeata*)——0.357%，莞(*Scirpus* sp.)——0.260%等。鹽漬土植物的錳含量都極低，一般都在0.000—0.010%，少數含量稍高些。鹽漬土植物的鉀含量，除禾本科數種以及紅樹科數種在1.00%以下外，一般爲1.000—2.000%，其中含鉀突出高的有碱灰菜(*Chenopodium glaucum*)——3.780%，羊辣辣(*Lepidium latifolium*)——3.108%，沙參(*Phellopteris littoralis*)——2.970%。鹽漬土植物和指示植物的鈉含量十分顯著的較酸性土和鈣質土植物高出10—100倍，甚至數百倍；一般的含量都高於1.00%，爲1.00—5.00—10.00%。就各科所含鈉質的高低說，藜科各種最高，菊科次之，禾本科最低。幾種含鈉突出高的植物有落粒(*Atriplex littoralis*)——9.555%，藜落粒(*Atriplex sibirica*)——6.482%，鹽爪爪(*Kalidium gracile*)——13.100%，海蓬子(*Salicorina herbacea*)——10.160%，碱蓬(*Suaeda glauca*)——7.240%，南方鹽吸(*Suaeda australis*)——9.747%，鹽吸(*Suaeda ussuriensis*)——6.233%，海棗(*Nitraria schoberi*)——5.889%，鹽泥胡菜(*Saussurea salsa*)——6.259%，莞(*Scirpus* sp.)——8.704%。就鈣的含量而言，一般爲0.500—1.000—1.500%，也有個別的達到2.493%。

根據31種104個鹽漬土植物的水提取液的分析結果的平均數值看來(表4)，除了禾本科、莎草科和旋花科各一種以外，其餘各科各種的乾燥殘餘物都約在20.00—40.00%，尤以藜落粒(*Atriplex sibirica*)、鹽爪爪(*Kalidium gracile*)、海棗(*Nitraria schoberi*)等都在40.00—43.00%之間，海蓬子(*Salicornia herbacea*)爲32.37%。

根據水提液的分析，鹽漬土植物一般含氯都很高，其中含氯達 9.00—17.00% 的有落粒(*Atriplex littoralis*)、蔬落粒(*Atriplex sibirica*)、海蓬子(*Salicornia herbacea*)、鹽爪爪(*Kalidium gracile*)、南方鹽吸(*Suaeda australis*)、鹽吸(*Suaeda ussuriensis*)、鹽泥胡菜(*Saussurea salsa*)、水麥冬(*Triglochin striata*)、海棗(*Nitraria schoberi*)等。其餘各種含氯達 5.00% 左右的有碱蓬(*Suaeda glauca*)、欖李(*Lumnifera racemora*)、曲曲菜(*Sonchus brachyotus*)、羊角菜(*Scorzonera mongolica* var.)、驢耳朵(*Saussurea glomerata*)、海漆(*Excoecaria agallocha*)、白花(*Statice bicolor*)、剪刀股(*Polygonum sibiricum*)、木欖(*Bruguiera conjugata*)、角果木(*Ceriops tagal*)、紅蝨(*Reaumuri soongorica*)、檉柳(*Tamarix juniperiana*)等。至於鹽土植物的含硫酸根在 3.00—6.00% 的有禿烏八子(*Tournefortia sibirica*)、羊辣辣(*Lepidium latifolium*)、海蓬子(*Salicornia herbacea*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、鹽吸(*Suaeda ussuriensis*)、曲曲菜(*Sonchus brachyotus*)、羊角菜(*Scorzonera mongolica* var.)、驢耳朵(*Polygonum sibiricum*)、鹽泥胡菜(*Saussurea salsa*)、白花(*Statice bicolor*)、黃花蒼蠅架(*Statice aurea*)、紅蝨(*Reaumuri soongorica*)、檉柳等。至於含 HCO_3^- 2.00% 以上的，有落粒(*Atriplex littoralis*)、蔬落粒(*Atriplex sibirica*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、海漆(*Excoecaria agallocha*)等。

四、結果的討論

根據前述酸性土、鈣質土和鹽漬土植物和指示植物的化學成分的分析結果，可以看出在同一生態類型的植物中，由於分類系統上的不同，它們的成分就顯然不同；但是也十分顯著地可以看出生長在同一類型土壤上的植物也具有不同程度的共同化學成分上的特徵(表5)。

酸性土植物的灰分雖然因分類系統不同有些高低差別，但一般的灰分是很低的，大約在 5.0—6.0%，少數最高的可達到 12.43%。它們的氮、硫、磷、鈣、鈉、鉀、鐵等含量也比較鈣質土、鹽漬土植物所含的爲低，但錳含量比較的高些，而鋁含量則突出的高，並且有許多酸性土指示植物是鋁質聚積物。在一般情形下，酸性土植物的氮含量——0.080% 左右，鈣含量——0.010%，鉀含量——0.800% 左右，鈉含量——0.100% 左右，鐵含量——0.020% 左右，錳含量一般約爲 0.030% 左右，最高可達 0.506%，至於它們的鋁含量一般爲 0.050% 左右，許多都是 0.800% 左右，最高可達到 1.214%。

鈣質土植物的灰分，也因科屬有所不同，一般是 10.0% 左右，最高的可達到 18.94%。它們的灰分顯然較酸性土植物爲高。同時它們的氮、磷、鉀、鈣等成分也顯著地較酸性土植物爲高，但鋁、錳含量却顯然較低，至於它們的硫、鈉、鐵等成分則與酸性土植物所含的差別不大。它們的氮含量很多是高於 2.00%，突出高的達到 4.65%；磷含量多在

表1 酸性土植物和指示植物的化學成分

科名	學名	俗名	每種標本分析個數	生長地土類
Lycopodiaceae	*Lycopodium cernuum*	舖地蜈蚣	7	黃壤,紅黃壤,黃化磚紅壤
	Lycopodium clavatum	石松	3	黃壤
	Lycopodium complanatum	地刷子	2	黃化,棕色,森林土
Dicranopteridaceae	*Dicranopteris linearis*	鐵芒箕	36	黃壤,紅黃壤,黃化磚紅壤
	Hicriopteris chinensis	華里白	1	黃壤
	Hicriopteris glauca	里白	1	黃壤
Pteridaceae	*Pteris semipinnata*	半邊蕨	2	紅黃壤
Adiantaceae	*Adiantum flabellulatum*	扇狀鐵絲蕨	3	紅黃壤,黃化磚紅壤
Blechnaceae	*Woodwardia japonica*	狗脊	9	紅黃壤,黃壤
	Blechenum orientale	東方烏毛蕨	1	紅黃壤
Fagaceae	*Castanopsis sclerophylla*	苦槠	4	黃壤
Theaceae	*Camellia cuspidata*	細葉山茶	5	黃化磚紅壤,紅黃壤,黃壤
	Camellia oleosa	油茶	7	紅黃壤,黃壤
	Camellia drupifera	山茶	2	黃化磚紅壤
	Eurya japonica	日本柃木	7	黃壤
	Eurya chinensis	華柃木	1	黃壤
	Schima superba	荷木	1	紅黃壤
Myrtaceae	*Baeckia frutescens*	崗松	2	黃化磚紅壤
	Rhodomyrtus tomentosa	桃金娘	11	黃化磚紅壤,紅黃壤
Rosaceae	*Rhaphiolepis indica*	春花	1	紅黃壤
Melastomaceae	*Melastoma candidum*	野牡丹	4	黃化磚紅壤
	Melastoma dodecandrum	舖地錦	2	紅黃壤
Ericaceae	*Rhododendron simsii*	映山紅	8	黃壤
	Rhododendron spinuliferum	紅花杜鵑	2	紅壤
	Rhododendron decorum	白花杜鵑	1	紅壤
	Rhododendron davuricum	達子香	1	灰化土
	Rhododendron fortunei	福氏杜鵑	1	黃化棕色森林土
	Vaccinium bracteatum	烏飯樹	4	黃壤
	Vaccinium vitis-idaea	牙疙瘩	1	灰化土
Rubiaceae	*Gardenia jasminoides*	黃梔子	1	黃壤
	Inula cappa	羊耳朵	2	黃壤,紅黃壤

