

异株荨麻 (*Urtica dioica*) 生长及光合特性 对不同土壤水分含量的响应

董伊晨^{1,2}, 刘悦秋^{1,*}

(1. 北京农学院园林系, 北京 102206; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:异株荨麻是我国一种重要中药植物, 如何对其进行人工定向培植具有重要意义。以异株荨麻扦插苗为实验材料, 采用盆栽水分梯度法, 按土壤相对含水量 93.58%、80.74%、67.90%、55.06% 和 42.22% 分为对照组 CK, 实验处理组 T1, T2, T3 和 T4 五个处理组, 通过观测不同水分条件下, 异株荨麻生长量、生物量变化和光合特征变化, 试图探讨异株荨麻的水分适应性, 寻找出适合其生长的水分范围及对生物量分配的影响, 为北方地区种植栽培此类植物提供科学依据。结果发现: 随土壤水分含量的降低, 异株荨麻生长量和生物量积累呈先上升后下降趋势, 在土壤相对含水量 80.74% 生长达到高峰, 土壤相对含水量 67.90%~80.74% 为异株荨麻生长的适宜范围。净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、气孔限制值及叶绿体色素含量的变化趋势与之相近似。在上述水分范围以外其光合功能下降、同化作用减弱, 使异株荨麻生长衰退和干物质积累的减少。此外, 土壤水分直接调控光合产物在地上和地下的分配以及植株个体形状, 生产实践中, 通过控水可以达到控制株形和根冠比的作用, 用以诱导植株朝种植的预期方向生长, 以达到获取植株不同部位产量的实际应用需求。

关键词:异株荨麻; 土壤水分含量; 生长量; 光合作用

文章编号: 1000-0933(2008)10-4685-07 中图分类号: Q142, Q945, Q948 文献标识码: A

The response of *Urtica dioica* to different soil water on growth and photosynthesis

DONG Yi-Chen^{1,2}, LIU Yue-Qiu^{1,*}

1 Department of Landscape, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Centre for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4685 ~ 4691.

Abstract: As an important Chinese medical herbs, how to directive cultivation of *Urtica dioica* is an important issue both for scientists and farmers. In this paper, the same cuttings of this herbs grown at 5 soil water gradients, 93.58% (CK), 80.74% (T1), 67.90% (T2), 55.06% (T3) and 42.22% (T4) were select to determine the effects of soil water content on growth rate, biomass accumulation and allocation, photosynthetic-related parameters and our specific aim was to find the optimum range of soil water for the cultivation of this herb, and their effect on biomass allocation, which may form a base for the man-made cultivation in north China. Following conclusion was found. The growth and biomass increased with the decrease in soil water at begin, then decreased when the soil became too dry. Optimum soil water for the largest biomass and growth rate was 80.74% and a range of soil water from 67.90% to 80.74% could induce a linear increase in biomass accumulation. Similar to the changes in biomass, photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate and stomatal

基金项目: 国家林业局“948”资助项目 (0209218)

收稿日期: 2008-06-06; 修订日期: 2008-08-19

作者简介: 董伊晨 (1984 ~), 男, 回族, 主要从事园林植物和环境生态研究. E-mail: ycdong@rcees.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuyueqiu54@163.com

致谢: 感谢冯宗炜院士、冯兆忠博士和郑华博士对写作的建议和帮助。

Foundation item: The project was financially supported by National “948” Project of administration of forestry of China (No. 0209218)

Received date: 2008-06-06; **Accepted date:** 2008-08-19

Biography: DONG Yi-Chen, mainly engaged in landscape plant and environmental ecology. E-mail: ycdong@rcees.ac.cn

limitation showed a first-increase-then-decrease pattern, too and out of that range from 67.9% to 80.74%, photosynthetic capacity sharply decreased and accumulation of dry mass also reduced. Furthermore, soil water directly adjusted the allocation of photosynthesis between above and below ground via root/shoot ratio and plant shape of height and diameter. In the practice of cultivation, soil water control may be an effective measure for the inducement of one specific organ for a special utilization.

