

7个种源蒙古莠叶片解剖结构及地理环境数据集的内容与研发

纪若璇, 于笑, 常远, 沈超, 白雪卡, 夏新莉, 尹伟伦, 刘超*

北京林业大学生物科学与技术学院林木育种国家工程实验室, 北京 100083

摘要: 长期受到生长环境影响而形成的遗传变异对植物生长发育有着显著的影响。叶片是植物对环境变化最敏感的器官, 了解叶片解剖结构在不同环境中产生的适应性变异是探索植物对环境适应的基础。同质园试验是研究遗传与环境因素对植物生长代谢等影响的一种有效方法, 该研究利用同质园试验排除了环境梯度的影响, 通过常规石蜡切片、多重比较、相关性分析、一般线性模型分析等方法, 对内蒙古阿巴嘎旗、阿拉善左旗、东乌珠穆沁旗、鄂托克旗蒙西镇、凉城县、河北康保县、陕西神木市 7 个不同种源地的蒙古莠 (*Caryopteris mongholica*) 叶片解剖结构及其影响因素进行了定量比较。同质园试验说明, 种源地气候差异驱动的遗传变异是引起不同种源叶片解剖结构差异的重要因素。该数据集包括: (1) 种源地地理位置数据; (2) 蒙古莠叶片横切面图片; (3) 蒙古莠叶片解剖结构与地理环境影响因子分析数据。数据集存储为.shp、.kmz、.xls、.jpg 和.doc 格式, 由 14 个数据文件组成, 数据量为 5.84 MB (压缩为 1 个文件 5.75 MB)。

关键词: 蒙古莠; 同质园; 叶片; 解剖结构; 种源; 内蒙古

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2021.01.13>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2021.01.03.V1>

1 前言

植物在进化过程中, 受到外界温度、水分、光照等环境因素的长期作用而影响其建成逐步形成适应环境的表型和遗传特征。即使是同一物种, 长期生长在不同的地理环境中, 也会产生不同程度的基因分化, 以适应各自不同的生态位, 从而形成特定的种源特性^[1-4]。叶片作为植物暴露在生活环境中面积最大的器官, 其外部形态特征、内部解剖结构等最能体现植物对环境因子的适应性进化^[5-8], 开展叶片解剖结构分析, 对研究植物在极端生态环境下的适应策略具有重要意义。

同质园试验能最大程度地降低立地条件所造成的影响^[9,10], 进而说明不同种源植物叶

收稿日期: 2020-12-30; 修订日期: 2021-03-01; 出版日期: 2021-03-25

基金项目: 国家生态环境部 (2017ZX07101002); 国家自然科学基金 (32071734, 31770649, 31600484)

*通讯作者: 刘超, 北京林业大学, liuchao1306@bjfu.edu.cn

数据引用方式: [1] 纪若璇, 于笑, 常远等. 7 个种源蒙古莠叶片解剖结构及其地理环境数据集的内容与研发[J]. 全球变化数据学报, 2021, 5(1): 99-107. <https://doi.org/10.3974/geodp.2021.01.13>.

[2] 纪若璇, 于笑, 常远等. 7 个种源蒙古莠叶片解剖结构及其地理环境影响因子数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.01.03.V1>.

片解剖结构特征表现出的差异是由于原种源地环境差异造成的植物遗传性基因变异。这与先前关于环境和遗传因素共同影响(包括气候梯度和种源的影响)叶片解剖结构特征的研究有所不同,这种同质园方法在局部适应性研究中具有重要意义^[11],有助于我们更好地理解不同地理种源植物对全球变化的响应和适应机制。目前采用此法对不同种源内植物叶片解剖结构差异及其影响因素的相关分析较少。鉴于此,我们将来自华北和西北 7 个地区的蒙古莠种植在同一环境条件下,排除外界环境因素差异的作用,采用石蜡切片法对蒙古莠叶片解剖结构特征进行研究,以期进一步探讨植物的局域环境适应性进化,为今后蒙古莠的种质资源保护、遗传改良以及环境变异驱动的植物基因型差异对植物的作用机制提供理论依据。