（根據各種的平均數，%基於乾物質）*

表土 pH	灰 分	N	S	P	Fe	Al	Mn	K	Na	Ca
5.0—5.8	5.98	0.81	0.08	0.058	0.076	0.976	0.011	2.029	0.119	0.043
5.0—5.5	4.30	0.70	0.12	0.083	0.033	0.684	0.021	2.252	0.117	0.122
5.5	5.15	0.69	0.10	0.062	0.047	0.892	0.012	0.748	0.109	0.065
4.1—5.8	4.92	1.02	0.06(33)	0.055	0.016	0.368	0.037	0.729	0.092	0.138
5.5	6.79	1.04	—	0.029	0.012	0.782	0.000	2.058	0.010	0.055
5.5	6.62	0.89	0.06	0.016	0.026	0.873	0.000	1.954	0.025	0.070
5.0—5.5	10.02	1.35	0.14	0.115	0.062	0.094	0.007	1.935	0.103	0.188
5.0	10.56	1.04	0.08(2)	0.051(2)	0.024(2)	0.097	0.028(2)	0.993	0.095	0.334
4.0—5.9	12.43	1.11	0.16(8)	0.088	0.008	0.049	0.017	1.972	0.127	0.419
5.0	8.98	1.41	0.07	0.043	0.009	0.044	0.017	2.638	0.024	0.466
4.5—5.2	2.84	1.21	0.06	0.108	0.008	0.057	0.064	0.506	0.071	0.229
5.0—5.4	4.70	1.12	0.13	0.083	0.013	0.445	0.016	0.747	0.114	0.329
5.0—6.2	5.98	1.13	0.07	0.078	0.014	0.568	0.113	0.831	0.133	0.361
5.0—6.0	4.58	1.05	0.06	0.075	0.020	0.751	0.176	0.625	0.154	0.153
4.1—6.0	7.53	1.09	0.10	0.068	0.009	0.814	0.034	0.672	0.147	0.590
5.5	8.38	1.47	0.20	0.107	0.006	0.727	0.030	0.959	0.172	0.774
5.2	4.71	1.18	0.11	0.064	0.012	0.286	0.237	0.679	0.059	0.348
5.0—5.8	2.85	1.13	0.07	0.069	0.032	0.113	0.027	0.519	0.366	0.105
4.1—5.8	3.43	1.11	0.06	0.063	0.017	0.059	0.033	0.676	0.180	0.215
5.5	4.31	1.31	0.05	0.096	0.017	0.051	0.004	1.147	0.322	0.339
5.2—5.8	7.71	1.49	0.19	0.094	0.044	0.919	0.043	0.822	0.163	0.483
5.2—5.8	9.12	1.44	0.08	0.092	0.078	1.214	0.025	1.047	0.201	0.313
4.5—5.6	5.10	1.31	0.09	0.111	0.009	0.053	0.031	0.703	0.165	1.123
5.5	5.49	1.49	0.05(1)	0.082	0.048	0.066	0.049	0.616	0.025	0.694
5.5	5.70	1.03	0.11	0.086	0.024	0.037	0.095	0.202	0.540	0.368
6.5	5.67	—	0.15	0.210	0.021	0.053	0.053	0.946	0.116	0.937
5.4	5.42	1.01	0.04	0.042	0.003	0.031	0.118	0.868	0.024	0.521
5.2—5.7	6.56	1.18	0.08(3)	0.070(3)	0.055	0.200	0.084	0.534	0.146	0.821
6.5	2.84	0.83	0.12	0.171	0.024	0.049	0.051	0.367	0.556	0.318
5.0	6.00	1.36	0.12	0.084	0.006	0.034	0.007	1.610	0.178	0.753
5.5	8.25	1.51	0.09	0.097	0.051	0.138	0.047	2.193	0.044	0.569

* 括號內數字是該種標本分析個數。

表 2 鈣質土植物和指示植物的化學成分

科名	學名	俗名	每種標本分析個數	生長地土類
Pteridaceae	*Pteris vittata*	蜈蚣草	5	黑色石灰岩土,石灰岩
	Pteris actinopterioides	車輻狀鳳尾蕨	2	石灰岩
Blechnaceae	*Struthiopteris eburnea*	象牙烏毛蕨	1	鎂質石灰岩
Aspidiaceae	*Ctenitis rhodolepis*	金毛蕨	2	石灰岩
Cupressaceae	*Thuja orientalis*	側柏	1	栗鈣土
	Cupressus duclouxiana	冲天柏	1	石灰岩
Berberidiaceae	*Berberis pruninosa*	小蘖	1	石灰岩
Rosaceae	*Prinsepia uniflora*	扁桃木	1	褐色土
Leguminosae	*Caragana microphylla*	小檸角	1	栗鈣土
	Caragana pygmaea	檸角	1	栗鈣土
	Gleditschia heterophylla	山皂角	1	褐色土
	Glycyrrhiza uralensis	甘草	3	栗鈣土
	Hedysarum scoparium	楊柴	1	栗鈣土
	Medicago falcata	野苜蓿	1	栗鈣土
	Medicago ruthenica	黃花苜蓿	1	栗鈣土
	Medicago sativa	苜蓿	1	褐色土
	Thermopsis lanceolata	面人眼睛	1	栗鈣土
	Sophora flavancus	苦參	1	栗鈣土
	Sophora alopecuroides	苦豆	2	栗鈣土
Zygophyllaceae	*Tribulus terestris*	蒺藜	1	石灰性冲積土
Rutaceae	*Xanthoxylum simulans*	花椒	1	淡栗鈣土
	Xanthoxylum alatum var.	野花椒	3	黑色石灰岩土
Rhamnaceae	*Zizyphus sativa* var. *spinosa*	酸棗	4	褐色土，栗鈣土
Tiliaceae	*Tilia mongolica*	蒙古椴	1	栗鈣土
Ulmaceae	*Ulmus pumila*	榆樹	2	褐色土，鹽砂土
Asclepiadaceae	*Periploca sepium*	杠柳	3	淡栗鈣土，褐色土
	Pycnostelma laterifolium	黑老雅子	1	栗鈣土
Solanaceae	*Lycium chinense*	枸杞	3	褐色土
Compositae	*Artemisia frigida*	冷蒿	2	栗鈣土
Gramineae	*Koeleria gracilis*	巴爾托	1	栗鈣土
	Poa sphondylodes	莓	1	栗鈣土
	Andropogon ischeamum	白草	1	
	Stipa grandis	羊鬍草	1	栗鈣土
	Agropyron mongolicum	蒙古濱草	1	栗鈣土