Key Words: *Urtica dioica*; soil water content; growth characteristic; photosynthesis

荨麻属(*Urtica*. L)植物约有 35 种,在我国有 16 种 6 亚种 1 变种,为 1 年生或多年生草本植物^[1]。一般生长分布在海拔 400~800m 的林中以林缘湿地、灌木间、碎石坡上及山野多荫地^[2]。荨麻属植物具有多种药用作用^[3],目前人们越来越多地认识到荨麻的应用价值,特别是有报道荨麻的凝血素对 HIV-1 和 HIV-2 具有较强的选择抑制作用^[4],引起人们热切的关注。但目前国内对于异株荨麻的种植条件和对水分的生长响应的研究报道尚不多见。因此,深入地认识和了解荨麻属植物生长规律、生长因子、对水分的响应过程是十分必要的。本文以异株荨麻(*Urtica dioica*)为研究对象,通过对其在不同土壤水分条件下生长量、生物量、光合作用相关指标等的测定,研究荨麻生长及光合作用特征。以了解水分对荨麻属植物生长的影响和水分条件响应的生长规律,得出适宜其生长、有利于诱导培养的水分条件,为种植、栽培荨麻属植物提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料与水分处理

(1)盆栽实验 实验材料为荨麻属的异株荨麻(*U. dioica*),取异株荨麻茎叶进行扦插,培养 3 个月后取长势相对一致的幼苗进行盆栽,每盆 1 株。置于温室中,控水处理 1 月后开始正式实验。

(2)水分处理 采取水分梯度法,利用 TDR 土壤水分测定仪(SM-2, Ecosystem Monitoring Industrial & Scientific Electronics, US),按试验设置的不同土壤水分体积比控制试验浇水量,测定时水分传感器头置于盆内土壤深度 10cm,每盆测定 3 个部位以保证浇水的均匀性;用称重法标定不同土壤水分体积比的相应实际土壤质量含水量(鲜重为基础),并计算出土壤相对含水量(田间持水量 60.59%)。水分处理按土壤相对含水量(下简称土壤含水量)分为 5 组:CK 对照组 93.58%、T1 组 80.74%、T2 组 67.90%、T3 组 55.06%、T4 组 42.22%。实验时每组取 8 盆,同一水平处理下浇水量相同,依 TDR 仪测定值酌情于当日 16:00 或 18:00 补充 1 次水量。

1.2 分析方法及数据处理

在幼苗生长过程中测定株高、地茎、叶面积(重量法,叶面积平均系数 0.613)等生长变化量,进行分析。生长末期用清水洗去根部土壤,分别测定地上部和地下部鲜重。而后置于牛皮纸袋中,放入烘箱中先用 105℃ 杀青 10~15min,再调低温度,保持(75±5)℃ 使样品烘干至恒重,称取各样品干物质质量。利用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用测定仪测定植物叶片净光合速率(P_n)蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)等生理生态指标,计算气孔限制值(L_s): $(1 - C_i/C_a) \times 100\%$,式中, C_i 胞间 CO_2 浓度, C_a 为外界大气 CO_2 浓度。并采用分光光度计法测定叶绿素含量。

实验取得数据全部采用 SPSS for Windows 11.5 版进行分析,实验图表采用 Microsoft Office Excel 2003,根据 SPSS 分析结果制作。

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分含量对异株荨麻生长量和生物量的影响

2.1.1 不同土壤水分含量对异株荨麻生长量的影响

图 1A~C 给出不同水分处理条件下异株荨麻的株高、地径和叶面积的生长量。结果表明,异株荨麻各水分处理组的生长量随土壤水分的不同而变化。土壤含水量 80.74% 的 T1 组的株高生长量最大,比土壤含水

量 93.58% 的 CK 组的生长量增加 14.4%, 异株荨麻株高生长量最高(图 1A); 随着土壤水分的降低, 土壤含水量 67.90% 的 T2 组、55.06% 的 T3 组和 42.22% 的 T4 组的株高比 CK 组分别减少 11.7%、14.4% 和 47.1%, T4 组株高生长量最低, 表明该组水分胁迫对异株荨麻株高生长影响最大, 株高生长受到明显抑制。

不同土壤水分对异株荨麻地径的生长有着不同的影响(图 1B)。T1 与 T2 组地径生长量相当, 比 CK 组地径生长量分别增加 116.8% 和 122.1%, T3 组地径生长量随水分含量的降低而逐渐减少, 但 T3 组仍比 CK 组地径生长量增加 60.3%, T4 组地径生长量最低, 比 CK 组地径生长量减少 11.1%。结果表明, 土壤含水量 67.90% 和 80.74% 是异株荨麻地径增粗的最适水平。

