

乌兰布和沙漠绿洲两种农作物叶片性状特征研究

高君亮^{1,2,3}, 罗凤敏^{1,3}, 赵英铭^{1,2,3}, 张景波^{1,2,3}, 原伟杰⁴, 郝玉光^{1,3*}

(1. 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心, 内蒙古 磴口 015200; 2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 3. 国家林业局内蒙古磴口荒漠生态系统定位观测研究站, 内蒙古 磴口 015200; 4. 中国林业科学研究院华北林业实验中心, 北京 102300)

摘要:农作物叶片性状特征反映了其利用自然资源的能力。以乌兰布和沙漠绿洲最主要的两种农作物(向日葵和玉米)为研究对象,通过测定叶面积、叶饱和鲜重及干重,计算了比叶面积(SLA)和叶干物质含量(LDMC)。结果表明:两种农作物叶面积和叶重的关系均为极显著线性相关关系($P < 0.0001$),因此用叶重推算叶面积是可行的。其中,通过叶饱和鲜重推算的叶面积值准确度更高、误差更小。两种农作物的SLA、LDMC均存在极显著差异($P < 0.0001$),向日葵和玉米的SLA分别为 $(17.77 \pm 5.41) \text{ m}^2/\text{kg}$ 、 $(11.29 \pm 2.22) \text{ m}^2/\text{kg}$, LDMC分别为 $(170.93 \pm 31.15) \text{ mg/g}$ 、 $(266.85 \pm 43.91) \text{ mg/g}$ 。SLA和LDMC之间呈极显著负相关关系($r = -0.9005$, $P < 0.0001$),可用幂函数 $y = ax^{-b}$ 来表述。SLA和LDMC较好地反映了农作物利用资源的能力。

关键词:比叶面积;叶干物质含量;向日葵;玉米;乌兰布和沙漠绿洲

中图分类号:S181

文献标识码:A

文章编号:1003-8701(2016)01-0038-05

Studies on Leaf Traits of Two Kinds of Crops in Ulan Buh Desert Oasis

GAO Junliang^{1,2,3}, LUO Fengmin^{1,3}, ZHAO Yingming^{1,2,3}, ZHANG Jingbo^{1,2,3}, YUAN Weijie⁴, HAO Yuguang^{1,3*}

(1. Experimental Center of Desert Forestry, CAF, Dengkou 015200; 2. Institute of Desertification Studies, CAF, Beijing 100091; 3. Inner Mongolia Dengkou Desert Ecosystem Research Station, State Forestry Administration, Dengkou 015200; 4. Forestry Experiment Center of North China, CAF, Beijing 102300, China)

Abstract: The leaf characteristics of crops reflect their capability of resources utilization. Two crops (*Helianthus annuus* and *Zea mays*) in the Ulan Buh Desert oasis were selected as the research objects. The specific leaf area (SLA) and leaf dry matter content (LDMC) were calculated through the measurement of leaf area (LA), saturated wet leaf weight and dry leaf weight. The results showed that the leaf areas of the two crops were both significantly linear related to their leaf weight, so it was feasible to calculate the leaf area through leaf weight. The calculation of leaf area through wet leaf weight showed greater accuracy and less error. The SLA, LDMC of the two crops were all in very significant difference ($P < 0.0001$), the SLA of *Helianthus annuus* and *Zea mays* were $(17.77 \pm 5.41) \text{ m}^2/\text{kg}$, $(11.29 \pm 2.22) \text{ m}^2/\text{kg}$, respectively, and the LDMC were $(170.93 \pm 31.15) \text{ mg/g}$, $(266.85 \pm 43.91) \text{ mg/g}$, respectively. The SLA was significantly negative related to the LDMC ($r = -0.9005$, $P < 0.0001$), which could be expressed by the form of power function $y = ax^{-b}$. The SLA and LDMC well reflected the capability of resources utilization of crops.