（根據各種的平均數，%基於乾物質）

表土 pH	灰 分	N	S	P	Fe	Al	Mn	K	Na	Ca
6.5—7.0	11.00	1.83	0.11	0.071	0.037	0.069	0.002	1.624	0.019	0.693
	10.35	—	0.16	0.077	0.011	0.018	0.000	1.162	0.030	1.070
	9.36	1.05	0.09	0.023	0.011	0.021	0.000	1.002	0.018	1.723
5.2	8.59	1.67	0.22	0.093	0.022	0.011	0.000	0.565	0.034	1.950
7.2	7.86	1.35	0.07	0.178	0.027	0.051	0.004	0.684	0.318	1.820
	9.53	1.11	0.10	0.080	0.040	0.049	0.000	0.418	0.034	3.420
	4.62	1.09	0.07	0.055	0.007	0.000	0.003	0.308	0.017	1.199
8.0	8.27	2.44	0.08	0.254	0.034	0.030	0.000	1.755	0.094	1.419
7.0	7.80	4.65	0.09	0.313	0.014	0.004	0.001	1.893	0.146	1.165
7.0	8.80	3.36	0.11	0.261	0.026	0.012	0.000	1.112	0.116	1.956
8.0	7.51	2.38	0.11	0.234	0.022	0.022	0.003	1.450	0.112	1.412
7.2—8.5	16.46	2.61	1.05	0.147	0.043	0.213	0.011	0.471	0.103	2.013
7.0	11.08	2.51	0.07	0.087	0.023	0.022	0.015	0.434	0.216	4.251
8.0	8.74	2.82	0.11	0.272	0.027	0.015	0.000	2.278	0.036	1.396
7.0	8.74	2.95	0.13	0.264	0.022	0.041	0.000	1.676	0.112	1.378
7.4	11.02	4.43	0.17	0.328	0.043	0.043	0.000	2.248	0.072	1.999
7.9	8.07	3.00	0.09	0.103	0.051	0.000	0.009	1.054	0.212	2.200
	5.41	3.28	0.07	0.207	0.056	0.013	0.003	—	—	—
7.2—7.5	9.74	3.26	0.14	0.140	0.031	0.036	0.002	0.535	0.088	2.676
7.3	15.75	2.67	0.24	0.199	0.013	0.068	0.000	1.623	0.132	1.404
8.0	18.94	3.54	0.02	0.226	0.098	0.073	0.002	5.317	0.182	1.294
5.0—6.8	9.29	2.18	0.11	0.142	0.007	0.006	0.002	0.963	0.029	2.485
8.0	11.58	3.01	0.23	0.197	0.032	0.036	0.004	1.802(3)	0.081(3)	2.640(3)
7.0	11.45	1.85	0.10	0.219	0.020	0.023	0.005	1.322	0.366	3.329
6.5—8.0	10.74	3.01	0.10	0.199	0.083	0.034	0.000	1.623	0.132	1.404
8.0	15.75	2.50	1.32(2)	0.299(2)	0.057(2)	0.042	0.000(2)	1.413(2)	0.257(2)	4.010
7.2	11.82	2.54	0.51	0.172	0.252	0.025	0.023	1.072	0.294	2.815
8.0	19.46	4.07	0.34	0.339	0.072	0.109	0.009	3.437	0.091	3.329
6.8—7.0	8.19	2.49	0.17	0.287	0.050	0.050	0.001	2.219	0.112	0.643
7.0	7.96	1.63	0.07	0.130	0.033	0.034	0.000	1.391	0.038	0.376
7.0	6.32	1.25	0.09	0.138	0.035	0.029	0.000	0.735	0.072	0.287
7.8	8.71	1.78	0.06	0.095	0.021	0.007	0.000	1.520	0.018	0.566
7.0	6.05	1.57	0.09	0.111	0.040	0.022	0.000	0.981	0.090	0.357
7.0	6.49	1.05	0.05	0.124	0.096	0.059	0.000	0.593	0.038	0.334

表3 鹽漬土植物和指示植物的化學成分

科名	學名	俗名	每種標本分析個數	生長地土類
Ranuculaceae	*Halerpestes ruthenica*	金戴戴	1	鹽土
Polygonaceae	*Polygonum sibiricum*	剪刀股	10	鹽土
Chenopodiaceae	*Atriplex littoralis*	落粒	3	鹽土
	Atriplex sibirica	麻落粒	7	鹽土
	Chenopodium glaucum	碱灰菜	2	鹽土
	Kalidium gracile	鹽爪爪	3	鹽土
	Salicornia herbacea	海蓬子	3	鹽土
	Suaeda glauca	碱蓬	6	鹽土
	Suaeda australis	南方鹽吸	2	鹽性砂土
	Suaeda ussuriensis	鹽吸	22	鹽土
Cruciferae	*Lepidium latifolium*	羊辣辣	1	鹽土
Leguminosae	*Lathyrus maritimus*	海豌豆	1	鹽性砂土
	Glycyrrhiza squomulosa	野大料	1	鹽土
Zygophyllaceae	*Nitraria schoberi*	海棗子	3	鹽土
Malvaceae	*Hibisous trionum*	野西瓜苗	1	鹽土
Tamaricaceae	*Reaumuri soongorica*	紅蟲	1	鹽性荒漠土
	Tamarix juniperina	檉柳	1	鹽土
Caricaceae	*Ceriops tagal*	角果木	1	海邊浸水鹽土
Rhizophoraceae	*Excoecaria agallode*	海漆	1	海邊浸水鹽土
	Bruguiera conjugata	木欖	2	海邊浸水鹽土
	Rhizophora apiculate	紅樹	1	海邊浸水鹽土
	Rhizophora mucronata	紅茄冬	1	海邊浸水鹽土
	Luonifera racemora	欖李	1	海邊浸水鹽土
	Phellopteris littoralis	沙參	1	海邊浸水鹽土
Myrsinaceae	*Aegiceras corniculatum*	白骨壤樹	1	鹽土
Primulaceae	*Glaux maritima*	海乳草	1	鹽土
Plumbaginaceae	*Statice bicolor*	白花	8	鹽土
	Statice aurea	黃花蒼蠅架	3	鹽土
Convolvulaceae	*Calystegia soldanella*	喇叭花	1	鹽性砂土
Borraginaceae	*Tournefortia sibirica*	禿鳥八子	2	鹽土
Compositae	*Scorzonera mongolica* var.	羊角菜	6	鹽土
	Saussurea glomerata	驢耳朵	4	鹽土
	Saussurea salsa	鹽泥胡菜	1	鹽土
	Sonchus brachyotus	曲曲菜	1	鹽土
	Youngia paleacea		1	鹽土
	Ixeris repens	窩食	1	鹽性砂土
	Wedelia prostrata	滷地菊	1	鹽性砂土
Juncaginaceae	*Triglochin palustre*	牛毛草	1	鹽土
	Triglochin striata	水麥冬	2	鹽土
Gramineae	*Aleuropus littoralis*	馬牙頭	4	鹽土
	Crypsis aculeata	札氓股草	1	鹽土
	Achnatherum splendens	枳桔草	1	鹽土
Cyperaceae	*Carex kobomugi*	沙鑽	1	鹽性砂土
	Scirpus sp.	莞	1	鹽性沼澤土