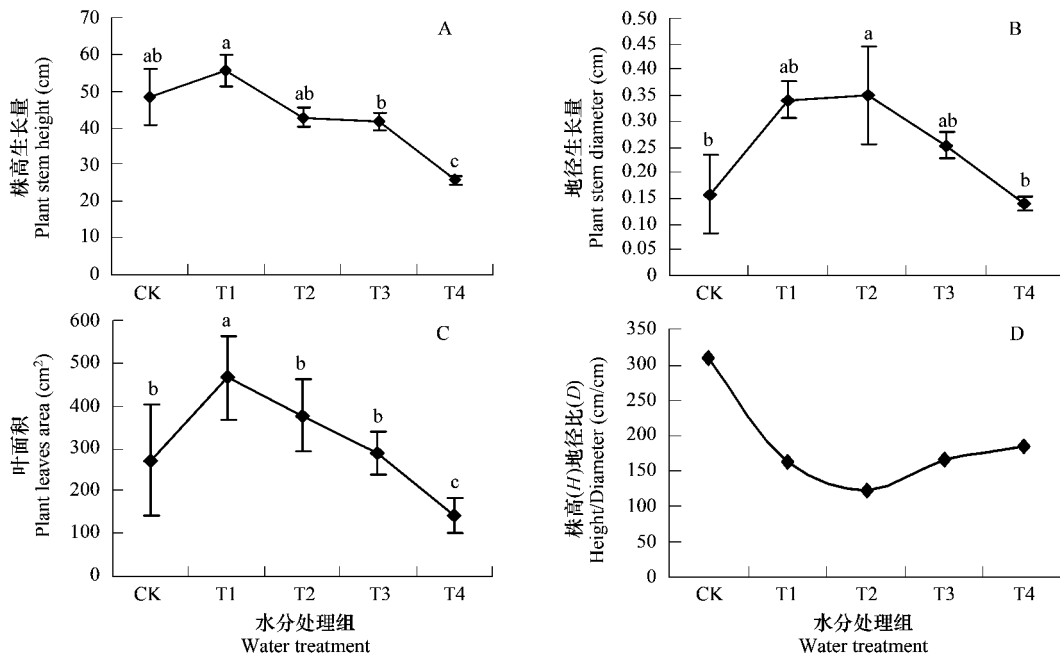


图 1 不同土壤水分对异株荨麻生长量的影响*

Fig. 1 Changes of stem height, stem diameter, leaves' area and height/diameter ratio of *U. dioica* in different soil water

* 图中字母表示利用 Duncan 分析得出的平均值和显著性关系 ($n=4$), 相同字母表示数值在 $p=0.05$ 水平不显著; CK: 土壤含水量 93.58%, T1: 土壤含水量 80.74%, T2: 土壤含水量 67.90%, T3: 土壤含水量 55.06%, T4: 土壤含水量 42.22%; 下同
The letters on chart indicate the result, means ($n=4$) and significant difference, of Duncan's analysis; identical letters indicate no significant different at 0.05 level; CK: 93.58%, T1: 80.74%, T2: 67.90%, T3: 55.06%, T4: 42.22%; the same blew

异株荨麻叶面积随土壤含水量的变化与株高、地径生长变化量相似(图 1C), 由 CK 组到 T1 组出现一个峰值, 随后逐渐降低。T1、T2、T3 组叶面积较 CK 组分别增加 70.8%、38.0% 和 6.5%, T4 组叶面积比 CK 组减少了 47.7%。

将相应土壤含水量的株高生长量(H)与地径生长量(D)做比值处理, 得到不同土壤含水量的 H/D 值的变化量(图 1D), 可以看出异株荨麻株型的变化特征, H/D 值越大表明株型越细高, 反之 H/D 值越小则表明株型越矮粗。CK 组 H/D 值最大, 约是 T1 和 T2 组的 2 倍之多, 而地径仅约为 T1 和 T2 组的 1/2 粗细, 说明高土壤水分条件使异株荨麻株茎产生一定的徒长, 植株细高易倒伏损伤, 对植株生长量增加不利。

2.1.2 不同土壤水分含量对异株荨麻生物量的影响

(1) 地上部、地下部干物质质量随土壤水分变化的测定结果由图 2A 给出。随着土壤含水量的变化, 异株荨麻地上部干物质质量随之变化, 其中 T1 组干物质质量有所提高, 比 CK 组增加 0.1%, T2、T3、T4 组地上部干物质质量则较 CK 组分别下降 33.6%、23.5% 和 64.1%, T4 组生物量积累明显减少。地下部干物质质量变化与地上部变化相似, 其中 T1 组地下部干物质质量比 CK 组增加 22.9%, T2、T3、T4 组地下部干物质质量较 CK 组分别下降 4.6%、1.9% 和 33.6%。