2 数据集元数据简介

《7 个种源蒙古莠叶片解剖结构及其地理环境影响因子数据集》^[12]元数据信息,如名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《7 个种源蒙古莠叶片解剖结构及其地理环境影响因子数据集》数据集元数据简表

条 目	描 述		
数据集名称	7 个种源蒙古莠叶片解剖结构及其地理环境影响因子数据集		
数据集短名	LeafAnatomicalStructure_CaryopterisMongholica		
作者信息	纪若璇 AAE-6059-2021, 北京林业大学, bljrx@bjfu.edu.cn 于笑 AAE-6050-2021, 北京林业大学, yuxiao@bjfu.edu.cn 常远, 北京林业大学, 1034530229@qq.com 沈超 0000-0001-5037-4922, 北京林业大学, shenchaonow@bjfu.edu.cn 白雪卡, 北京林业大学, baixueqia88@qq.com 夏新莉, 北京林业大学, xiaxl@bjfu.edu.cn 尹伟伦, 北京林业大学, yinwl@bjfu.edu.cn 刘超 AAE-6091-2021, 北京林业大学, liuchao1306@bjfu.edu.cn		
地理区域	38.88°N–45.73°N, 105.72°E–116.79°E	数据年代	2007–2017
数据格式	.shp、.kmz、.xls、.jpg 和.doc	数据量	5.84 MB
数据集组成	(1) 种源地地理位置数据 (2) 蒙古莠叶片横切面图片 (3) 蒙古莠叶片解剖结构与地理环境影响因子分析数据, 包括: 1) 种源地气候(年降水量、年平均气温、潜在蒸散量、海拔高度等)对蒙古莠叶片各个解剖结构参数的 GLM 分析数据 2) 蒙古莠叶片解剖性状相关性分析数据 3) 蒙古莠叶片解剖结构指标与种源地基本情况		
基金项目	生态环境部(2017ZX07101002); 国家自然科学基金(32071734, 31770649, 31600484)		
数据计算环境	ArcGIS 10.2、Excel、R 3.2.2		
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn		
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所		
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据(中英文)、通过《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》发表的实体数据和通过《全球变化数据学报(中英文)》发表的数据论文。其共享政策如下:(1)“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载;(2)最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源;(3)增值服务用户或以任何形式散发和传播(包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报(中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可;(4)摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[13]		
数据和论文检索系统	DOI, DCI, CSCD, WDS/ISC, GEOSS, China GEOSS, Crossref		

3 数据研发方法

3.1 研究地概况

同质园试验地点位于北京林业大学苗圃（40.01°N，116.34°E），属暖温带半湿润大陆性季风气候。年平均气温 11.8℃，年最高气温 37.5—42.6℃，最低气温-19.5—-14.8℃，年降水量 500—650 mm，多集中于夏季，占全年降水量的 70%，而春旱情况严重^[14]。试验地设置塑料遮雨棚以防止其他水分影响，雨天关闭，晴天打开^[14]。

3.2 试验材料

试验材料为蒙古莢 1 年生扦插苗。于 2016 年 3 月下旬，在内蒙古阿巴嘎旗、阿拉善左旗（阿左旗）、东乌珠穆沁旗（东乌旗）、鄂托克旗蒙西镇、凉城县、河北康保县、陕西神木市（种源地地理环境见表 2）采取生长良好的蒙古莢植株，剪取长度约为 20 cm 左右的枝条茎段，放置于湿布中保存，立即带回北京。将不同种源地的扦插枝条经 0.1%生根粉 ABT1（中国林业科学研究院林业研究所）处理后扦插于 450 mm×450 mm 的花盆中。种植土为砂壤土（草炭土：壤土：沙子体积比为 4：4：3），与蒙古莢的野外土壤成分相似，所有种源材料种植在同一土壤条件下。