（根據各種的平均數，%基於乾物質）

表土 pH	灰 分	N	S	P	Fe	Al	Mn	K	Na	Ca
	12.14	1.67	0.41	0.336	0.020	0.044	0.007	1.948	1.562	0.806
7.0—10.0	15.24	3.05(9)	0.24	0.231	0.064	0.125	0.005	1.619	2.695	0.994
6.8—9.8	34.78	2.49	0.57	0.261	0.035	0.073	0.010	1.727	9.555	1.058
7.0—10.0	25.65	2.86(6)	0.44	0.211(6)	0.042(6)	0.088	0.006(6)	2.162	6.851	1.055
7.5—8.5	18.74	2.87	0.41	0.336	0.080	0.209	0.007	3.780	2.060	0.727
7.0—7.7	40.92	2.52	1.54	0.126	0.077	0.160	0.008	1.974	13.100	0.685
7.5—8.0	44.79	1.09	2.04	0.110	0.146	0.306	0.014	1.228	10.160	0.662
7.5—10.0	30.67	2.82	0.76	0.190	0.033	0.089	0.008	1.969	7.242	0.550
6.0	43.07	2.11	0.88(1)	0.095	0.179	0.500	0.002	2.095	9.747	0.606
6.8—10.0	29.96	2.19	1.41	0.243(21)	0.069(21)	0.082	0.011(21)	1.496	6.233(21)	0.873
7.0	14.69	4.88	1.41	0.434	0.017	0.030	0.010	3.108	1.356	1.283
6.5	9.89	3.13	0.09	0.158	0.069	0.041	0.008	1.822	0.380	1.394
7.5	9.18	3.28	0.28	0.159	0.059	0.050	0.000	1.430	0.036	1.537
7.0—7.5	25.14	3.57	0.51	0.195	0.045	0.075	0.007	1.973	5.889	1.211
8.2	12.98	1.87	0.40	0.209	0.060	0.198	0.000	2.864	0.071	1.061
8.2	24.99	2.70	2.58	0.183	0.081	0.085	0.001	—	—	—
7.0	24.29	2.61	2.73	0.239	0.121	0.171	0.003	1.066	2.017	2.493
	14.68	1.23	0.67	0.032	0.020	0.088	0.027	1.003	2.583	1.020
	14.92	2.03	0.47	0.193	0.034	0.037	0.000	0.676	1.419	2.028
	14.14	1.43	0.29	0.040	0.014	0.050	0.002	0.661	2.355	1.507
8.0	11.22	1.62	0.45	0.098	0.021	0.066	0.052	1.118	1.607	0.943
	11.82	1.28	0.20	0.081	0.011	0.021	0.014	0.811	1.410	1.304
	17.06	0.84	0.25	0.034	0.017	0.007	0.003	0.700	3.072	1.399
6.5	13.73	1.59	0.32	0.342	0.081	0.037	0.009	2.970	0.743	1.856
	11.49	2.02	0.32	0.106	0.024	0.074	0.056	1.280	1.335	1.038
7.1	14.82	1.53	1.08	0.082	0.020	0.079	0.004	1.501	1.895	1.001
6.8—9.5	18.00	2.82(7)	1.40	0.216	0.067	0.082	0.002	2.091	2.080	1.111
7.3—7.5	17.76	2.45	1.42	0.113	0.094	0.213	0.000	2.727	0.546	1.368
6.5	11.29	2.34	0.22	0.174	0.067	0.042	0.006	2.796	1.284	1.093
6.5—10.0	17.89	2.17	0.71	0.272	0.050	0.072	0.008	2.450	1.795	2.500
7.0—9.5	20.28	2.47	0.77	0.388	0.049	0.139	0.007	2.830	2.615	0.979
7.7—9.7	19.55	2.14	0.90	0.205	0.053	0.111	0.009	2.068	2.140	1.767
8.5	29.06	1.62	1.21	0.095	0.010	0.063	0.005	0.949	6.259	0.832
8.2	25.02	2.26	1.34	0.178	0.178	0.668	0.014	1.742	2.346	2.488
7.4	19.09	1.28	0.66	0.094	0.047	0.054	0.007	2.869	3.241	0.756
6.5	12.61	2.14	0.24	0.285	0.049	0.050	0.008	2.790	1.116	1.519
	6.13	2.31	0.13	0.174	0.008	0.080	0.023	1.373	0.050	0.636
9.5	10.05	—	0.24	0.118	0.024	0.124	0.000	1.920	1.548	1.020
8.6	21.42	2.87	0.45	0.136	0.031	0.078	0.003	2.191	3.279	1.349
7.0—8.2	9.37	1.37	0.27	0.127	0.038	0.074	0.002	0.894	0.250	0.288
8.5	14.33	—	0.28	0.357	0.133	0.357	0.000	0.446	1.116	0.895
7.0	5.58	1.83	0.11	0.094	0.011	0.019	0.006	0.978	0.048	0.409
6.5	8.45	1.35	0.06	0.135	0.054	0.032	0.006	1.894	0.640	0.417
	29.65	4.48	1.12	0.449	0.040	0.260	0.001	1.324	8.704	0.718

表 4　鹽漬土植物水提取液分析結果(根據各種的平均數,%基於乾物質)