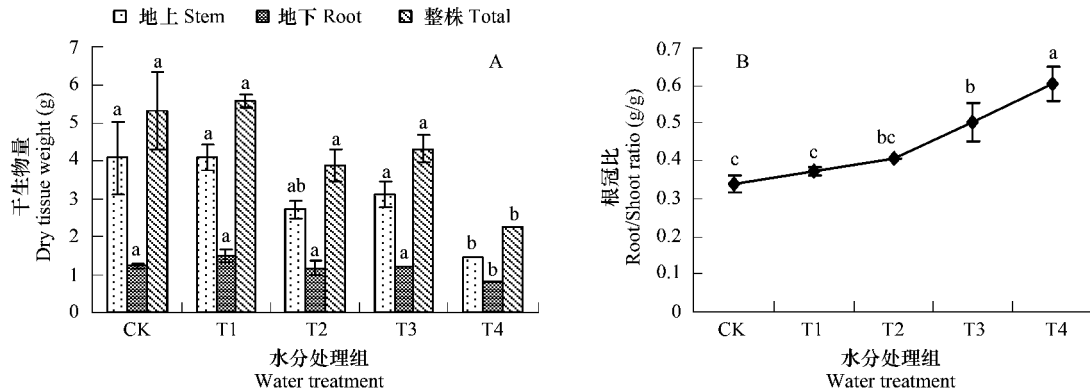


图2 不同土壤水分对异株荨麻干生物量和根冠比的影响

Fig. 2 Comparisons of dry tissue weight and root/shoot ratio of *U. dioica* in soil water stress

(2) 异株荨麻的根冠比随不同土壤水分响应变化。图 2B 中各水分处理组根冠比结果与干物质量相比呈负线性相关, CK 组根冠比最低仅为 34%, T1、T2、T3、T4 组分别比 CK 组高出 9.4%、19.9%、47.7% 和 77.5%。说明在土壤水分充足条件下, 异株荨麻地上部生长优于地下部生长; T4 组生物量最低但根冠比却达最高值, 出现明显的根部冗余, 说明在干旱环境下异株荨麻主要表现为根部生长以吸收水分和矿质元素, 根部生长优于茎叶生长, 根部冗余现象是异株荨麻对水分胁迫的一种适应。

有研究表明, 荨麻用作中药往往以其根浸提取物效果较好, 当作野菜食用或饲用材料, 以茎、叶等地上部分为主^[5], 值得注意的是, 生物量的积累取决于植株的整体生长水平, 根冠比大只能说明根所占的比例大, 而不是生物量积累多, 因此并非根冠比越大就越适合培养植株根部, 而是在比较生物量积累多少的基础上取根冠比较大者。本文研究结果表明可通过调节水分供应的措施对异株荨麻进行定向诱导培养, 实现荨麻不同实际应用的需求。

2.2 不同土壤水分条件对异株荨麻光合特征和叶绿素含量的影响

2.2.1 不同土壤水分条件对异株荨麻光合特征的影响

图 3 为各土壤水分条件下异株荨麻光合特征, 即净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和气孔限制值变化的测定结果。

(1) 异株荨麻净光合速率随土壤含水量的变化而变化(图 3A), T1 组净光合速率较 CK 组上升 44.4%, T2、T3、T4 组较 CK 组分别下降 9.4%、24.0% 和 53.2%, T4 组降幅最大, 光合速率受到明显影响。

(2) 异株荨麻气孔导度变化在 T1 组出现最大值, 而后随着土壤水分的降低而下降(图 3B)。T1 和 T2 组气孔导度比 CK 组上升 49.7% 和 19.7%, T3 和 T4 组较 CK 组的气孔导度分别下降 18.1% 和 63.2%, T4 组净光合速率下降幅度较大。

(3) 不同土壤水分含量下异株荨麻蒸腾速率变化(图 3C)与净光合速率和气孔导度变化趋势相似, T1 组蒸腾速率比 CK 组上升 51.1%, T2、T3、T4 组蒸腾速率较 CK 组依次降低 12.7%、15.1% 和 68.3%。