表 2 蒙古莢种源地基本情况

种源地	纬度 (°N)	经度 (°E)	海拔 (m)	年降水 量(mm)	年平均气 温(℃)	生长季降 水量(mm)	生长季平均 气温(℃)	最冷月平均 气温(℃)	潜在蒸散 量(mm)
内蒙古阿巴嘎旗	43.90	115.35	1,177	224.03	2.9	434.71	17.74	-19.85	588.04
内蒙古阿左旗	38.88	105.72	1,670	162.54	9.90	315.52	21.05	-7.51	712.81
内蒙古东乌旗	45.73	116.79	1,017	200.72	2.46	415.46	17.76	-20.52	531.06
内蒙古蒙西	40.08	106.92	1,193	118.00	8.92	243.64	20.95	-9.58	702.17
内蒙古凉城	40.66	112.30	1,429	313.75	5.18	611.46	17.13	-13.17	580.80
陕西神木	39.29	110.33	1,209	369.79	9.78	729.85	20.85	-7.64	706.91
河北康保	41.99	114.85	1,590	279.72	3.82	556.53	16.78	-15.22	544.06

2017 年 9 月中旬，每个种源挑选长势相似的扦插苗 3—5 株，每株取枝条中部成熟叶片 3 片，于叶片中部主脉处剪取约 1 cm×1 cm 的正方形叶块（图 1），放入 FAA 固定液（甲醛：乙酸：70%乙醇 = 1：1：18）中，迅速带回实验室用于叶片解剖结构测定。

3.3 试验方法及算法原理

采用常规石蜡切片法^[15]制作石蜡切片。将固定 24 h 以上的叶块，经 70%、85%、95%、100%四个浓度酒精脱水。脱水时封盖，防止空气中水分渗入；后经二甲苯透明；将透明好的材料换入石蜡液浸透；浸透后的材料放入纸盒包埋（包埋所用石蜡熔点为 56—57℃），待凝固后切片，切片厚度 8—10 μm；番红-固绿双重染色，中性树胶封片，将其制作为永久切片^[16]。在 Leica DM2500 显微镜（Leica, Wezlar, Germany）下观察，并用 Leica LAS AF 软件拍照记录。



图 1 叶块剪取示意图

用 Image J 软件中的直线工具测量叶片的上角质层厚度, 上、下表皮细胞厚度, 上、下栅栏组织厚度, 叶厚度等叶解剖结构指标, 并计算叶片结构紧密度、栅栏组织总厚度^[17], 每个指标重复测量 5 组数据。

叶片解剖结构指标:

叶片结构紧密度 (*Tight*) = 栅栏组织厚度/叶片厚度 × 100%

栅栏组织总厚度 (*PT*) = 上栅栏组织厚度 (*UPT*) + 下栅栏组织厚度 (*LPT*)

叶片解剖结构可塑性指标:

变异系数 = 标准差/算术平均值

可塑性指数 = (最大值-最小值)/最大值

根据蒙古莠不同种源地的经度与纬度, 从 ArcGIS 10.2 的 WorldCLIM 全球高分辨率气候数据库^[18]中选取各样地的月平均气候数据 (2007–2016), 并计算各气候指标大小。气候指标包括: 年降水量 (*MAP*)、生长季降水量 (*GSP*)、降水年较差 (*ARP*)、年平均气温 (*MAT*)、生长季平均气温 (*GST*)、气温年较差 (*ART*)、潜在蒸散量 (*PE*)。

3.4 数据分析

用方差分析多重比较法, 比较不同种源蒙古莠叶片解剖结构参数差异。用 Pearson 相关性分析方法分析叶片解剖结构参数与种源地环境因子的相关关系。

结合一般线性模型 (GLM) ANOVA 分析种源地气候对蒙古莠叶解剖结构参数值的影响作用大小^[19]。基于种源地环境因素与叶片解剖结构参数值的相关关系, 选取 *MAP*、*MAT*、*PE*、海拔 (*Alt*)、地理位置 (*Site*) 等 5 个种源地气候环境因子进入模型。

数据分析在 Excel、R 3.2.2 中完成。

3.5 技术路线

本数据集研发的主要步骤包括:

(1) 基于前期资料收集与实地考察, 采集 7 个种源蒙古莠植株, 种植于北京林业大学苗圃;

(2) 待植株生长一年半后取其叶片固定并切片, 测量叶片的解剖结构指标, 分析解剖性状间的相关性;

