

台灣結縷草之介紹

翁仁憲

國立中興大學 植物系

摘 要

結縷草屬(*Zoysia* spp.)為多年生 C₄ 型禾本科植物，自然分布於台灣多種不同自然環境之海岸地帶，在澎湖則成為優勢草種。具有耐鹽、耐旱、耐濕、耐瘠、耐踏、耐病等特性，可減少水分之消耗及農藥、肥料之使用，不但節省管理費用，而且有利於環保，是優良的草坪草種。原產於台灣西海岸者，其小穗長度以大於 4mm 者(中華結縷草)居多，而原產於東海岸北段及北海岸東段者，其小穗多則以小於 3 mm 者(馬尼拉芝)居多，至於原產於澎湖者，其小穗長度則大多在 3~4 mm 之間。無論是中華結縷草或馬尼拉芝，其種內之歧異度均很大，有極高之遺傳變異性，而且原產於各地之結縷草，經移植台中後，其形態及生長習性也保留了對原產地之環境及氣候之適應性，故能提供豐富的遺傳資源，供草坪及綠化植物之選育工作利用，可從中選育優良品系，以取代具有高污染性之外來草種，或用作少雨地區及鹽分地帶，包括漁塭、沿海工業區之綠化、美化及防風定沙、水土保持之用，目前對於耐鹽及耐低溫品系之選育已有初步成果。

關鍵字：結縷草、族群、遺傳變異、環境適應性。

Zoysia Population in Taiwan

J. H. Weng

Department of Botany, National Chung-Hsing University

Abstract

Zoysia spp., a perennial C₄ grass with longer stolon and shorter culm, is a very good turf grass. It distributes littoral regions, and can adapt to bad environments such as drought, salinity, or oxygen deficient soils. It showed great genetic variation could be used as genetic resource for breeding of turf grass.

Key words: *Zoysia*, population, morphology, genetic variation, environmental adaptation.

前 言

隨著社會之進步，環境之綠化益形重要，綠化植物之中，草坪草種佔了重要角色，草坪不但可以綠化、美化環境，尚有助於水土保持及防風定沙。結縷草屬(*Zoysia* spp.)植物分佈於中國、日本、熱帶亞洲到紐西蘭。大都具有發達匍匐狀地下莖與矮小的地上莖，可形成緻密之草坪，眾所周知的韓國草即為本屬植物(高麗芝及馬尼拉芝)。由於結縷草具有耐鹽、耐旱、耐濕、耐瘠、耐踏、耐病等特性，可減少水分之消耗及農藥、肥料之使用，不但節省管理費用，而且有利於環保，是優良的草坪草種。

據日本資料，在節理發達，透水性良好之熔岩台地，或過度放牧之自然草地均可形成日本芝(*Z. japonica*)佔優勢之草原。在台灣，結縷草屬植物則自然分布於多種不同自然環境之海岸地帶及澎湖等。據臺灣植物誌之記載，台灣有馬尼拉芝(*Z. matrella*)、中華結縷草(*Z. sinica*)、高麗芝(*Z. tenuifolia*)等三種，另有栽培逸出之日本芝一種。

本省目前大量開闢沿海工業區，其綠化需要適合當地多鹽環境的草種。另一方面，近來高爾夫球場大量使用肥料及農藥，造成環境之污染，成為大眾矚目之問題，若能選用耐瘠、耐病蟲害之本地草種或可減少肥料及農藥之使用。此外，最近大陸已大量使用山東原生的結縷草當作運動草坪，在日本亦以日本芝取代外來草種，是故本土性草種-結縷草之研究有其經濟上及社會上之意義。唯有關本地草種之研究尚處於起步階段。基於此點，自 1993 年起，作者將生長於台灣各地區結縷草屬植物之遺傳變異，及其對環境之適應性作有系統的研究，茲將結果報告於後。

結縷草屬植物在台灣之分佈

在 1993 年春及 1994 夏於全台，包括澎湖及蘭嶼進行結縷草屬植物之分佈調查，調查地點如圖一所示，發現結縷草屬植物幾乎遍布台灣海岸。在台灣本島，其分佈大致係從高潮線開始，海岸平台、沙丘及海崖等植生稀疏之處均容易發現其蹤跡，離海岸較遠處，因植生茂密，結縷草不易生存。但有幾處較特殊，其一就是在大甲溪口之潮間帶發現廣大的結縷草族群，高潮時可被海水淹沒，另在台西之鹽分地帶則可分佈至內陸之路邊，此外，在鹽田地帶及林口火力發電廠附近亦有分佈。