(4) 气孔限制值表明光合作用受气孔因素的影响, 表现植物对水分变化的响应气孔限制值越大抗旱性越强^[6]。实验结果说明适度的水分胁迫能引起其抗旱型机制响应。水分胁迫下异株荨麻气孔限制值变化(图 3D)与净光合速率等指标呈负线性相关, T1 组气孔限制值最低, 比 CK 组下降 4.4%, T2 组气孔限制值比 CK 组下降 2.8%, T3、T4 组气孔限制值比 CK 组分别上升 9.1% 和 39.7%, 各水分组测定值差异不显著, T4 组气孔限制值最高, 说明在此水分条件下, 气孔严重限制 CO_2 吸收, 对光合作用影响明显。

2.2.2 不同土壤水分条件对异株荨麻叶绿素含量的影响

(1) 光合作用的一个重要器官即叶绿体, 其中包括叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素。图 4 给出不同土壤水分条件下异株荨麻叶片中叶绿体各种色素含量变化, 异株荨麻叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量在 T1 组

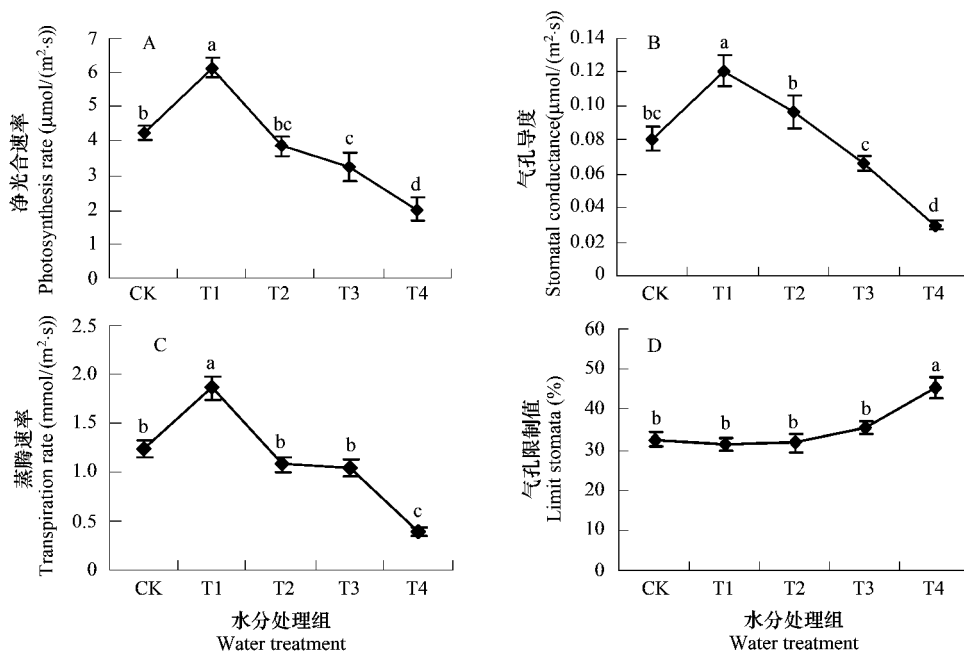


图3 不同土壤水分对异株荨麻光合特征变化的影响*

Fig. 3 Changes of photosynthesis characteristic (photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate and stomata limitation) of *U. dioica* in different soil water content

* 图中字母表示利用 Duncan 分析得出的平均值和显著性关系 ($n = 15$), 相同字母表示数值在 $p = 0.05$ 水平不显著 The letters on chart indicate the result, means ($n = 15$) and significant difference, of Duncan's analysis; Identical letters indicate no significant different at 0.05 level

达最大值(图4A,B,C),分别比CK组增加19.5%、14.9%和0.6%。T2、T3、T4组叶绿素a含量比CK对照组分别下降0.4%、26.4%和27.4%;叶绿素b含量比CK组分别下降0.7%、32.5%和34.3%;类胡萝卜素含量比CK组分别下降8.7%、21.7%和21.8%。