(3) 分析原种源地地理环境信息与解剖结构参数间的相关性, 应用 GLM (一般线性模型) 验证, 形成 7 个种源蒙古莠叶片解剖结构及地理环境数据集。

技术路线如图 2 所示。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

《7 个种源蒙古莠叶片解剖结构及其地理环境影响因子数据集》由 4 部分文件组成。文件包括蒙古莠种源地的坐标数据、2007–2016 年气候指标数据, 叶片解剖结构示意图与参数信息, 以及种源地气候与叶片解剖结构参数的 GLM 分析数据。数据文件存储为 .shp、.kmz、.xls、.jpg 和 .doc 格式。

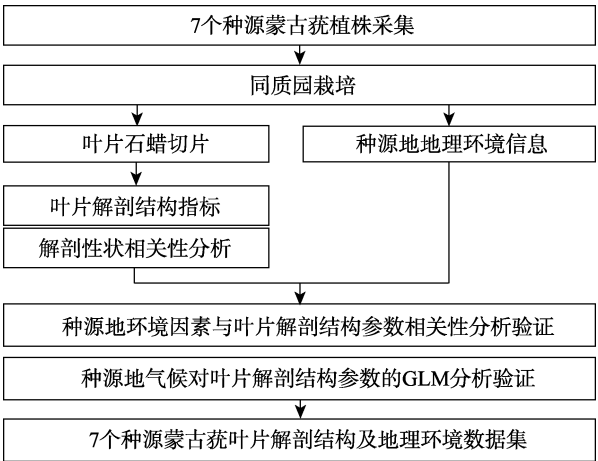


图 2 《7 个种源蒙古莢叶片解剖结构及地理环境影响因子数据集》研发技术路线

4.2 数据结果

观察蒙古莢叶片解剖结构，7 个种源的蒙古莢叶片均为等面叶，叶片厚度在 192.34–270.30 μm 之间（表 3）；其内部结构可分为表皮、叶肉和叶脉 3 个基本部分（图 3）。

表 3 蒙古莢叶片解剖结构指标

解剖结构指标	观测数目	平均值	标准偏差	均值的 95% 置信区间	最大值	最小值	变异系数	可塑性指数
上角质层厚度 <i>Cuticle</i> (μm)	70	6.87	1.66	6.05–7.70	11.92	5.07	0.24	0.57
上表皮细胞厚度 <i>UEC</i> (μm)	70	18.53	5.37	15.86–21.20	26.46	9.87	0.29	0.63
下表皮细胞厚度 <i>LEC</i> (μm)	70	11.14	2.32	9.99–12.30	17.64	8.74	0.21	0.50
上栅栏组织厚度 <i>UPT</i> (μm)	70	106.35	17.94	97.43–115.27	146.64	89.24	0.17	0.39
下栅栏组织厚度 <i>LPT</i> (μm)	70	76.17	13.44	69.48–82.85	109.42	59.57	0.18	0.46
栅栏组织总厚度 <i>PT</i> (μm)	70	182.52	29.16	168.02–197.02	243.12	156.05	0.16	0.36
叶厚度 <i>LT</i> (μm)	70	220.02	25.71	207.24–232.80	270.30	192.34	0.12	0.29
叶片结构紧密度 <i>Tight</i> (%)	70	0.83	0.04	0.80–0.85	0.90	0.74	0.05	0.18