Key words: Specific leaf area; Leaf dry matter content; *Helianthus annuus*; *Zea mays*; Ulan Buh desert oasis

叶片是植物光合作用和制造养分的主要器官,又是植物蒸腾的主要途径。叶面积(leaf area, LA)大小及其分布直接影响植物光合效率及物质

积累,进而对植物生产力产生影响^[1]。因此,叶片性状特征尤其是叶面积常被作为衡量植物生长发育的主要监测指标。此外,叶片性状与植物生长对策及其利用资源能力相关,植物适应环境变化所形成的生存策略能够通过叶片性状特征得到准确反映^[2-4]。农作物的叶片数量和大小既是研究者对其进行生长分析、生育诊断及作物管理决策的重要根据,又是生理生化、遗传育种和作物栽培等研究常涉及的内容之一。因此,研究农作物单叶、单株及群体叶面积大小、发展及分布对提

收稿日期:2015-08-28

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2014MA016、CAFYBB2012003);“十二五”科技支撑课题(2012BAD16B0103)

作者简介:高君亮(1985-),工程师,博士,从事绿洲防护林功能评估与服务价值研究。

通讯作者:郝玉光,男,博士,研究员,E-mail:Hyuguang@163.com

高农作物产量来说,无疑具有重要意义。

叶面积的准确测定是研究叶面积的前提条件^[5],常用的测定方法有系数法^[6-8]、方格法^[9-10]、复印称重法^[9-10]、叶片称重法^[11-12]、叶面积仪法^[13-14]、数字图像法等^[9-10,15-16]等。然而,对于基层单位在田间进行大量测定实验研究的工作人员来说,最需要的是寻求一种操作容易且准确度高的叶面积测定方法,这样则可有效地提高研究速率。基于此,以乌兰布和沙漠绿洲两种主要农作物—向日葵(*Helianthus annuus* L.)和玉米(*Zea mays* L.)为研究对象,测定叶面积与叶重(leaf weight, LW),计算比叶面积(specific leaf area, SLA)和叶干物质含量(leaf dry matter content, LDMC),在此基础上分析两种农作物的叶片性状特征。同时,将叶面积和叶重进行了建模,力求筛选出一种操作简单、省时省力、准确度较高的叶面积测定方法来提高田间测量研究的效率。

1 研究区概况

乌兰布和沙漠绿洲位居西北干旱荒漠区东缘,为河套平原的重要组成部分,是内蒙古重要的农业区和商品粮基地。该区属温带大陆性气候。据磴口县1954~2005年气象资料显示:多年平均降水量140.3 mm,蒸发量2380.6 mm;气温7.8℃,≥10℃积温3289.1℃·d。风速3~3.7 m/s,全年盛行西南风与西风,大风日数12.5 d,沙尘暴日数10.9 d,扬沙日数30.2 d。土壤类型包括灌淤土、盐土、风沙土等。天然植被以旱生、超旱生类型的荒漠植被为主,白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)、油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch.)等,绿洲防护体系主要以杨树为主,农作物以向日葵和玉米为主。采样点位于中国林业科学研究院沙漠林业实验中心第二实验场的农田内(E:106°46',N:40°28')。

2 研究方法

2.1 样品采集

在防护林网内的农田中选择向日葵和玉米样地各1个,为了排除土壤水肥状况对作物叶片生

长的影响,所选择的向日葵样地和玉米样地相邻。两个样地内各设置5个25 m²(5 m×5 m)的样方,调查每个样方内的作物株数和每一株的叶片数,计算单株平均叶片数,根据叶片数平均值在每个样方内选择1株标准株,摘取全株叶片密封后带回实验室。

2.2 叶片性状测定

将野外带回的叶片置入蒸馏水中,在5~8℃的黑暗环境中储藏12 h后取出,用滤纸吸干叶片表面的水分,称重获取每片叶片的饱和鲜重(m_1)。

获取鲜重后将叶片(由于向日葵和玉米叶面积较大,需要剪成小片)平铺于扫描仪上进行扫描,以JPEG格式进行保存。扫描获取的图像用ERDAS IMAGINE 9.0软件操作处理,提取每片叶片的叶面积(S_1)^[15]。