(2) 异株荨麻叶绿素a/b比值随土壤含水量的下降而上升(图4D),其中CK组a/b指最低,T1、T2、T3和T4组a/b值分别较之上升4.0%、6.8%、9.1%和10.5%。叶绿素a主司光化学反应,叶绿素b主司光能收集,两者含量比反映了光合作用的敏感程度,高水分含量组Chla/Chlb比值变化明显,说明叶绿素a较为敏感,而在低水分组Chla/Chlb比值变化缓和,此时叶绿素b较为敏感,看出在于旱胁迫下叶绿素b提高了吸收和转化效率保证了同化速率。而Chla/Chlb比值上升则说明,叶绿素b比叶绿素a更容易受到伤害,植物通过降低叶绿素b的含量来增加叶绿素a的含量,可能是对水分胁迫的相应或抗旱型的表现^[7]。

3 讨论与结论

有研究表明,轻度的水分胁迫有利于植物的生长,对植物的株高、地径和叶面积等营养器官的生物量积累有一定的促进作用^[7]。山仑等研究表明,水分亏缺并不总是造成植物生物量减少,轻度的水分亏缺并不影响叶片气孔开放,因而对光合作用速率不会产生明显影响^[8]。通过对异株荨麻生长量指标的分析可以发现:异株荨麻的生长高峰出现在T1至T2组,生长优势明显。CK组(93.58%)水分条件充足,但生长量较T1组(80.74%)降低。羊草光合产物的固定在轻度干旱时甚至增加,在某些情况下高于充分供水的植株^[9]。异株荨麻的生长量测定结果与之有相同之处,说明这种情况不是偶然的。肖春旺等研究认为,过高或过低的供水量抑制气孔导度,限制光合和蒸腾作用,进而影响生物量积累^[10]。异株荨麻CK组叶绿素含量低于T1组,光能吸收和转移的能力降低,同化作用水平受到影响,表现在外部形态上就是生长量的下降。

株高地径比值H/D可知(图1D),高土壤水分条件使异株荨麻产生徒长,CK组(土壤含水量93.58%)比值最高,株型细高,而其叶面积低于T1(土壤含水量80.74%)和T2(土壤含水量67.90%)组、干物质产量

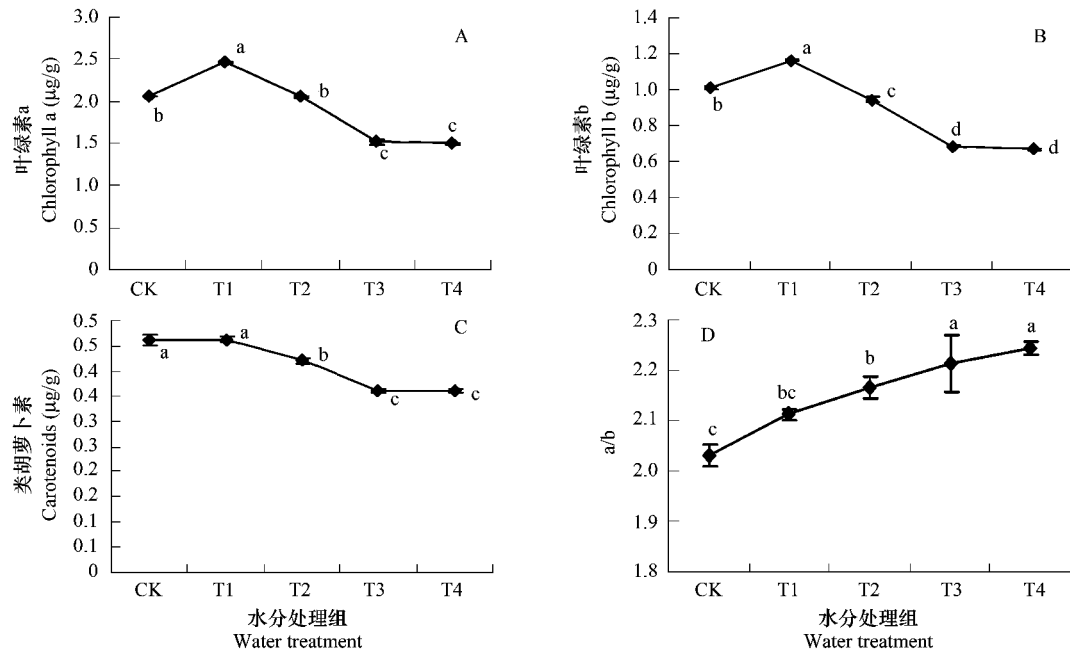


图4 不同土壤水分对叶绿体色素含量变化的影响*

Fig. 4 Changes of chlorophyll content (chl a, chl b, Carotenoids and Chla/Chlb ratio) of *U. dioica* in different soil water content