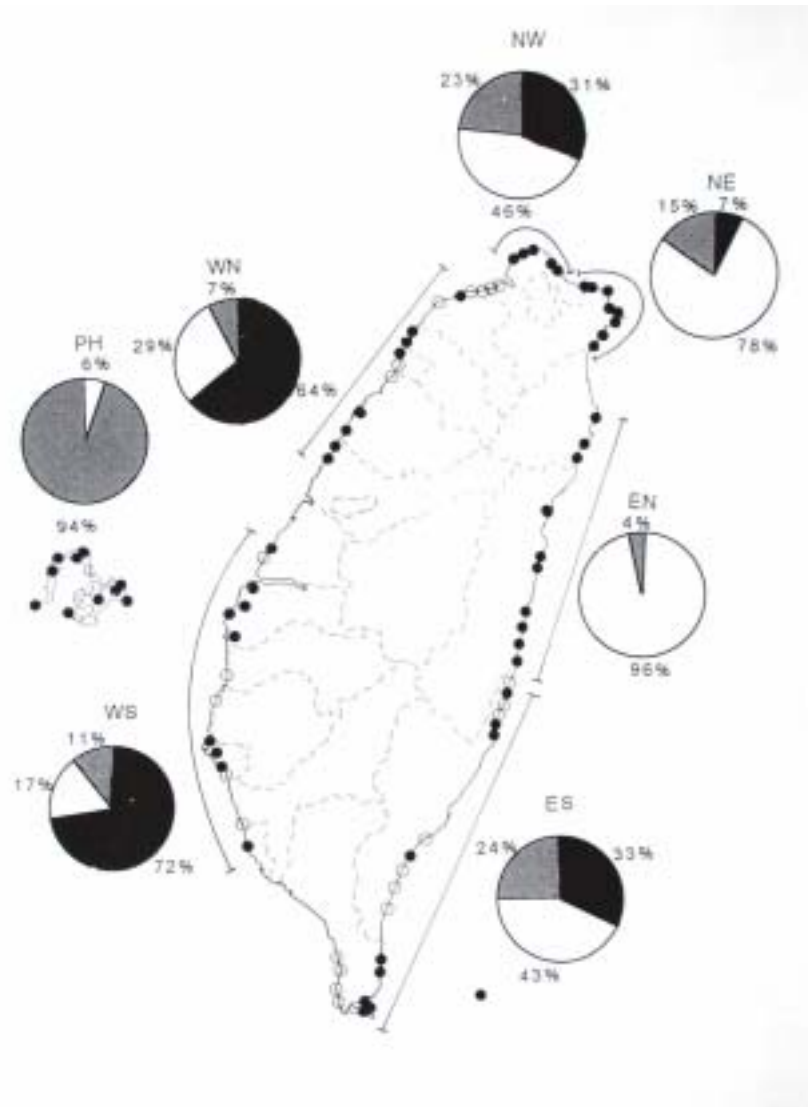
據臺灣植物誌之記載，臺灣有紀錄之結縷草屬植物共有 4 種，即馬尼拉芝、高麗芝、中華結縷草及結縷草(日本芝)，其中日本芝可能為栽培逸出種。在作者之採集過程中亦未在野外發現有日本芝存在。而高麗芝則多在人工草坪中發現，在野外只在蘭嶼採到一個樣品，故台灣原生之結縷草絕大多數為馬尼拉芝及中華結縷草兩種。

又據臺灣植物誌，中華結縷草之小穗(spikelet)較長，約 4mm，時有超過 5mm 者，而馬尼拉芝之小穗較短，約在 4mm 以下。調查各地原產結縷草之小穗長度時發現，原產於台灣本島西海岸者，其小穗長度以大於 4mm 者居多(約佔 60~70%)，而原產於東海岸北段及北海岸東段者，其小穗大多小於 3mm(約佔 78~96%)，而東海岸南段及北海岸西段則為過渡地帶，小於 3mm 及大於 4mm 者各約佔 45% 及 30%，而小穗長度在 3~4mm 者，在東海岸南段及西北海岸等過渡地帶之頻度較高，約佔 24%，其他族群則甚低。至於原產於澎湖者，其小穗長度則大多在 3~4mm 之間(佔 94%)(圖一)。由以上結果可知，台灣之中華結縷草大多分佈於西海岸，馬尼拉芝則大多分佈於東海岸和澎湖。

在澎湖四個主島(馬公、中屯、白沙、西嶼)之探查中則發現，馬尼拉芝及狗牙根(*Cynodon dactylon*)是島上的優勢禾本科草種，常形成大群落，而此兩草種之生育地各有不同。其中，狗牙根多分布在人煙稠密或潮濕之處，道路旁尤為常見。馬尼拉芝在澎湖幾乎遍及全島，從鹽霧盛行之海岸至馬公本島中央均有分佈，唯在人煙稠密之處較少，在海邊或鄉村廢耕地上則成為優勢草種。在耕地廢耕後，首先是被加拿大蓬(*Erigeron cana-densis*)或狗牙根、牛筋草及狗尾草等盤據，但原來在田地四周之馬尼拉芝則逐漸向內擴張，將加拿大蓬等包圍，最後形成馬尼拉芝佔優勢之草原。