扫描后的叶片装入信封后置入60℃的烘箱内烘干,约24 h后取出称重,获取每片叶片的干重(m_2)。

SLA与LDMC分别采用式(1)和(2)来计算。

$$SLA = \frac{\text{叶面积}(S_1)}{\text{叶干重}(m_2)} \dots\dots\dots(1)$$

$$LDMC = \frac{\text{叶干重}(m_2)}{\text{叶饱和鲜重}(m_1)} \dots\dots\dots(2)$$

2.3 数据分析

用OFFICE EXCEL 2003进行数据统计和作图,SAS 9.0进行方差分析与相关性分析。

3 结果与分析

3.1 叶面积与叶重的关系

为了确定向日葵、玉米叶面积与叶重的关系,将向日葵和玉米的所有数据分别随机分成两组,第一组用来建立模型,数据量占总数据的2/3,第二组用来检验误差,占总数据的1/3。

将第一组数据中向日葵和玉米叶面积与叶片饱和鲜重、干重分别做散点图后进行拟合(表1)。从表中看出,向日葵和玉米的叶面积与叶片饱和鲜重、干重之间的拟合关系均为线性相关关系($r=0.8131 \sim 0.9739$),可用 $y=ax+b$ (y -叶面积、 x -叶重、 a -系数、 b -常数)来表述。

表1 叶面积与叶重的关系

农作物	叶重(g)	叶面积(m ²)	相关系数(r)	显著水平(P)	样本数(n)
向日葵	饱和鲜重	$S_1=0.0030m_1+0.0012$	0.9695	<0.0001	66
	干重	$S_1=0.0138m_2+0.0058$	0.8131	<0.0001	66
玉米	饱和鲜重	$S_1=0.0025m_1+0.0032$	0.9737	<0.0001	46
	干重	$S_1=0.0100m_2+0.0020$	0.9739	<0.0001	46

用SAS 9.0软件对叶面积与叶重进行相关性分析表明,向日葵和玉米的叶面积与叶片饱和鲜重、干重之间的关系均达到极显著水平($P<0.0001$)。据此可认为用叶重来计算叶面积是可靠的。

进一步检验回归方程的误差,将第二组数据

中的叶重代入第一组数据所建立的回归方程计算出叶面积。对叶面积实测值(S_1)与模型所得的预测值(S_2)再次建立模型(图1)发现,实测值与预测值之间存在很高的相关关系($r_{\text{向日葵}}=0.7547 \sim 0.9703$; $r_{\text{玉米}}=0.9173 \sim 0.9312$)。