* 图中字母表示利用 Duncan 分析得出的平均值和显著性关系 ($n=4$), 相同字母表示数值在 $p=0.05$ 水平不显著

低于 T1 组, 根冠比与 T1、T2 组大致持平, 在生长和产量上没有优势。而株高地径比 (H/D) 相对低的 T1 和 T2 组, 株型为矮粗, 生长量和产量上都达到较高水平。因此, 在以旨在提高异株荨麻产量的实际种植生产中, 并非一味增高水分就可达到提高生长量的效果, 而通过调节水分供应量诱导植株保持其株型为矮粗则具有一定的生产意义。

本文实验结果表明, 异株荨麻日光合速率、蒸腾速率和气孔导度的升高与降低受气孔限制的影响明显。根据 Farquhar 和 Sharkey^[11] 的观点, 只有当净光合速率 (P_n) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i) 变化方向相同, 两者都减, 且气孔限制值 (L_s) 增大, 才可认为光合速率的下降主要有气孔导度 (G_s) 引起的。如果胞间 CO_2 浓度和净光合速率变化方向相反, 气孔限制值减小, 则净光合速率降低应归因于叶肉细胞同化能力的降低。异株荨麻各水分实验组中净光合速率及气孔限制值的变化符合上述原理, 但水分胁迫下叶片气体交换与光合作用间的关系较复杂, 两者不是简单的因果关系, 有研究指出, 在轻对水分胁迫下, 气孔导度 (G_s) 下降而光合速率 (P_n) 并不下降, 严重水分胁迫下, 两者才成线性关系^[12]。异株荨麻光合速率和气孔导度两者变化趋势是相近似的, 同时气孔限制值随水分胁迫加剧而上升, 但是否还有其他因素影响, 影响机制如何还待进一步研究。

在干旱胁迫下叶绿体色素含量的下降直接影响光合作用的进行, 许多研究表明干旱引起叶片叶绿素含量降低的原因有二: 一是干旱直接导致叶绿素的降解; 二是干旱造成植株对营养元素的吸收困难, 而引起缺素症状, 表现为叶绿素含量降低, 叶片黄化等^[13]。本实验中异株荨麻在水分胁迫下 Chla/Chlb 比值随土壤水分含量的降低而升高, 说明异株荨麻对水分胁迫很敏感, 一旦胁迫加重其内部叶绿素 b 向叶绿素 a 的转化明显加强, 用以保证光合作用的正常进行, 这说明异株荨麻有良好的干旱响应机制。但也有试验表明, 干旱胁迫下, 叶片叶绿素降解, Chla/Chlb 比值下降^[7]; 而牟筱玲等对棉花的研究则发现, Chla/Chlb 比值基本不变^[7]; 也有研究表明, 干旱胁迫叶绿素 a、b 及类胡萝卜素含量均有不同程度的增加^[14]。可见不同植物对水分胁迫的响应有很大差异这些叶绿素含量的不同变化, 反映出植物的抗旱水平, 水分胁迫如何具体影响植物叶绿体色素含量变化目前还没有定论, 对此类研究应作更深入的探索。

实验中, 土壤水分含量 80.74% 的 T1 组异株荨麻的生长量、生物量、光和速率及叶绿体色素含量等指标在 5 组中最高, 表明其是异株荨麻生长最宜的水分条件。另外, CK 组虽然在植株光和速率和叶绿体色素含量

的比较中要高于 T2 组,但通过上述分析讨论可知,CK 对照组和 T2 组均为适宜异株荨麻生长的水分条件,而产量持平时 CK 组消耗的水分更多,所以,在实际生产中,应将种植的适应土壤水分含量定在 67.90% 到 80.74% 的范围之内,这样既可通过控制株型增产,而且也可相对减少用水量。

前面通过归纳实验结果,对结果进行分析讨论,以及与其他实验进行比较,从中可以得出结论:

(1) 由生长量、生物量和光合作用特征的变化趋势上看,水分含量的不同直接影响光合速率等指标的升高与降低,从而使其在生长上表现出优劣差异。因此,异株荨麻在外部生长和生物量积累上是光合作用的强弱决定的。

(2) 从株高地径比值(H/D)中可知,株型的变化是异株荨麻对不同土壤水分条件的响应,实际生产中可以通过控水进行诱导培养,培养不易倒伏损伤的适宜株型,有利于植株生长量增长。