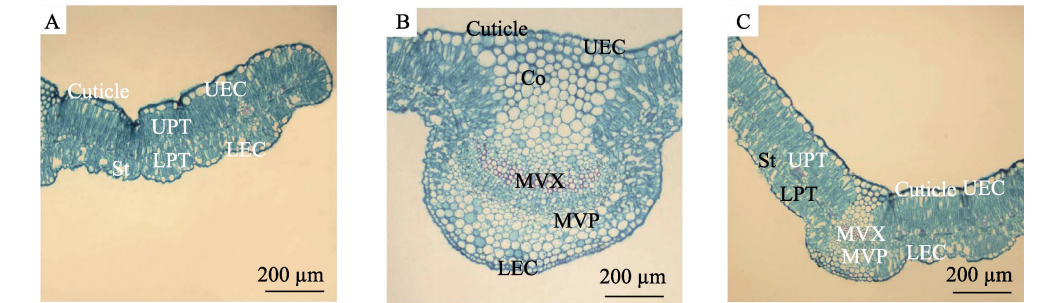


图 3 蒙古莢叶片横切面（A，叶肉结构。B，主脉结构。C，主脉及叶肉结构）
（Co，厚角组织；Cuticle，上角质层；LEC，下表皮细胞；LPT，下栅栏组织；MVP，主脉韧皮部；MVX，主脉木质部；St，孔下室；UEC，上表皮细胞；UPT，上栅栏组织）

多数叶片解剖结构参数间存在明显的自相关，其中，*UPT*、*LPT*、*PT*、*LT* 以及 *Tight* 这 5 组参数两两之间都极显著正相关性（ $P < 0.01$ ）（表 4）。

4.3 数据结果验证

由表 5 可得, 蒙古莼叶片解剖结构指标与一个或多个种源地地理位置(经纬度)、温度、降水之间具有显著的相关性。

经度、纬度除与 *UEC* 呈正相关关系外, 与 *UPT*、*LPT*、*PT*、*LT*、*Tight* 这 5 个参数呈负相关关系 ($P < 0.05$)。地理梯度上呈现自西向东、自南向北, *UEC* 逐渐增大, *UPT*、*LPT*、*PT*、*LT*、*Tight* 逐渐减小的趋势。

表 4 蒙古莼叶片解剖性状相关性分析

相关系数 t	上角质层厚度 <i>Cuticle</i> (μm)	上表皮细胞厚度 <i>UEC</i> (μm)	下表皮细胞厚度 <i>LEC</i> (μm)	上栅栏组织厚度 <i>UPT</i> (μm)	下栅栏组织厚度 <i>LPT</i> (μm)	栅栏组织总厚度 <i>PT</i> (μm)	叶厚度 <i>LT</i> (μm)	叶片结构紧密度 <i>Tight</i> (%)
上角质层厚度 <i>Cuticle</i> (μm)								
上表皮细胞厚度 <i>UEC</i> (μm)	0.201							
下表皮细胞厚度 <i>LEC</i> (μm)	0.590**	0.107						
上栅栏组织厚度 <i>UPT</i> (μm)	-0.246	-0.355	-0.203					
下栅栏组织厚度 <i>LPT</i> (μm)	-0.434	-0.545*	-0.436	0.721**				
栅栏组织总厚度 <i>PT</i> (μm)	-0.351	-0.470*	-0.326	0.948**	0.904**			
叶厚度 <i>LT</i> (μm)	-0.260	-0.268	-0.259	0.945**	0.825**	0.962**		
叶片结构紧密度 <i>Tight</i> /%	-0.432	-0.770*	-0.391	0.683**	0.806**	0.792**	0.595**	

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

UPT、*LPT*、*PT*、*LT*、*Tight* 均与 *MAT* 显著正相关 ($P < 0.05$); 而 *UEC* 与 *MAT*、*GST* 显著负相关 ($P < 0.05$), 与 *ART* 显著正相关 ($P < 0.05$)。即随环境温度升高, *UPT*、*LPT*、*PT*、*LT*、*TIGHT* 增大, *UEC* 减小。

降水指标 (*MAP*、*GSP*、*ARP*) 仅与 *UPT* ($P < 0.01$)、*LT* ($P < 0.05$)、*PT* ($P < 0.05$) 显著负相关。