造成馬尼拉芝與狗牙根分佈差異之原因與其耐鹽及耐旱性有關，作者未發表之資料顯示，百慕達草(*tifway 419*)在含有 1.5%NaCl 之水耕液(海水之含量約為 3%)中二週即告死亡，採於澎湖之狗牙根則在含有 3%NaCl 之水耕液中死亡，而澎湖原生之馬尼拉芝則可耐至 6%以上之 NaCl。若水耕液含有 6%之 NaCl，則其水分潛勢將低至 -5 MPa，而一般中生植物之永久凋萎點約為 -1.5 MPa，表示馬尼拉芝可在極度缺水之處存活，可見馬尼拉芝同時具有耐

鹽及耐旱之特性，可在環境惡劣之處形成優勢之草原。

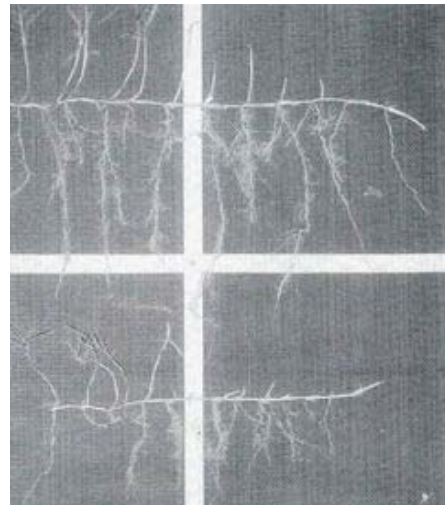


圖一、結縷草屬植物之調查地點及其小穗長度。●及○：分別表示有及沒有發現結縷草之地點；△，△及▲：分別表示小穗長度在 < 3mm, 3~4mm 及 > 4mm 品系之比率。

Fig. 1. Sampling regions and the frequency of spikelet length of 7 regions (populations) of *Zoysia* spp. in Taiwan. ●: sampling site; ○: without discovery in the collection; △, △, ▲: spikelet length 2~3mm, 3~4mm and > 4mm, respectively.



圖二、結縷草之雌蕊柱頭先伸出穎外
(左)，4~7 日雄蕊才開放。
Fig. 2. Flowering of *Zoysia* spp.



圖四、不同結縷草品系之根系比較。
Fig. 4. The morphological variation
of *Zoysia* spp.



圖三、不同結縷草品系外形之差異。
Fig. 3. The morphological variation of *Zoysia* spp.

授粉方式

據作者觀察結果，結縷草在同一穎花之中，其雌蕊柱頭先伸出穎外，4~7 日後雄蕊才伸出穎外，並放出花粉，此時雌蕊已乾枯(圖二)，顯然無授粉能力，故同一穎花之中不可能自花授粉。作者將不同種之結縷草同置一處，任其自由授粉，再檢定其實生苗之同功酶譜時發現，在日本芝-馬尼拉芝及馬尼拉芝-中華結縷草間均能天然雜交。

台灣結縷草屬植物族群之型態及遺傳變異

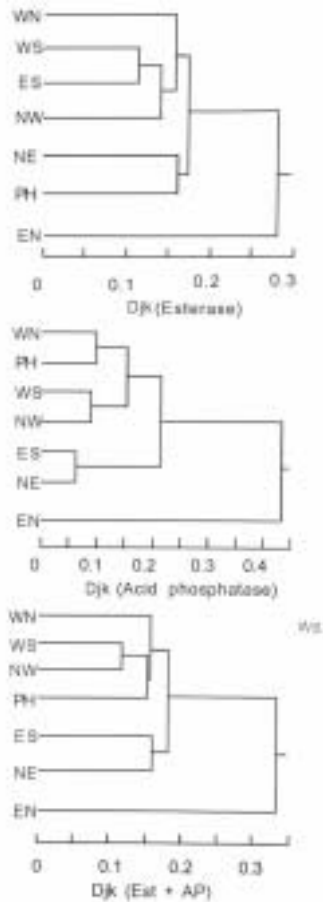
在 1993 年春及 1994 夏於全台 54 個地點採集 147 個樣品。樣品攜回台中，種植於直徑 14cm 之盆中，在移植 3~4 個月後進行節間長、葉片長度、寬度及傾斜角之測定。結果發現不同結縷草樣本間其外型具有很大的差異(圖三)，節間長最短者為 0.9cm，最長者為 4.2cm，葉長最短者為 1.8cm，最長者為 7.5cm，葉片著生角度最小者為 9°，最大者為 82°。葉寬除採於蘭嶼之高麗芝為 1.4mm 外，其餘之變異幅度較小，各樣本之葉寬均在 2~3mm 間。此等外型與其生育地之海岸地形有關連，及原產於岩岸者，具有較短之節間，葉片短而張開等平鋪地面之特性。反之，原產於砂岸地區者，則具有較長的節間，葉片長而直立等不容易被流沙埋沒之特性。又如圖四所示，不同結縷草品系間，其根系亦有很大之差異。