(3) 异株荨麻地上部、地下部有不同的应用价值,通过控制土壤水分使根冠比达到一个合适水平——根冠比处于较低水平的水分处理组,植株生长和物质积累优势都很明显,在生产实践中定向获取所需植物材料具有实际意义。

(3) 通过水分胁迫实验可知,异株荨麻受水分影响是很显著的,其适应能力也较强,按土壤含水量 67.90% ~ 80.74% 的范围进行培育种植,植株的株型和根冠比都较为合适,可以达到通过控制水分进行诱导培养的目的,以获得不同部位植物用材的良好收益。

References:

- [1] He S Y, Xing Q H, Yin Z T. Flora of Beijing VOL. 1 (revised edition 1984), Department of Biology Beijing Normal University. Beijing: Publishing House, 1984. 9.
- [2] Preston C D, Pearman D A, Dines T D. The New Atlas of the British and Irish Flora, Oxford: Oxford University Press, 2002.
- [3] Guan F. Medical studies on plant of urtica L., Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2006, 20(3): 14—16.
- [4] Schottner M, Gansser D, Spiteller G, Lignans from the roots of *Urtica dioica* and their metabolites bind to human sex hormone binding globulin (sHBG), Plant Med, 1997, 63(6): 529—532.
- [5] Hu J F. Studies on Effects of Fertilization on Plant Growth and Nutrition Composition of *Urtica Dioica*, South China University of Tropical Agriculture, master's degree paper, 2006.
- [6] Saith K, Kikuri M, Ishihara K. Relationship between leaf movement of trifoliolate compound leaf and environmental factors in the soybean canopy. Japanese Journal Crop Science, 1995, 64: 259—265.
- [7] Yao Q Q, Xie G S. The Photosynthetic Stomatal and Nonstomatal Limitation Under Drought Stress, Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2005, 25(4): 81—82.
- [8] Shan L, Xu M. Water-saving agriculture and its physio-ecological bases, Chinese Journal of Applied Ecology 1991, 2(1): 70—76.
- [9] Wang Y L, Xu Z Z, Zhou G S. Changes in biomass allocation and gas exchange characteristics of *leymus chinensis* in response to soil water stress, Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(6): 803—809.
- [10] Xiao C W, Zhou G S. Effect of simulated precipitation change on growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Caragana intermedia* in Maowusu sandland, Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(5): 692—696.
- [11] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. Ann. Rev. Physiol. 1982, 33: 317—345.
- [12] Chen J Z, Liu G A, He Y Q. Effects of soil water status on gas exchange of peanut and early rice leaves, Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(1): 105—110.
- [13] Smimoff N, Colombe S V. Drought influences the activity of enzymes of the chloroplast peroxide scavenging system. Journal of Experimental Botany, 1988(38): 1097—1108.
- [14] Cheng Z H, Meng H W. Stephen A Rolfe, Julie D Scholes, Impact of water stress on stomata conductance and photosynthetic pigment content in tomato plant, Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2002, 30(6): 93—96.

参考文献:

- [1] 贺士元,邢其华,尹祖棠,等.北京植物志(上册).北京师范大学生物系.北京:北京出版社,1984.9.
- [3] 关枫,等.荨麻属植物的药用研究,哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2006,20(3):14~16.
- [5] 胡剑丰.施肥对异株荨麻生长发育和营养成分影响的效应研究[硕士学位论文].华南热带农业大学,2006.
- [7] 姚庆群,谢贵水.干旱胁迫下光合作用的气孔与非气孔限制.热带农业科学,2005,25(4):81~82.
- [8] 山仑,徐萌.节水农业及其生理生态基础.应用生态学报,1991,2(1):70~76.
- [9] 王云龙,许振柱,周广胜.水分胁迫对羊草光合产物分配及其气体交换特征的影响.植物生态学报,2004,28(6):803~809.
- [10] 肖春旺,周广胜.毛乌素沙地中间锦鸡儿幼苗生长、气体交换和叶绿素荧光对模拟降水量变化的响应.应用生态学报,2001,12(5):692~696.
- [12] 陈家宙,吕国安,何圆球.土壤水分状况对花生和早稻叶片气体交换的影响.应用生态学报,2005,16(1):105~110.
- [14] 程智慧,孟焕文,Stephen A Rolfe,等.水分胁迫对番茄叶片气孔传导及光合色素的影响.西北农林科技大学学报(自然科学版),2002,30(6):93~96.