表 5 种源地环境因素与蒙古莼叶片解剖结构参数的相关系数

相关系数	上角质层厚度 <i>Cuticle</i> (μm)	上表皮细胞厚度 <i>UEC</i> (μm)	下表皮细胞厚度 <i>LEC</i> (μm)	上栅栏组织厚度 <i>UPT</i> (μm)	下栅栏组织厚度 <i>LPT</i> (μm)	栅栏组织总厚度 <i>PT</i> (μm)	叶厚度 <i>LT</i> (μm)	叶片结构紧密度 <i>Tight</i> (%)
纬度 ($^{\circ}\text{N}$)	0.328	0.638**	0.451	-0.526*	-0.694**	-0.643**	-0.529*	-0.724**
经度 ($^{\circ}\text{E}$)	0.437	0.704**	0.366	-0.787**	-0.801**	-0.854**	-0.730**	-0.886**
海拔 (m)	-0.124	-0.034	-0.358	0.547*	0.579*	0.604**	0.690**	0.237
年降水量 (mm)	0.261	0.074	-0.103	-0.671**	-0.250	-0.528*	-0.555*	-0.307
生长季降水量 (mm)	0.244	0.085	-0.110	-0.689**	-0.269	-0.548*	-0.575*	-0.321
降水年较差 (mm)	0.348	0.195	-0.064	-0.640**	-0.236	-0.503*	-0.495*	-0.365
年平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	-0.446	-0.803**	-0.421	0.534*	0.735**	0.668**	0.495*	0.860**
生长季平均气温 <i>GST</i> ($^{\circ}\text{C}$)	-0.476*	-0.863*	-0.290	0.512*	0.672**	0.625**	0.424	0.880**
气温年较差 <i>ART</i> ($^{\circ}\text{C}$)	0.338	0.503*	0.529*	-0.426	-0.626**	-0.551*	-0.465	-0.597**

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

通过表 6 中 ANOVA GLM 分析可知, 原种源地气候(温度、降水、蒸散)驱动的遗传变异对蒙古莼各解剖结构参数有显著作用, 其解释度在 34.09%–81.43%间, 对 *LEC* 的解释度最小 (34.09%), 对 *Tight* 的解释度最大 (81.43%)。

表 6 种源地气候对蒙古莠叶片各个解剖结构参数的 GLM 分析

气候因子	上角质层厚度 <i>Cuticle</i>						上表皮细胞厚度 <i>UEC</i>					
	自由度 <i>df</i>	误差平方和	均方误差	<i>F</i> value	解释度 %SS	显著性	自由度 <i>df</i>	误差平方和	均方误差	<i>F</i> value	解释度 %SS	显著性
年降水量	1	0.015	0.015	2.53	10.13	0.147	1	3×10^{-4}	3×10^{-4}	0.07	0.12	0.804
年平均气温	1	0.031	0.031	5.18	20.77	0.049*	1	0.204	0.204	34.84	65.82	$2.3 \times 10^{-4***}$
潜在蒸散量	1	0.006	0.006	1.02	4.08	0.339	1	0.028	0.028	4.87	9.20	0.055*
海拔	1	0.004	0.004	0.68	2.74	0.430	1	2.783	2.783	4.76	0.00	0.999
位置	4	0.039	0.010	1.63	26.20	0.248	4	0.024	0.006	1.04	7.86	0.438
残差	9	0.054	0.006	NA	36.09	NA	9	0.053	0.006	NA	17	NA
总计	17	0.150			100		17	0.310			100	

气候因子	下表皮细胞厚度 <i>LEC</i>						叶厚 <i>LT</i>					
	自由度 <i>df</i>	误差平方和	均方误差	<i>F</i> value	解释度 %SS	显著性	自由度 <i>df</i>	误差平方和	均方误差	<i>F</i> value	解释度 %SS	显著性
年降水量	1	0.001	0.001	0.23	0.98	0.646	1	0.012	0.012	85.50	31.40	$6.8 \times 10^{-6***}$
年平均气温	1	0.019	0.019	3.84	16.78	0.082*	1	0.009	0.009	59.05	21.69	$3.0 \times 10^{-5***}$
潜在蒸散量	1	0.019	0.019	3.74	16.33	0.085	1	0.006	0.006	39.05	14.34	$1.5 \times 10^{-4***}$
海拔	1	9×10^{-5}	9×10^{-5}	0.02	0.08	0.894	1	0.007	0.007	45.62	16.76	$8.3 \times 10^{-5***}$
位置	4	0.031	0.008	1.52	26.52	0.276	4	0.005	0.001	8.51	12.50	0.004**
残差	9	0.045	0.005	NA	39.30	NA	9	0.001	1×10^{-4}	NA	3.31	NA
总计	17	0.115			100		17	0.040			100	