以上結果顯示，產於不同地區之結縷草，經移植於相同之環境下，其形態仍具有很高之變異性，而且此形態變異仍表現出對其原產地之適應性，可見此形態變異主係源於基因型之不同所致。

在同功酶方面，迄至目前為止，在結縷草共發現 26 條酯酶帶，唯其中有三條較難確認。此外尚發現 10 條酸性磷酸酶帶。在單一樣品中，酯酶帶最多者共有 14 條，最少者只有 6 條，酸性磷酸酶帶最多者有 6 條，最少者只有 2 條。酶帶出現之頻率隨草種及原產地而異，既使在同一地採集者其酶譜亦不盡相同。表一同時列出各族群取樣數，出現同功酶譜類型數及酶譜類型之歧異度等。發現無論酯酶或酸性磷酸酶譜，除東海岸北段族群外，其他族群歧異度均很大。由於同功酶譜直接受基因型之控制，利用同功酶譜之差異，以尤克利氏距離(Euclidean distance)公式算出各族群距離，結果發現，無論基於酯酶或酸性磷酸酶同功酶譜，均顯示東海岸北段族群與其他族群之距離最遠，自成一群叢，而西海岸及北海岸西段族群之距離則甚近另成一群叢，而兩群叢中間之族群則為過渡地帶(圖五)。

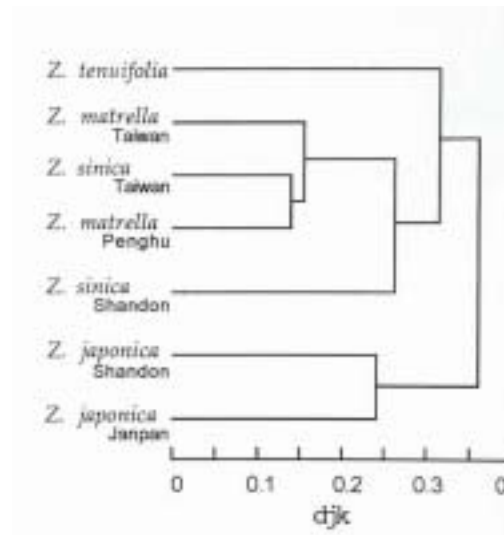
翁等再檢定了原產於日本及山東之日本芝、產於山東之中華結縷草、產於琉球、蘭嶼及採於人工草坪之高麗芝之酯酶同功酶譜，並比較其與台灣族

群之平均族群距離。發現酶帶數目以原產於台灣者最多，高麗芝次之，山東原產之中華結縷草又次之，而以日本芝最少。以尤克利氏公式算出各族群之平均距離，作成之聚類圖如圖六所示，由圖中可看出，本研究所供試之結縷草可分成三大群集，其中，中華結縷草和馬尼拉芝合成一群集，高麗芝與日本芝則各成一群集。



圖五、利用酶酯及酸性磷酸酶同功酶譜之差異，以尤克利氏距離公式算出台灣各結縷草族群距離之聚類圖。地區代號見圖一。

Fig. 5. The dendrogram of 7 populations of *Zoysia* spp. in Taiwan based on the Euclidean distance of esterase and acid phosphatase zymogram. The designation of each collected region (population) see Fig 1.