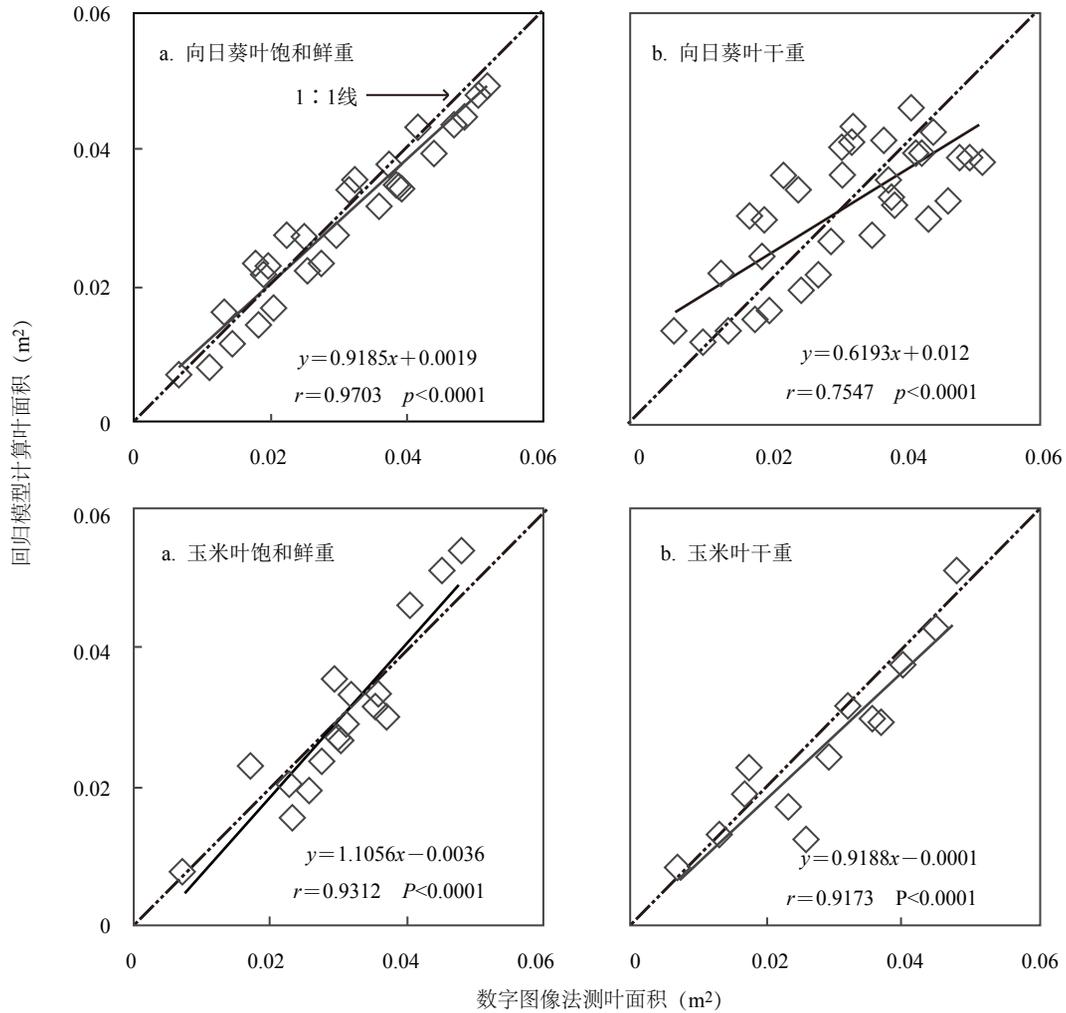


图1 向日葵和玉米叶面积预测值与实测值散点图

经SAS 9.0软件对两者进行相关性分析表明,两种方法计算的叶面积和实测叶面积之间的相关性均达到极显著水平($P<0.0001$),所以说,用叶重与叶面积建立的回归方程所产生的误差可以忽略。进而表明,利用叶面积与叶重建立的模型可以用来推算叶面积,而且结果可信。

为了筛选出最佳的叶面积计算模型,从回归方程的系数(a, b)、相关系数(r)及1:1线来分析。 a 为拟合曲线的斜率,其值越接近1,说明进行拟合的两个数据的大小越接近; b 值越小说明产生的误差也越小; r 表示进行拟合的两个值之间的相关性,其值越大,说明相关性越好;拟合曲线越

接近1:1线说明误差越小。从图1中可以看出,向日葵和玉米叶饱和鲜重与叶面积的拟合程度优于叶干重与叶面积的拟合程度。据此认为,最佳的模型应为叶饱和鲜重与叶面积之间所建立的,故通过叶片饱和鲜重数据推算的叶面积数据更加可靠与准确。

3.2 SLA与LDMC的关系

图2列出了两种作物SLA和LDMC的数据散点分布情况。从图中可以看出,两种农作物的SLA和LDMC之间呈极显著负相关关系($r=-0.9005, P<0.0001$),可用幂函数 $y=ax^{-b}$ 来表述。表明SLA较大的植物,其LDMC通常较小。