科名	學名	俗名	每種標本分析個數	乾殘物	$SO_4^{=}$	Cl^-	HCO_3^-
Borraginaceae	*Tournefortia sibirica*	禿鳥八子	2	20.79	3.03	3.14	1.43
Cruciferae	*Lepidium latifolium*	羊辣辣	1	28.71	6.03	3.61	0.45
Chenopodiaceae	*Atriplex littoralis*	落粒	7	40.69	1.30	9.72	2.62
	Atriplex sibirica	蔊落粒	1	29.89	0.32	9.00	2.37
	Chenopodium glaucum	碱灰菜	1	14.43	0.35	2.54	1.86
	Eurotia arborescens	優落藜	1	20.42	0.44	0.97	0.87
	Kochia scoparia	地膚	1	—	0.33	1.42	1.06
	Salicornia herbacea	海蓬子	3	32.37	6.29	17.15	0.75
	Kalidium gracile	鹽爪爪	3	43.51	2.31	13.31	1.15
	Suaeda glauca	碱蓬	6	31.78(4)	3.35	8.13	2.73
	Suaeda australis	南鹽吸	2	26.47(1)	2.13	12.33	1.00
	Suaeda ussuriensis	鹽吸	21	30.89(10)	5.90	10.85	1.27
Combrataceae	*Lumnitzera racemosa*	欖李	1	—	2.06	6.57	0.33
Compositae	*Artemisia scoporia*	籽蒿	3	17.07(1)	0.76	2.66	0.71
	Sonchus brachyotus	曲曲菜	2	—	3.30	5.33	0.87
	Scorzonera mongolica var. *putjatae*	羊角菜	6	29.48	2.78	6.38	1.01
	Saussurea glomerata	驢耳朵	4	31.56	2.96	6.20	1.55
	Saussurea salsa	鹽泥胡菜	1	—	4.12	11.71	0.61
	Wedelia prostrata	滿地菜	1	—	0.25	1.96	0.15
Convolvulaceae	*Calystegia soldanella*	喇叭花	1	13.11	0.07	3.08	1.20
Cyperaceae	*Carex kobomugi*	沙鑽	1	8.92	0.00	2.13	1.30
Euphorbiaceae	*Excoecaria agallocha*	海漆	1	—	1.77	4.98	0.00
Gramineae	*Aeluropus littoralis*	馬牙頭	4	9.17(1)	0.81	1.61	0.57
	Achnatherum splendens	枳桔草	1	—	0.33	0.94	0.44
	Chloris virgata	狗搖搖	1	—	0.81	1.31	0.69
Juncaginaceae	*Triglochin striata*	水麥冬	1	—	1.57	9.87	1.87
Leguminosae	*Lathyrus maritimus*	海豌豆	1	23.57	0.00	1.89	1.70
Malvaceae	*Hibiscus trionum*	野西瓜苗	1	—	0.51	2.27	0.74
Plumbaginaceae	*Statice bicolor*	白花	7	24.82(4)	3.36	4.75	1.30
	Statice aurea	黃花蒼蠅架	2	—	4.69	2.94	1.12
Polygonaceae	*Polygonum sibiricum*	剪刀股	8	20.10	0.47	4.23	1.08
Primulaceae	*Glaux maritima*	海乳草	1	—	2.01	2.03	0.00
Rhizophoraceae	*Bruguiera conjugata*	木欖	2	—	0.62	5.26	0.00
	Ceriops tagal	角果木	1	—	2.25	5.84	0.00
	Rhizophora mucronata	紅茄冬	2	—	0.75	3.94	0.31
Tamaricaceae	*Reaumuria soongorica*	紅蠹	1	—	8.80	4.31	0.53
	Tamarix juniperina	檉柳	2	29.27	6.52	5.24	1.30
Umbeliferae	*Phellopteris littoralis*	沙參	1	31.04	0.99	2.48	1.50
Zygophyllaceae	*Nitraria schoberi*	海棗	3	42.28	2.38	10.57	2.48

表 5　三種生態類型植物的化學成分的比較*（%基於乾物質）

成分 / 生態類型	灰分及其組成										水提液成分	
	灰　分	N	S	P	Fe	Al	Mn	K	Na	Ca	Cl^-	$SO_4^=$
酸性土植物和	5.00—6.00	1.00±	0.10±	0.080±	0.020±	0.800± 0.050±	0.020—0.050	0.800±	0.100— 0.150	0.100—0.400		
指示植物	(12.43)	(1.49)	(0.20)	(0.210)	(0.062)	(1.214)	(0.234)	(2.193)	(0.556)	(1.123)	—	—
鈣質土植物和	10.00±	2.00±	0.10±	0.150—0.250	0.020—0.050	0.010—0.050	0.000—0.003	1.000—1.500	0.050— 0.100— 0.200	1.000—2.000		
指示植物	(18.94)	(4.65)	(1.30)	(0.328)	(0.252)	(0.104)	(0.023)	(5.317)	(0.366)	(4.251)	—	—
鹽漬土植物和	10.00—15.00 —25.00	2.00—3.00	0.40—0.60	0.100—0.500	0.020—0.050	0.050—0.100	0.000—0.010	1.000—2.000	1.000—5.000 —10.000	0.500—1.000 —1.500	3.00—6.00— 10.00	2.00—6.00
指示植物	(45.79)	(4.88)	(2.73)	(0.434)	(0.179)	(0.357)	(0.056)	(4.252)	(13.100)	(2.500)	(17.15)	(8.80)

* 在括號內的數字是該類型植物所含的最高數值。

0.200% 左右,突出高的達到 0.328%;鉀含量高於 1.200%,還有突出高的達到 5.000% 以上;而鈣含量就較酸性土植物和鹽漬土植物所含的突出爲高,一般都高於 1.000%以上,約爲 1.500% 左右,還有高達 4.251% 的;至於硫含量雖然一般也在 0.10% 左右,而與酸性土植物的相似,但突出高的可達 1.00%,這是酸性土植物所沒有的;鈉含量與酸性土植物所含的相似,一般在 0.100 左右;鐵含量一般在 0.030% 左右,與酸性土植物所含的無明顯不同;鋁含量就很顯著地降低,一般只有 0.020%,最高的也不過 0.051%;錳含量較酸性土植物所含爲低,一般的在 0.003% 左右,或接近 0.000%。

鹽漬土植物的化學成分與前述兩種生態類型植物的不同處,首先在於鹽漬土植物含有高量的灰分(10.00% 以上),很多種肉質鹽生植物的灰分是 20.00—45.00%。這類植物與鈣質土植物共同相似的特徵,是它們含有高量的氮(2.00% 以上)、磷(0.200% 以上)、鉀(1.000%以上),含有低於 0.010% 的錳。它們的鋁含量雖稍高於鈣質土植物,但一般還是遠遠低於酸性土植物。鐵含量稍高於酸性土植物所含的,一般在 0.030% 以上。鹽漬土植物的化學特徵與鈣質土植物的不同處,還在於它們含有較高量的硫和鈉:硫含量以 0.44% 左右爲主,也有突出高達到 2.73%的;鈉含量一般都高於 1.100%,也有突出高達 6.00—10.00% 的;鈣含量高低不一,一般都低於鈣質土植物的,而高於酸性土植物的。此外,鹽漬土植物水提取液的氯含量也顯然很高,一般在 2.00—17.00%,這是其他兩種生態類型植物所沒有的。

前述三種不同生態類型植物的化學成分的不同,顯然與它們生長地的土類,特別是土壤 pH 值所聯系的各種元素有效度有着密切的聯系[18]。就植物灰分來說,生長在鹽漬土上的植物含量最高,鈣質土上的次之,酸性土上的較低;這與上述不同土類中所含的不同量可溶性鹽分有關。

氮含量在鈣質土植物和鹽漬土植物中顯然較酸性土植物爲高;這種現象與土壤本身的含氮量有關。由於在酸性土壤情形下,硝化細菌,共生和非共生固氮細菌的生活不利[16,21],所以在酸性土壤中有效態氮的含量就少,結果植物吸收的也就少。因此,在自然界中有些含氮特殊高的天然植物如海棗、羊辣辣等只見於鹽漬土上,枸杞、苜蓿、酸棗、小花筋條等只見於鈣質土上,而在酸性土上就沒有生長着含氮突出高的植物。另一方面有地方的鹽漬土中還可能含有相當數量的硝酸態氮,也許是鹽漬土植物含氮特高的原因之一。