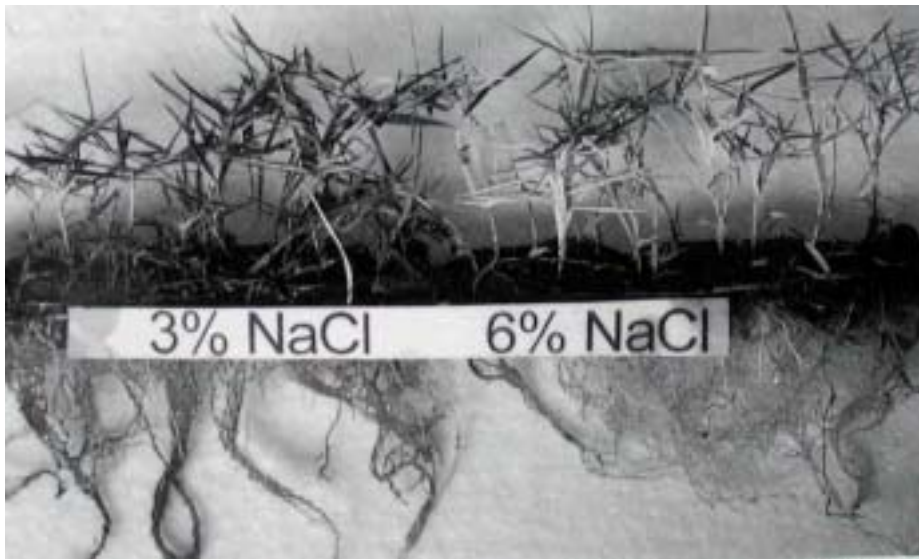


圖六、利用酶酯同功酶譜之差異，以尤克利氏距離公式算出原產各地結縷草族群距離之聚類圖。

Fig. 6. The dendrogram of *Zoysia* spp. based on the Euclidean distance of esterase zymogram.

耐鹽、耐旱及耐淹性

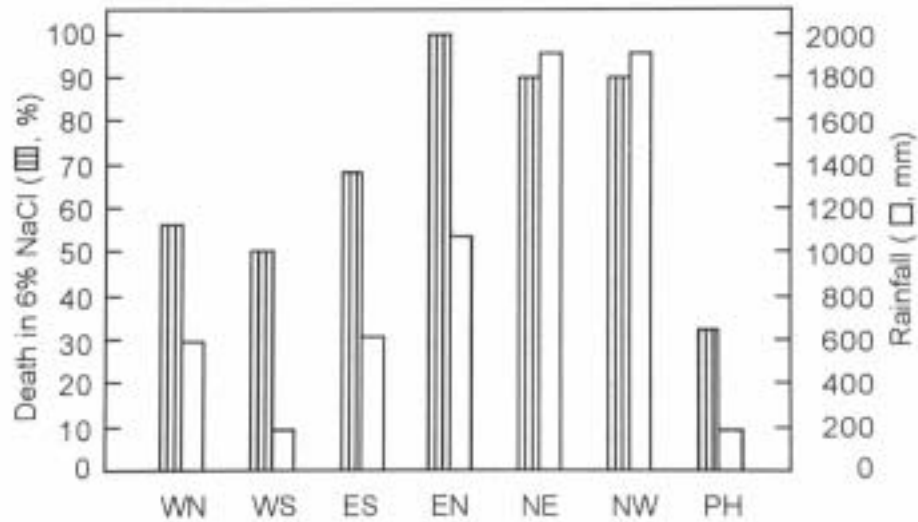
前已述及，結縷草具有很高之耐鹽及耐旱性。在耐鹽性方面，據作者正在進行之研究結果顯示，不同結縷草品系間，其耐鹽性之差異很大，較強之品系，在含有 6% 食鹽之水耕液(相當於二倍海水之鹽度)中 3 週尚不至於死亡，較弱之品系，則可耐半倍至等倍海水之鹽濃度(圖七)。



圖七、結縷草品系之耐鹽性(NaCl 處理後三週)

Fig. 7. Clonal difference of *Zoysia* spp. in NaCl tolerance.

圖八顯示，結縷草之耐鹽程度與其原產地之降雨量有密切之關係。東海岸北段在 10 月至翌年 3 月之降雨量較多，所產之結縷草較不耐鹽，供試品系之耐鹽性均不超過二倍海水之鹽度，澎湖則反之，供試品系之 2/3 均能耐至二倍海水之鹽度以上，而西海岸及東海岸南段則居中。北海岸之降雨量較東海岸北段為多，所產之結縷草卻較耐鹽，其原因可能為冬季北海岸東北季風強盛，且風向與海岸垂直，易受鹽風之吹襲所致。另從同功酶譜之分析中發現，無論基於酯酶或酸性磷酸酶，均顯示東海岸北段族群與其他族群之距離最遠，自成一群叢(圖四)。而且其酶譜類型之歧異度遠較其他族群為小(表一)。表示其對該地可能有特殊之適應性。根據地質資料，從蘇澳到花蓮之海岸為石灰岩地帶。目前已知，鈣能增進植物對鹽之耐性，故原產於東海岸北段之族群也可能因為有鈣之保護，雖其耐鹽性較弱亦能於該地生存。



圖八、不同地區 10-3 月之降雨量及其結縷草族群耐鹽性(在 6%NaCl 水耕液 3 週死亡品系之百分率)之關係，地區代號見圖一。

Fig. 8. The NaCl tolerance level* of *Zoysia* clones and the rainfall (Oct.~Mar.) of their collected regions.