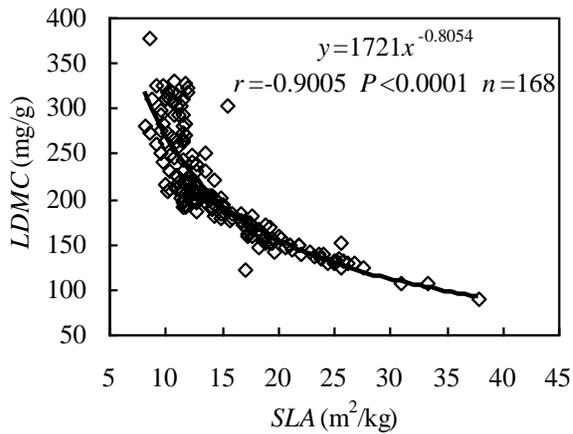


图2 比叶面积与叶干物质含量的关系

4 讨论与结论

4.1 讨论

4.1.1 叶面积与叶重的关系

农作物叶面积大小在一定程度上影响农作物产量,叶面积变化直接影响植物水分、养分等生理指标的变化^[16]。通过研究叶面积及其变化,掌握叶片生长规律,在指导农业生产,制定高产优质、高效栽培技术措施等方面都有积极的意义^[16]。基于此,叶面积的准确测定就显得十分重要。本研究结果表明,两种农作物的叶面积与叶重之间均呈极显著的线性回归关系,可用方程 $y=ax+b$ 来表述(y -叶面积、 x -叶重、 a -系数、 b -常数; $r=0.8131\sim 0.9739$ 、 $P<0.0001$)。本研究结果与董学军等^[11]、尹婧等^[12]的结果一致。因此认为用易于测定的叶重来推算叶面积是可行的,尤其是通过叶片鲜重所推算的叶面积数据更加准确与可信。然而,植物叶片含水量由于受作物生长环境、采集叶片时的水势、不同生育时期等影响而导致叶片饱和吸水量存在较大差异^[12,17-18]。因此,建立叶面积与叶片饱和鲜重的关系模型应考虑以上几个影响因素。本研究所建立的模型表明两种农作物的叶面积与叶重之间均呈极显著的线性回归关系。但这仅是用9月份的一次测量数据所建立的模型,因而显得有些不足。因此,笔者将会在后续的研究中,选择在两种农作物不同生育时期进行多次采样,且保证采样时间的同步性,获取大量数据来建立叶面积与叶饱和鲜重的关系模型,包括建立不同时期叶面积与叶饱和鲜重的关系模型,以指导田间工作者对两种农作物叶片生长动态进行监测。

4.1.2 叶面积测定方法的比较与选择

对于叶面积较大的植物,用方格法和复印称重法来测定其叶面积需要耗费大量的时间与人力^[15]。随着光电技术的飞速发展,叶面积仪法和数字图像法已成为众多研究者所选择的叶面积测定方法,其精度高、速度快,但这两种方法也存在一定缺点。如叶面积仪比较昂贵,维修费用高,且测定叶面积大的植物,其优势也很难显现出来;数字图像处理软件的操作需要一定专业技术,对于基层单位的工作者来说相对不容易^[9-10,15-16]。因此,系数法和叶片称重法相对比较容易。这两种方法操作简单且快速,主要是借助易于测定的叶片性状(叶长、叶宽、叶重)来快速推测叶面积。系数法利用平均原理,可以进行非破坏性测定。但必须用其他方法确定系数之后才能用。且系数会随品种的不同而不同,结果误差也较大^[19]。Montgomery法(简称蒙法)、Makee法(简称麦法)以及Pearce法(简称皮法)都可以实现无破坏活体测量,且方便、快捷,但是不够准确,误差较大。虽然从蒙法、麦法到皮法是一个逐渐简化的过程,但在测定单株叶面积时,却伴随着由准确到不准确的变化^[20]。此外,对于一些叶形不规则或单叶面积大小差异较大,或叶片卷曲、或有破损的植物叶片,系数法则会产生较大的误差^[5,15]。本研究中就存在类似的问题,即同一株向日葵和玉米的所有叶片,其面积大小存在较大的差异,向日葵单叶平均叶面积为 (0.031 ± 0.0121) m^2 ,玉米为 (0.028 ± 0.0121) m^2 ,标准差分别占平均值的39.03%和43.21%。因此用系数法测定将产生一定的误差。综合以上分析认为,对于叶面积较大、或叶形不规则、或单叶面积大小差异较大的叶片,叶片称重法无疑是一种操作最简单,准确度相对较高的叶面积测定方法。