硫含量也以鹽漬土植物顯著地比鈣質土和酸性土植物所含的爲高,鹽漬土上特別出現有聚硫植物如白花、羊角菜、檉柳、羊辣辣、鹽爪爪(含硫 1.00—2.00%)等,其餘一般鹽漬土植物含硫量也多高於 0.40%;這是與鹽漬土本身含有相當量或高量硫酸鹽相關,這些硫酸鹽可以供給植物大量吸收。

酸性土植物含磷量顯然較鈣質土植物和鹽漬土植物所含的要低得多,這是與植物

生長地地土壤的 pH 值也有密切的關係；由於磷在强酸性的土壤環境下，容易與土壤中的鐵、鋁相結合，形成不溶性的磷酸鐵 ($FePO_4$) 和磷酸鋁 ($AlPO_4$)，但在中性反應環境下形成可溶性的磷酸二氫鈣 [$Ca(H_2PO_4)_2$]，在强鹼性反應時形成可溶性的磷酸鈉 (Na_3PO_4)[28,41]，所以在酸性土上的植物所吸收的磷少，而生長在鈣質土和鹽漬土上的植物可以從土壤中吸收大量的磷質。從另一角度說，植物所含磷質的多少，也許與植物體內磷酸鹽緩衝物的含量多少有關[38]；生長在鈣質土或鹽漬土上含磷質高的植物，可能它所含的磷酸鹽緩衝物也較高。根據化學試驗，0.1M 的磷酸鹽溶液在 pH 中性和强鹼性時，緩衝力最大；但在酸性情形下，緩衝力降爲極低。因此，如果把鈣質土或鹽漬土指示植物移植在酸性土上，它們將無力緩衝由酸性土所吸進的酸性溶液，結果就阻礙了他們正常的新陳代謝作用。所以從這個角度也可以解釋含磷較高的鈣質土植物和鹽漬土植物爲什麼不能在酸性土上生長正常。反過來也可以解釋酸性土植物由於含磷低，在中性或鹼性環境中也缺乏緩衝能力，就不能正常的在鈣質土和鹽漬土上生長。

關於鐵質的含量與土壤 pH 值的關係，在前人的研究中曾有過這樣的假說：就是鐵在酸性情形下易形成可溶性的二價鐵，而在中性和碱性環境下易變爲不溶性的三價鐵；也就是說土壤的 pH 值愈高，其可溶性鐵就愈減少[41]。但是前人栽培實驗的結果，却發現當土壤的 pH 值很低時，不一定含鐵量就會增高[46]。根據作者等分析結果，生長在 pH 值高的鹽漬土和鈣質土上的植物，較酸性土植物所含鐵質並不低些，這種發現與前人的研究也有吻合處[6,7,25,26]。他們曾發現不同種植物的含鐵量是隨土壤中石灰含量而增高。事實上，低價鐵易溶於碱性土壤中[9,31]，植物對鐵的吸收和鐵的有效性仍是一個極其複雜的問題。

酸性土指示植物含鋁量顯然較其它兩種生態類型的植物高出數倍至百倍，特別許多酸性土指示植物聚有高量的鋁質，這種發現是與過去許多工作結果相符合的[27,29,30,36]。酸性土植物含有高量鋁的事實是與酸性土、特別是我國南方紅壤、黃壤中的高量活性鋁的存在分不開的。土壤中活性鋁的存在對於鈣質土和大多數鹽漬土植物可能是有毒害的[22,17]，但對於酸性土指示植物，不僅沒有毒害，可能反而爲它們新陳代謝作用中所必需。

酸性土植物所含的錳較之鈣質土和鹽漬土植物所含的要高出 10 倍，甚至於數十倍；這種結果是與前人的研究也是吻合的[8,10,14,15,20,24,33]。這些植物含錳較高的原因，是由於酸性土內錳的有效度較高[12,20]，便於植物吸收。酸性土指示植物限於分佈在酸性土上的原因，很可能是由於它們比較鈣質土植物和鹽漬土植物能够忍耐土壤中大量的錳質，或者甚至需要大量的錳質[39]。酸性土內所存在的有效性錳質，可能對於鈣質土植物和鹽漬土植物是有毒害的[20]，所以鈣質土和鹽漬土植物不見於酸性土上。

至於植物的鈉含量，生長在鹽漬土上的一般比較鈣質土上植物的要高到 10—100

倍，比較酸性土植物的要大數十倍到數百倍；有些含鈉突出高的藜科植物，如果與酸性土植物相比就要高出 400—600 倍，與鈣質土植物相比就高出數十倍到一百倍。這種含高量鈉質的現象，顯然是與鹽漬土本身含有大量可溶性的鈉鹽相關，而這些大量鈉鹽在土壤中的存在，對於酸性土和鈣質土植物是不利的；所以這兩生態類型的植物不見於鹽漬土上。

至於鈣含量以生長在鈣質土上的植物爲最高，除了含鈣突出高的植物如楊柴、面人眼睛、苦豆、蒙古椴、黑老雅子等不計外，一般鈣質土植物含鈣量也較酸性土植物要高出數十倍到一百倍，如果與鹽漬土植物相比，也稍高一些，這種現象是與鈣質土本身含高量可溶性的鈣[11]分不開的。

植物的鉀含量在鹽漬土和鈣質土上的都是相當高的，如果與酸性土植物相比，要高出數倍至十倍；這是與鈣質土和鹽漬土本身含有較高量可溶性鉀質相關。

根據水提取液的測定，鹽漬土植物的氯含量一般是很高的；這些鹽漬土植物含高量氯的現象，顯然與土壤中氯化物的存在有着密切的關係。

五、結 論

根據酸性土、鈣質土和鹽漬土植物的化學分析結果，初步得出以下結論：

1. 植物的礦物成分（即灰分）以鹽漬土植物的含量爲最高，鈣質土植物次之，酸性土植物最貧乏；從某種程度上看，也可以說鹽漬土植物爲高營養植物，鈣質土植物爲中營養植物，酸性土植物爲低營養植物[3]。因此，有些爲牲畜喜吃的鹽漬土植物如果作爲牧草，營養價值一定是很高的；鈣質土植物作爲牧草，它的營養價值也是相當的高，至於酸性土植物，如果利用作爲牧草，礦物養分就比較低。這一事實可以告訴我們：在酸性土壤上如果推廣牧草，不宜選擇酸性土指示植物，而應在改良土壤 pH 值、增加土壤中鹽基後，引種一些好鈣性植物收效較大。另一方面還可以告訴我們：鹽漬土的植物不僅由於含鹽性爲牲畜所必需，而且它們的營養價值高；所以鹽漬土荒地在一定條件下，如果利用作爲牧場將是一個正確的方向。