气候因子	上栅栏组织厚度 <i>UPT</i>						下栅栏组织厚度 <i>LPT</i>					
	自由度 <i>df</i>	误差平方和	均方误差	<i>F</i> value	解释度 %SS	显著性	自由度 <i>df</i>	误差平方和	均方误差	<i>F</i> value	解释度 %SS	显著性
年降水量	1	0.037	0.037	93.72	45.93	$4.7 \times 10^{-6***}$	1	0.004	0.004	7.47	4.78	0.023*
年平均气温	1	0.020	0.020	50.18	24.59	$5.8 \times 10^{-5***}$	1	0.048	0.048	90.20	57.74	$5.5 \times 10^{-6***}$
潜在蒸散量	1	0.005	0.005	12.82	6.28	0.006**	1	0.005	0.005	8.56	5.48	0.017*
海拔	1	0.007	0.007	17.65	8.65	0.002**	1	0.007	0.007	13.01	8.33	0.006**
位置	4	0.008	0.002	5.17	10.13	0.019*	4	0.015	0.004	6.99	17.91	0.008**
残差	9	0.004	4×10^{-4}	NA	4.41	NA	9	0.005	5×10^{-4}	NA	5.76	NA
总计	17	0.081			100		17	0.084			100	

气候因子	栅栏组织总厚度 <i>PT</i>						叶片结构紧密度 <i>Tight</i>					
	自由度 <i>df</i>	误差平方和	均方误差	<i>F</i> value	解释度 %SS	显著性	自由度 <i>df</i>	误差平方和	均方误差	<i>F</i> value	解释度 %SS	显著性
年降水量	1	0.019	0.019	208.39	27.38	$1.6 \times 10^{-7***}$	1	8×10^{-4}	8×10^{-4}	6.81	8.93	0.028*
年平均气温	1	0.031	0.031	337.66	44.37	$1.9 \times 10^{-8***}$	1	0.007	0.007	54.80	71.89	$4.1 \times 10^{-5***}$
潜在蒸散量	1	0.005	0.005	51.63	6.78	$5.2 \times 10^{-5***}$	1	6×10^{-5}	6×10^{-5}	0.46	0.61	0.514
海拔	1	0.007	0.007	73.49	9.66	$1.3 \times 10^{-5***}$	1	1×10^{-5}	1×10^{-5}	0.09	0.12	0.772
位置	4	0.007	0.002	20.20	10.62	$1.6 \times 10^{-4***}$	4	6×10^{-4}	2×10^{-4}	1.27	6.65	0.097*
残差	9	8×10^{-4}	9×10^{-5}	NA	1.18	NA	9	0.001	1×10^{-4}	NA	11.81	NA
总计	17	0.070			100		17	0.009			100	

* $P < 0.05$; * $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

种源地气候因子中, *MAT* 对所选 8 个叶片解剖结构指标均有显著影响, 其中, 对 *UEC*、*LT*、*UPT*、*LPT*、*PT*、*Tight* 这 6 个指标有极显著影响 ($P < 0.001$), 解释程度在 21.69%–71.89% 间。*PE* 对 *UEC*、*LT*、*UPT*、*LPT*、*PT* 有显著影响 ($P < 0.05$), 解释程度在 5.48%–14.34% 间。*MAP* 对 *UPT*、*LPT*、*PT*、*LT*、*TIGHT* 显著影响的解释程度在 4.78%–45.93% 间, 其中, 对 *UPT*、*PT*、*LT* 这 3 个指标有极显著影响 ($P < 0.001$)。海拔对 *UPT*、*LPT*、*PT*、*LT* 有显著影响 ($P < 0.01$), 解释程度在 8.33%–16.76% 间。温度对蒙古莠叶片解剖结构参数的解释程度大于水分与海拔的。