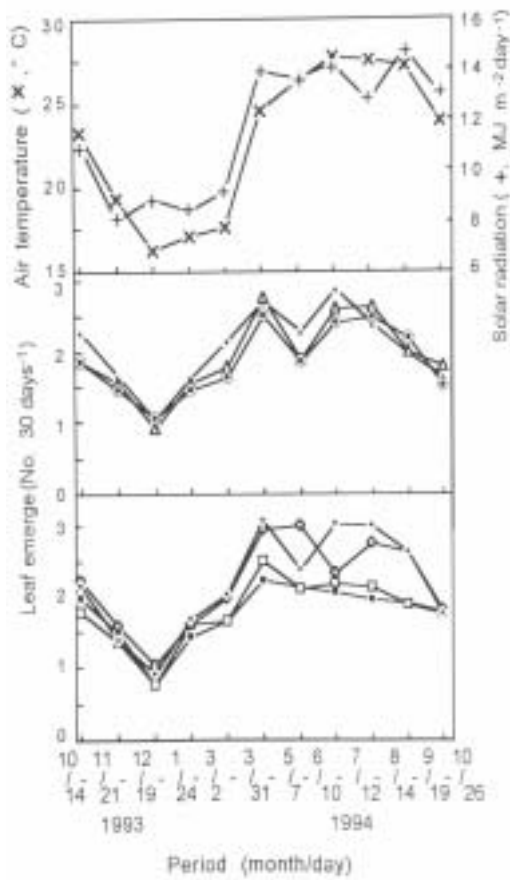
* The death % *Zoysia* lines collected from different regions cultured in nutrient solution 3 weeks contained 6% NaCl. The designation of each collected region (population) see Fig. 1.

表一、原產台灣各地結縷草族酶譜類型之歧異度

Table 1. Sample size, pattern of zymogram in esterase and acid phosphatase isozyme, and its diversity present in 7 populations of *Zoysia* app. in Taiwan

Location	WN	WS	ES	EN	NE	NW	PH
Sample size	18	21	31	28	30	14	40
-----Esterase-----							
Zymogram patter	13	17	11	6	17	10	33
Diversity	2.40	2.76	2.30	1.14	2.70	2.14	3.41
-----Acid phosphatase-----							
Zymogram patter	5	4	5	2	6	3	4
Diversity	1.38	0.94	1.49	0.52	1.63	0.51	0.99

地區代號見圖一。 The designation of each collected region (population) see Fig. 1.

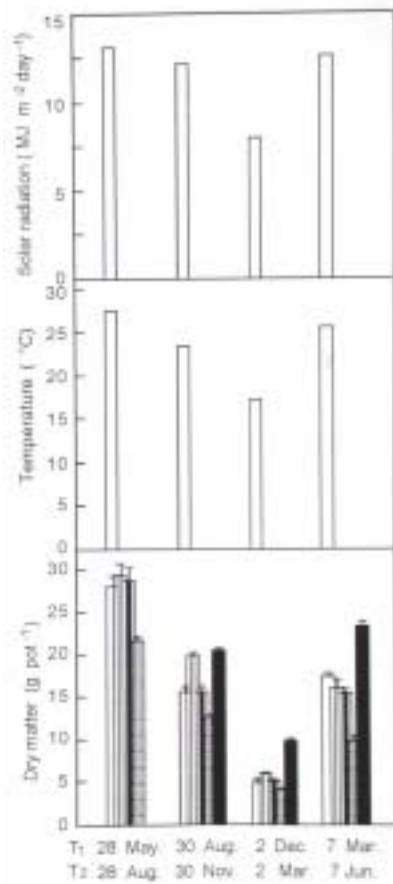


圖九、各時期之平均氣溫、日射量及結縷草之新葉展開速率。

■ □：西海岸原產；◆ ◇：東海岸原產；
▲ △：北海岸原產；⊙：澎湖原產。

Fig. 9. The average of air temperature, solar radiation and leaf emerge rates of *Zoysia* populations Taiwan grown in different seasons.

■ and □：the population of western coast.
◆ and ◇：the population of eastern coast.
▲ and △：the population of northern coast.
⊙：the population of Penghu.



圖十、各時期之平均氣溫、日射量及結縷草之乾物質累積量。

□ □：台灣原產品系；□：斗六草；□：台北草；■：選育之品系。T1：移植日；T2：取樣日。

Fig. 10. The average of air temperature, solar radiation and dry matter of 5 clones of *Zoysia* spp. grown in different seasons.

□ □：Collected from the coast of Taiwan
□ □：Collected from artificial turf
■：Selected from seedling.