2. 植物由於分類系統上的不同（也就是進化上的不同），對於土壤礦物成分選擇性吸收力有着顯著的差異。藜科、菊科、禾本科植物雖然都生長在同一類型的鹽漬土上，但它們所含的礦物成分顯然不同；裏白科的鐵芒箕雖然採自全國不同的 36 處的酸性土上，但它們的礦物成分都具有共同的特徵。這個事實可以告訴我們：一種植物的化學成分在一定程度中正是表現着該種植物在歷史發育過程中所形成的新陳代謝類型的特徵，因而它們的化學成分就與分類系統有着一定聯系。所以在研究植物的分類系統或進化關係時，植物的化學成分分析的結果可作爲參考之一，甚至可能作爲新的研究方向之一。

分類系統不同的植物，由於它們的成分不同，它們對於土壤形成作用也就不同，在科夫達通訊院士所寫的"植物的礦物成分與土壤形成"一文中說明[5]：礦物質的生物循環的歷史規定了現代植物的礦物成分。又說植物的生物學循環在成土過程中起着主導作用，他特別敍述了一些不同系統植物的礦物成分的特點，根據植物在一定條件下，由土壤中吸收和歸還給土壤的礦物質的收支情況來看土壤的肥力水平。這可以告訴我們不同科、屬、種植物的化學組成的研究，對於土壤發生學方面，也是重要的工作之一。

3. 本項工作所分析的植物標本，絕大部分是屬於草本植物和灌木。這些草本植物和灌木，生長在酸性土上的大部是採自長江以南的黃壤和紅壤地區；鈣質土植物除了一部分採自南方的石灰岩地帶外，大部分採自我國草原和森林草原區的碳酸褐色土和栗鈣土型的土壤上；而鹽漬土植物主要的是採自該兩區的鹽漬土上，另一部分是採自荒漠地區。從這三種生態類型植物的灰分、鈉、鈣、硫、磷、氮等成分上的差異，可以顯著的看出：這些成分由濕潤的南方常綠闊葉林地區往北方乾草原地區，尤其在荒漠草原區的鹽漬土上作規律性的增加。植物灰分含量在南方濕潤地區，約爲 2—5—10%，乾草原區爲 10—15—20%。在乾草原和荒漠區的鹽漬土上，植物成分的特點以鈉、氯、硫佔優勢，基本成分是氯化鈉和硫酸鈉。在乾草原地帶的植物成分含鈉、氮、磷較南方黃壤、紅壤上的爲高。因此從這三種生態類型植物的化學成分的不同，也概略地反應着不同氣候條件下土壤成分的不同。

參 考 文 獻

[1] 侯學煜，1954. 中國境內酸性土、鈣質土和鹽漬土的指示植物。中國科學院出版。

[2] 劉　錚，1956. 火焰光度計與火焰光度量法。土壤通訊 15 期，9—31。

[3] Шенников, А. М., 1953. 植物生態學（王汶譯）。

[4] Мокосимов, Н. А., 1948. 植物生理學簡明教程（劉富林等譯）。

[5] 柯夫達，B. A., 1956. 植物的礦物成分與土壤形成。土壤學譯報 1956 年 3 期。

[6] Allyn, W. P., 1929. The relation of lime to the absorption of iron by plants. *Ind. Acad. Sci. Proc.*, **43**: 405—409.

[7] Bender, W. H. and Eisenmenger, W. S., 1941. Intake of certain elements by calciphilic and calciphobic plants grown on soils differing in pH. *Soil Sci.*, **52**: 297—307.

[8] Blair, A. W. and Prince, A. L., 1936. Manganese in New Jersey soils. *Soil Sci.*, **42**: 327—333.

[9] Bonnet, J. A., 1947. Tracing the calcium, phosphorus, and iron from a limed and unlimed lateritic soil to the grass and to the animal blood. *Soil Sci. Amer. Proc.* (1946), **11**: 295—297.

[10] Bortner, C. E., 1935. Toxicity of manganese to Turkish tobacco in acid Kentucky soils. *Soil Sci.*, **39**: 15—24.

[11] Cooper, H. P. ET AL., 1948. Properties that influence availability of calcium in the soil to plants. *Soil Sci.*, **65**: 75—96.

[12] Dion, H. G. and Mann, J. G., 1946. Three valent manganese in soils. *Jour. Agr. Soc.*, **36**: 239—245.

[13] Fiske, C. H. and Subbarow, Y., 1925. The colorimetric determination of phosphorus. *Jour. Biol. Chem.*, **66**: 375—400.

[14] Fried, M. and Peech, M., 1946. The comparative effects of lime and gypsum upon plants grown on acid soils. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, **38**: 614—623.

[15] Fujimoto, C. K. and Sherman, G. D., 1948. Behavior of manganese in the soil and the manganese cycle. *Soil Sci.*, **66**: 131—146.

[16] Gainey, P. L., 1918. Soil reaction and the growth of Azotobacter. *Jour. Agr. Res.*, **14**: 265—271.

[17] Gilbert B. E. and Pember F. R., 1931. Further evidence concerning the toxic action of aluminum in connection with plant growth. *Soil Sci.*, **31**: 267—273.

[18] Gile, P, L. and Agegon, C. N., 1914. The effect of strongly calcareous soils on the growth and ash composition of certain plants. P. R. Agr. Exp. Sta. Bul. 16.

[19] Goodall, D. W. and Gregory, F. G., 1947. Chemical composition of plants as index of their nutritional status, Tech. Com. No. 17 Imperial Bur. of Hort. and Plantation Crops.

[20] Hale, J. B. and Heintze, S. G., 1946. Manganese toxicity effecting crops on acid soils. *Nature*, **157**: 554.

[21] Harston, C. B. and Albrechit, W. A., 1942. Plant nutrition and hydrogen ion. lv. Soil acidity for improved nutrient delivery and nitrogen fixation. Proc. S.S.S.A. Vol. **7**: 247—257.

[22] Hartwell B. L. and Pember, F. R., 1918. The presence of alumimum as a reason for the difference in the effect of so-called acid soil on barley and rye. *Soil Sci.*, **6**: 254—281.

[23] Heck, A. F., 1934. Phosphate fixation and penetration in soil. *Soil. Sci.*, **37**: 343—357.

[24] Heintze, S. G., 1946. Manganese deficiency in peas and other crops in relation to availability of soil manganese. *Jour. Agr. Sci.*, **36**: 227—238.

[25] Hoffer, G. N. and Trost, J. E., 1923. The accumulation of iron and aluminum compounds in corn plants and its probable relation to root rot. *Jour. Amer. Sci. Agron.*, **13**: 323—330.

[26] Hou, H. Y. and Merkle, F. G., 1950. Chemical composition of certain calcifugous and calcicolous plants. *Soil Sci.*, **69**: 471—486.

[27] Hou, H. Y., 1950. The chemical composition of certain ferns and fern allies of central Pennsylvania. *Amer. Fern Jour.*, **42**: 233—240.

[28] Hou, H. Y., 1949. The aluminum, iron, manganese and phosphorus content of certain calcifugous and calcicolous plants. Submitted in partial fulfillment for the degree of Doctor of Philosophy.