5 讨论与总结

本文研究了我国 7 个种源蒙古莠叶片解剖结构, 分析了影响不同种源叶片解剖结构差异的重要因素, 并发布了叶片解剖结构及其地理环境影响因子数据集。数据年代为 2006–2017 年, 时间分辨率为天。利用同质园法最大程度降低了 7 个种源蒙古莠生长环境梯度的影响, 结合多重比较、相关性分析、一般线性模型分析等方法, 对 7 个种源蒙古莠叶片解剖结构及其影响因子进行定量比较, 验证解剖结构参数与气候指标间的关系, 最终得出结论, 种源地气候差异驱动的遗传变异是引起不同种源叶片解剖结构差异的重要因素。本数据集丰富了局部适应性研究数据, 帮助我们进一步了解不同种源植物应对全球变化的适应机制, 可为全球变化、种质资源保护等研究领域提供基础数据。

作者分工: 刘超、夏新莉、尹伟伦、纪若璇对数据集的开发做了总体设计; 于笑、常远、沈超、白雪卡、纪若璇采集了植物材料; 纪若璇处理了叶片相关数据并做了数据验证; 刘超设计了模型和算法; 纪若璇撰写了数据论文等。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] Smith, W. K., Vogelmann, T. C., DeLucia, E. H., *et al.* Leaf form and photosynthesis [J]. *BioScience*, 1997, 47: 785–793.
- [2] Barboni, D., Harrison, S. P., Bartlein, P. J., *et al.* Relationships between plant traits and climate in the mediterranean region: a pollen data analysis [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2004, 15: 635–646.
- [3] Pigliucci, M. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2006, 209: 2362–2367.
- [4] 胡梦瑶, 张林, 罗天祥等. 西藏紫花针茅叶功能性状沿降水梯度的变化[J]. 植物生态学报, 2012, 36(2): 136–143.
- [5] Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats [J]. *Functional Ecology*, 2001, 15: 423–434.
- [6] Chartzoulakis, K., Patakas, A., Kofidis, G., *et al.* Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars [J]. *Scientia Horticulturae*, 2002, 95: 39–50.

- [7] 钟悦鸣, 董芳宇, 王文娟等. 不同生境胡杨叶片解剖特征及其适应可塑性[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(10): 53–61.
- [8] 于海燕, 胡潇予, 何春霞等. 文冠果不同种源叶片结构对水分胁迫的差异性响应[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(1): 57–63.
- [9] 王薪琪, 王传宽, 韩轶. 树种对土壤有机碳密度的影响: 5种温带树种同质园试验[J]. 植物生态学报, 2015, 39(11): 1033–1043.
- [10] 陈嘉静, 余华, 徐朝斌等. 种源与同质园环境对刨花楠幼苗叶功能性状的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 25(3): 648–654.
- [11] de Villemereuil, P., Gaggiotti, O. E., Mouterde, M., *et al.* Common garden experiments in the genomic era: new perspectives and opportunities [J]. *Heredity*, 2016, 116: 249–254.
- [12] 纪若璇, 于笑, 常远等. 7个种源蒙古莠叶片解剖结构及其地理环境影响因子数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.01.03.V1>.
- [13] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017年更新).
- [14] 纪若璇, 于笑, 常远等. 蒙古莠叶片解剖结构的地理种源变异及其对环境变化响应的意义[J]. 植物生态学报, 2020, 44(3): 277–286.
- [15] 冯永庆, 秦岭, 马焕普. 植物显微技术课程中石蜡制片实验教学效率和质量的探讨[J]. 实验技术与管理, 2008, 25(12): 160–162.
- [16] de Lima Silva, A., da Silva Alves, M. V., Coan, A. I. Importance of anatomical leaf features for characterization of three species of *Mapania* (*Mapanioideae*, *Cyperaceae*) from the Amazon Forest, Brazil [J]. *Acta Amazonica*, 2014, 44: 447–456.
- [17] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应[J]. 植物学通报, 2005, 22(增刊): 118–127.
- [18] Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas [J]. *International Journal of Climatology*, 2005, 25: 1965–1978.
- [19] He, J. S., Wang, X. P., Flynn, D. F. B., *et al.* Taxonomic, phylogenetic, and environmental trade-offs between leaf productivity and persistence [J]. *Ecology*, 2009, 90: 2779–2791.
- [20] Delzon, S. New insight into leaf drought tolerance [J]. *Functional Ecology*, 2015, 29: 1247–1249.