4.1.3 两种农作物 SLA 与 LDMC 的特征

SLA是描述叶片性状的基本参数,也是指示植物光合及其他生理特性的重要参数,其值大小主要受叶形(Leaf shape, LS)、叶厚(Leaf thickness, LT)和环境因素的影响,在一定程度上反映了叶片截获光的能力。一般来讲,SLA较高的植物具有较高的潜在相对生长速率和净光合速率,常具有较高的养分获得能力和生产力^[17-18,21-23]。LDMC同SLA一样,也可反映植物获取资源的能力。LDMC与植物潜在相对生长速率负相关,被认为是资源获取利用分类轴上定位植物种类的最佳变量,是比较稳定的预测指标^[24]。本研究结果显示,向日葵和玉米的SLA分别为 (17.77 ± 5.41) m^2/kg 、

(11.29 ± 2.22) m^2/kg , *LDMC* 分别为 (170.93 ± 31.15) mg/g 、(266.85 ± 43.91) mg/g 。由此推断,向日葵具较高的净光合速率、养分获得能力和生产力。从科学研究的角分析,向日葵 *SLA* 值相对较高也许正是乌兰布和沙漠绿洲区域乃至整个河套地区大量种植向日葵的一个主要因素。

两种农作物 *SLA* (11.29 ± 2.22) m^2/kg 、(17.77 ± 5.41) m^2/kg 均处于中下的位置,这与之前的研究结果类似,即干旱、半干旱区的乔木^[25]、灌木^[26-27]和草本植物^[22,26]的 *SLA* 值大小均处于中下的位置。乌兰布和沙漠绿洲的农作物主要靠人工灌溉来满足水分需求,尽管大量的灌溉水使作物体内水分能得到一定补给,但是该区域的高蒸发量、长日照时数及较低的大气相对湿度仍然使作物耗水量很高。所以,两种农作物的这种叶片形状特征是其长期适应沙区干旱环境的结果。

4.1.4 *SLA* 与 *LDMC* 的关系

大量研究结果表明,*SLA* 与 *LDMC* 之间呈一定的负相关关系,即 *SLA* 较大的植物,其 *LDMC* 通常较小;反之亦然^[22-24,26]。本研究也得到类似结果,两种农作物的 *SLA* 和 *LDMC* 之间呈极显著负相关关系 ($r = -0.9005$, $P < 0.0001$),可用幂函数 $y = ax^{-b}$ 来表述。

4.2 结论

向日葵和玉米的叶面积与叶重之间均为极显著线性回归关系 ($P < 0.0001$),因此认为用叶重推算叶面积是可行的。其中,通过叶饱和鲜重所推算的叶面积值精度更高。

向日葵和玉米的 *SLA*、*LDMC* 分别为 (17.77 ± 5.41) m^2/kg 、(170.93 ± 31.15) mg/g 和 (11.29 ± 2.22) m^2/kg 、(266.85 ± 43.91) mg/g 。说明向日葵较玉米具有更高的净光合速率、养分获得能力和生产力。*SLA* 和 *LDMC* 之间呈极显著负相关关系 ($r = -0.9005$, $P < 0.0001$),可用幂函数 $y = ax^{-b}$ 来表述。

参考文献:

[1] 张明艳,李红岭,高晓阳,等.紫花苜蓿株高和叶面积指数变化动态及模拟模型[J].干旱区资源与环境,2013,27(4):187-192.

[2] Vendra Amini F, Diaz S, Gur Vich D E, et al. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species[J].New Phytologist, 2002, 154(1): 147-157.