T1 and T2: Date of transplanting and harvest, respectively;

由於鹽分除了危害植物之外，也能降低土壤之水分潛勢，使植物吸水困難，所以具耐鹽性者必然同時具有耐旱性。作者之研究已知，有些結縷草品系能耐6%以上之NaCl，若水耕液中含有6%之NaCl，其水分潛勢可低至約-5 MPa(負50氣壓)，而普通植物在土壤水分潛勢低至-1.5 MPa以下即吸不到水而乾死，可見結縷草之耐旱性極強。不但如此，結縷草尚可利用地下部度過乾季，作者曾有一盆欲廢棄之結縷草，停止灌水後，地上部乾枯，半年後遇上雨季，結果重新萌芽。

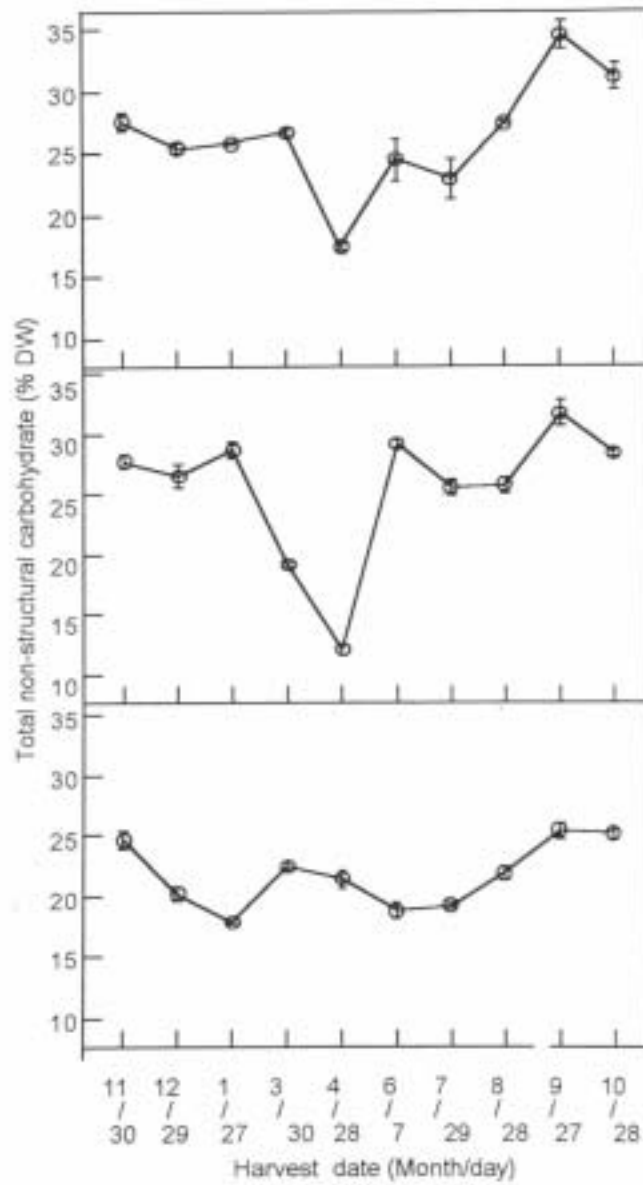
有關耐淹性方面，前已述及，在大甲溪口之潮間帶發現有結縷草族群，高潮時可被海水淹沒，可見具有耐淹性，至於品系間之差異則正在探討之中。

溫度及季節適應性

從1993年10月起，約每隔一個月，調查莖頂之新葉展開速率，每個樣本調查10莖，持續一年。結果連同日射量及氣溫等氣象資料示於圖九。從圖中可看出，結縷草之葉片展開速率在高溫與高日射之月份(4~8月)較高，各族群之平均值約為每個月展開2~3片葉，其中以東海岸族群(馬尼拉芝)較高，西海岸族群(中華結縷草)較低。入秋後，隨著氣溫及日射之降低，其葉片展開速率亦隨之而降，在最低溫之月份(12~1月)，每個月約只展開一片葉(約為高溫月份之40%)，而且由圖中可約略看出，氣溫之影響比日射來的密切，從單相關及複迴歸分析中亦證實了此點。

另選擇5個結縷草品系，包括兩個台灣原產品系，一個從台灣原產品系實生苗選拔出來之品系，加上目前業者使用最廣之台北草、斗六草等。在不同季節將匍匐莖切取四節育苗，然後植於直徑24cm鉢中，種植後三個月將盆土洗淨，測定其生物量。由圖十可看出，在高溫、高日射之夏季，其乾物質累積量最大，低溫、低日射之冬季則反之(約為夏季之20%)，唯乾物質累積量與氣溫間之關係較日射為密切。從圖十又可看出，目前業者使用最廣之台北草、斗六草(根據未發表之同功酶圖譜，極可能為自國外引進者)，其乾物質累積速率及莖葉擴張速率(未發表)並不比台灣原產品系為佳，反而是由台灣原產品系實生苗所選育出來之品系，在冬、春季具有很好的表現，可見結縷草之冬季生長勢尚有改善之空間。前已述及，台灣原生之結縷草具有很高之遺傳及型態之變異性，可加強從中搜尋耐低溫之遺傳因子，以改善結縷草之冬季生長勢。