[29] Hutchinson, G. E. and Wollack, A., 1943. Biological accumulation of aluminum. *Trans. of conn. Acad. of arts and sci.*, **35**: 73—128.

[30] Hutchinson, G. E., 1943. The biogeochemistry of aluminum and certain related elements. *The Quarterly Review of Biology*, **18**: 1—29, 128—153, 242—262, 331—363.

[31] Johnson, M. O., 1924. Manganese chlorosis of pineapples, its cause and control. Hawaii Agr. Sta. Bul. 52.

[32] Kenneth, C. Beeson, 1941. The mineral composition of crops with particular reference to the soils in which they were grown. Washington D. C.

[33] Mann, H. B., 1930. Availability of manganese and iron as effected by application of calcium and magnesium carbonates to the soil. *Soil Sci.*, **30**: 117—133.

[34] Peech, M. and English, L., 1944. Rapid microchemical soil tests. *Soil Sci.*, **57**:

167—195.

[35] Piper, C. S., 1947. Soil and plant analysis. Adelaide, Australia.

[36] Robinson, W. O. and Edgington, G., 1945. Minor elements in plants, and some accumulator plants., *Soil Sci.* **60**: 15—28.

[37] Saywell, L. G. and Cunningham, B. B., 1937. Determination of iron colorimetrically by the O-phenanthroline method. *Indus. and Engin. Chem., Analyt. Ed.*, **9**: 67—69.

[38] Small, J., 1946. pH and plants. D. Van Nostrand Co., New York.

[39] Tacks, G. V. and Scherbatoff, H., 1940. The minor elements of soil. Tech. Com. No. 39. Imp. Bur. of Soil Sci.

[40] Toth, S. J. *et al.*, 1948. Rapid quantitative determination of eight mineral elements in plant tissue by a systematic procedure involving use of a flamephotometer. *Soil Sci.*, **66**: 459—466.

[41] Truog, E., 1947. Soil reaction influence on availability to plants of nutrients. *Soil Sci. Amer. Soc. Proc.* (1946), **11**: 305—308.

[42] Warming, E., 1925. Oecology of plants. Oxford University Press, London.

[43] Willard, H. H. and Greathouse, L. H., 1917. The colorimetric determination of manganese by oxidation with periodate. *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **39**: 2366—2377.

[44] Willis, L. G., 1923. The effect of liming soils on the availability of manganese and iron. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, **24**: 716—726.

[45] Winter, O. B., Thrun, W. E. and Bird, O. D., 1923. The determination of aluminum in plants. 1. A study of the use of aurintricarboxylic and for the colorimetric determination of aluminum. *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **51**: 2721—2731.

THE CHEMICAL COMPOSITION OF CERTAIN OXYLOPHYTES, CALCIPHYTES, AND HALOPHYTES

(ABSTRACT)

LIN HOU-HSUAN, CHANG HWEI-LIN AND HOU HSIOH-YU

(Institute of Botany, Academia Sinica)

Chemical composition of plants, including 31 species of oxylophytes, 31 species of calciphytes, and 43 species of halophytes, growing on various parts of China, have been examined. Only leaves or pinnas of the plants were collected. Determinations were made to the ash, nitrogen, sulfur, phosphorus, aluminum, iron, potassium, sodium and calcium contents of the plants. In addition, the water soluble $SO_4^{=}$, Cl^-, HCO_3^- of certain halophytes were also determined.

It appears that the chemical composition of plants of the same ecological type is closely related to their taxonomic features. However, it shows significantly that the plants growing on the same soil type possessed more or less common chemical characteristics (Table 5).

Oxylophytes were generally low in ash, N, S, P, Ca, Na, K and Fe contents, but comparatively high in Mn content. Their aluminum content was notably higher than that of the other two types. Many oxylophytes were biological accumulators of aluminum.

The ash, N, P, K, and Ca contents in calciphytes were much higher than those in oxylophytes. In general, the S, Na and Fe contents of most calciphytes were not distinctly different from those of oxylophytes. However, calciphytes were very low in aluminum and manganese. They were characterized by the high content of Ca. In some calciphytes high content of N and S were also found.

Halophytes were found to have much higher contents of ash, N, S, Na, Cl than those of oxylophytes and calciphytes. Some halophytes accumulated large amount of N and S. Their Ca content was slightly lower than that of calciphytes. The Fe, K and Mn contents of most halophytes did not differ significantly from those of calciphytes, although the Al content in general was slightly higher in halophytes than in calciphytes.

The chemical composition of the three types of plant are correlated respectively to the pH of the soil on which they grow. A tentative suggestion as to why different plants occur on different soils is made as follows:

Obviously, the manganese content of plants is rather definitely correlated with soil pH. The amount of manganese is in general about five to ten times or more as great in oxylophytes as in halophytes and calciphytes. Possibly, most oxylophytes require or tolerate large amounts of manganese than do the calciphytes and halophytes. The distribution of such oxylophytes, confined to acidic soils, may be related to the manganese supply that is always available in such soil. On the other hand, the reason why the calciphytes and halophytes cannot thrive on strongly acid soils may well be that the relatively high soluble manganese may be toxic to these plants.

Certain aluminum-accumulating oxylophytes may have heavy requirements for aluminum. Hence, the distribution of such oxylophytes is likely to be associated with aluminum supply of the acidic soils in which the element is highly available.

The results, in general, show a fairly significant correlation between the phosphorus content of plants and the pH of the soil. In most instances, the percentage of phosphorus in halophytes and calciphytes was greater than that in oxylophytes. The phosphorus content of plants is probably associated with the development of the phosphate-buffer system. Phosphates have low buffer capacity in the acid range and a high capacity in the circumneutral and alkaline range. This may constitute a fundamental difference between the halophytes, calciphytes and oxylophytes; the former two can survive in circumneutral and alkaline soils, whereas the later cannot. The low phosphate-buffer capacity in oxylophytes makes them unable to tolerate neutral or alkaline soil conditions.

It is generally considered that an increased pH of the soil decreases the solubility of the iron in the soil to the point of deficiency. However, according to Table 1, 2, and 3 there apparently is no certainty that the low pH of the soil increases the availability of iron to the plant. On the contrary, the halophytes and oxylophytes have a higher intake of iron. This result can be explained by the fact that ferrous iron is soluble under more alkaline conditions than is ferric iron, although the availability of iron of plants is a complex problem.

The three types of plant show a close relationship between calcium intake and soil pH. The high-calcium content of calciphytes is distinctly related to the availability of calcium in the soil. From the low-calcium content of oxylophytes, it appears that it is difficult for them to obtain calcium from strongly acid soils.

The chemical characteristics of both halophytes and calciphytes are in similarity with larger contents of nitrogen, phosphorus, iron, potassium and

calcium, and with smaller amounts of manganese and aluminum as compared with those of oxylophytes. However, the percentage of ash, chlorine, sulfur and sodium in general is significantly highly in halophytes than in calciphytes. This may show the fact that many halophytes may have heavy requirements for minerals and salts from the soil. Hence, the natural distribution of those plants is likely to be associated with solonchaks in which the minerals and salts (sulfates and chlorides) are highly available.