[3] Xue L, Cao H. Changes of leaf traits of plants under stress resistance[J].Ecology and Environment, 2010, 19(8): 2004-2009.

[4] 刘永辉.夏玉米不同生育期对水分胁迫的生理反应与适应

[J].干旱区资源与环境,2013,27(2):171-175.

[5] 蒋有条,黄保健,余抗.西瓜叶面积的测量方法[J].园艺学报,1985,12(5):107-111.

[6] R B Pearce, J J Mock, T B Bailay. Rapid method for estimating leaf per plant in maize[J].Crop Science, 1975, 15(5): 691-694.

[7] 李雁鸣,胡寅华,张建平,等.魔芋叶面积测定方法的初步研究[J].河北农业大学学报,2000,23(4):23-25.

[8] 张建业.甜瓜叶片生长动态与叶面积变化观测[J].甘肃农业大学学报,2001,36(2):176-178.

[9] 杨劲峰,陈清,韩晓日,等.数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J].农业工程学报,2002,18(4):155-158.

[10] 李新国,蔡胜忠,李绍鹏,等.应用数字图像技术测定油梨叶面积[J].热带农业科学,2009,29(2):10-13.

[11] 董学军,黄子琛,郑海雷.几种沙生植物叶面积的估算与经验公式[J].干旱区研究,1993,10(4):33-36.

[12] 尹婧,邱国玉,何凡,等.半干旱黄土丘陵区人工林叶面积特征[J].植物生态学报,2008,32(2):440-447.

[13] 柴一新,祝宁,韩焕金.城市绿化树种的滞尘效应—以哈尔滨市为例[J].应用生态学报,2002,13(9):1121-1126.

[14] 李海梅,刘霞.青岛市城阳区主要园林树种叶片表皮形态与滞尘量的关系[J].生态学杂志,2008,27(10):1659-1662.

[15] 高君亮,郝玉光,张景波,等.基于数字图像处理的防护林体系三种杨树叶面积测定[J].农机化研究,2013,35(7):39-42,47.

[16] 张金瑞.基于图像处理的树叶面积特征提取的研究[D].北京:北京林业大学,2010.

[17] 赵飞,荆彦辉,王嘉宇,等.播种期对粳型超级稻产量及叶面积指数的影响[J].吉林农业科学,2009,34(3):1-2.

[18] 李向岭,赵明,李从锋,等.玉米叶面积系数动态特征及其积温模型的建立[J].作物学报,2011,37(2):321-330.

[19] 左欣,韩斌,程嘉琳.基于数字图像处理的植物叶面积测量方法[J].计算机工程与应用,2006(27):194-195.

[20] 马彦平,白由路,高祥照,等.基于数字图像的玉米叶面积测量方法研究[J].中国农学通报,2009,25(22):329-334.

[21] 张林,罗天祥.植物叶寿命及其相关性状的生态学研究进展[J].植物生态学报,2004,28(6):844-852.

[22] Wilson P, Thompson K, Hodgson J. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies[J].New Phytologist, 1999, 143(1): 155-162.

[23] 李玉霖,崔建垣,苏永中.不同沙丘生境主要植物比叶面积和叶干物质含量的比较[J].生态学报,2005,25(2):304-311.

[24] 周济源,何俊洁,郭治远,等.淮北相山主要优势物种比叶面积与叶干物质含量初步研究[J].淮北师范大学学报(自然科学版),2013,34(3):51-54.

[25] 吴晓成,张秋良,臧润国,等.额尔齐斯河天然杨树林叶面积指数及比叶面积的研究[J].西北林学院学报,2009,24(4):10-15.

[26] 韦兰英,上官周平.黄土高原不同退耕年限坡地植物比叶面积与养分含量的关系[J].生态学报,2008,28(6):2526-2535.

[27] 张军红,侯新.不同固定程度沙地油蒿比叶面积和叶N含量的比较[J].广东农业科学,2013,40(23):39-42.

(责任编辑:王昱)