至於結縷草在各季節，其地下部非構造型碳水化合物(TNC)含量之變化，從圖十一可看出，原產於北部海岸之品系，其地下部TNC含量在1~2



圖十一、各季節結縷草地下部非構造性碳水化合物(TCN)含量之變化。

上：日本原產；中：台灣北海岸原產；下：台灣南部海岸原產。

Fig. 11. Non-structural carbohydrates concentration. in stolon of *Zoysia* spp. clones in different seasons.

Up, mid and down: collected from Japan, northern and southern coast of Taiwan, respectively. I: SE ($P < 0.05$).

月份開始降低，在 5 月份開始回升，至 6 月份即回復至一般水準。比對圖九至圖十一可看出，原產於北部海岸之結縷草，其展葉速率回升之季節恰好與其地下部 TNC 含量下降之季節一致，可見此時動用了地下部之儲藏養分供其葉片生長，此點也說明了在冬季，結縷草之葉片展開受到抑制之程度較乾物質累積為何小之原因。華北及北日本原產之品系，其地下部 TNC 含量之季節變化亦與原產於台灣北部海岸之品系相近，唯其地下部 TNC 含量遲至 4 月份才開始降低，此乃因其有休眠性，較遲展葉所致。此外，原產於台灣南部海岸之品系，其地下部 TNC 含量之季節變化不若原產於北部海岸之品系明顯，而且 TNC 含量回升之月份提早，可能是因為南部冬春季氣溫較高，光合作用較旺盛，結縷草之展葉較不需動用地下部之儲藏養份所致。

以上結果也說明了原產於各地之結縷草，經移植於台中後，在不同季節之生長習性也保留了對原產地氣候之適應性。

結 語

高爾夫球場之農藥、肥料污染已成為環保之大問題，結縷草為本地草種，最適合本地之環境，而且具有耐旱、耐淹、耐鹽、耐瘠之特性，可減少水份之消耗及農藥、肥料之使用，不但節省管理費用，而且有利於環保，是優良的草坪草種。在日本已用當地之日本芝取代外來草種，而大陸也將山東原產之結縷草用作運動草坪(如北京亞運之足球場)。作者之研究結果發現，結縷草為異花授粉，種內之歧異度大，有極高之遺傳變異性，可提供豐富的遺傳資源，供草坪植物之選育工作利用。而且可以種間雜交，更增廣其基因重組之範圍，可以從中選育優良品系以取代具有高污染性之外來草種，以及用作少雨地區及鹽分地帶之綠化、美化及水土保持之用。同時作者之研究又發現，不同結縷草品系間，其酯酶同功酶譜雷同之機會很小，可用作品種(系)鑑定之用。

翁等年底舉行之行政院第 17 次科技顧問會議中，將強化農業生產抗逆境技術研發、海岸及沿海工業區之綠化列入其中。結縷草具有耐多種逆境及適合在海岸生長之特性，實有加強研究之必要。

引用文獻

1. 李敏 1993 草坪品種指南。北京農業大學出版社。62-77 頁。
2. 李鏐 1991 草坪草種及種植。中華民國雜草學會會刊，12：67-72。
3. 翁仁憲 1995a 澎湖原生優勢禾草之初探。畜產研究，28(2)：141-146。
4. 翁仁憲 1995b 不同季節之氣溫及日射對結縷草生育之影響。中華農業

- 氣象， 2：179-182.
5. 翁仁憲、廖天賜、陳奕君 1995 台灣結縷草屬植物之分布及遺傳變異。中華農學會報，新 44-54。
 6. 翁仁憲、廖天賜、陳奕君 1996 結縷草同功酶的研究。中國草地，1996：56-59.
 7. 簡碧梧、陳振盛、李鏐 1989 植生綠化草類之調查研究與繁殖。77 年度環境綠化試驗研究彙編。94-101 頁。
 8. 早川康夫 1989 日本 草地草原。芝草研究，18：15-22.
 9. 青木則明、縣和一、窪田文武 1990 原產地異乾物生產能力差異。日作九支報，57：47-51.
 10. Li, H., T. S. Liu, T. C. Huang, T. Koyama and C. E. DeVol. 1978. Flora of Taiwan. V. Epoch Publ. Co., Ltd., Taipei, Taiwan. pp.506-510.