

中图分类号: S532; S126 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2024)01-0053-06
DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2024.01.008

栽培生理

基于图像测算马铃薯叶面积的校正系数

张弘韬¹, 张继宗^{1*}, 刘玉华^{1,2}

(1. 河北农业大学农学院, 河北 保定 071000; 2. 农业农村部张北农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站, 河北 张家口 076450)

摘要: 在科研和生产过程中, 马铃薯叶面积测定一直存在操作难度大、误差大、工作量大等问题。校正系数法是一种简便且成本较低的叶面积估测方法, 获取准确的校正系数至关重要。为探索马铃薯叶面积校正系数的准确性, 以‘北方009’‘大西洋’‘冀张薯12号’‘北方002’‘希森6号’为试验材料, 采用数码相机拍摄技术结合图像处理技术与马铃薯叶片长宽进行相关计算得出准确校正系数。以图像处理法获得精确的马铃薯叶片面积为参照, 采用各叶片长宽乘积估算叶面积校正系数(K值), 采用对各叶片校正系数简单算术平均数法估算, 叶面积校正系数为0.583; 采用加权算术平均数法估算, 叶面积校正系数为0.585; 以线性回归法求得的马铃薯叶面积校正系数为0.571。试验结果比较表明, 以线性回归分析获得马铃薯叶面积校正系数(K值)0.571作为系数法参数, 相关系数吻合度较高, 其可作为马铃薯叶面积校正系数, 应用于马铃薯科学研究与生产实践。

关键词: 马铃薯; 叶面积; 校正系数; 图像处理法

Revising the Calculation of Correction Coefficient of Potato Leaf Area Based on Image

ZHANG Hongtao¹, ZHANG Jizong^{1*}, LIU Yuhua^{1,2}

(1. College of Agriculture, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China; 2. Zhangbei Key Field Scientific Observation and Experiment Station of Agricultural Resources and Ecological Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhangjiakou, Hebei 076450, China)

Abstract: In the process of scientific research and production, challenges such as complex operations, large errors, and heavy workloads often arise when potato leaf area needs to be determined. The correction coefficient method is a cost-effective and straightforward approach for estimating leaf area, and obtaining an accurate correction coefficient is crucial. To investigate the accuracy of the correction coefficient for potato leaf area estimation, five main regional varieties ('Beifang 009', 'Atlantic', 'Jizhangshu 12', 'Beifang 002', and 'Xisen 6') were selected as experimental materials. By utilizing digital camera technology in conjunction with image processing techniques and measuring the length and width of potato leaves, precise correction coefficients were obtained. By using image processing, accurate reference values of potato leaf area were obtained, and the length and width of each leaf were multiplied for estimation of the correction coefficient (K value). The simple arithmetic mean method yielded a correction coefficient of 0.583 for each leaf area

收稿日期: 2023-09-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1901104-5); 河北省现代农业产业技术体系露地蔬菜创新团队专项资金(HBCT2021200209)

作者简介: 张弘韬(1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向为集约持续农作制度研究。

*通信作者(Corresponding author): 张继宗, 助理研究员, 研究方向为农作制度与区域农业发展, E-mail: nxyzjz@163.com。

estimation. Alternatively, employing the weighted arithmetic mean method resulted in a correction coefficient of 0.585 for leaf area estimation. The comparison of the test results revealed a strong correlation coefficient (0.571) for the potato leaf area correction coefficient (K value), obtained through linear regression analysis as a parameter of the coefficient method, with a high correlation coefficient. This finding establishes its potential as an effective correction coefficient for potato leaf area and highlights its applicability in both scientific research and practical potato production.

Key Words: potato; leaf area; correction coefficient; image processing method

叶片是植株进行光合、呼吸与蒸腾作用的主要器官^[1]。植株叶面积影响光合作用,是作物生长发育和产量形成重要指标^[2-4],叶片是作物地上部从外界环境吸收养分的重要部分^[5]。在农业生产中,无论粮食作物还是其他经济作物,单位面积产量直接和叶面积有关。在研究植物生理、育种、栽培等方面具有重要应用价值。因此,准确获取叶面积数据具有重要意义。

目前,在植株叶面积校正系数上的研究方法较多,主要包括方格法^[6]、系数法^[7,8]、称重法和扫描法,也可使用一些仪器,例如求积仪、叶面积仪^[9]作测量。这些方法各有利弊,前者测量方法虽成本低,但过程繁琐,且损坏叶片;后者虽快速精准,但对设备依赖性较大。叶面积系数法因无需依靠其他设备仪器支撑,测算过程简单快捷而被广泛应用,因此获得精准的校正系数(K 值)是系数法测量叶片面积关键。万信等^[10]采用计算纸方法测算马铃薯叶面积,进一步使用简单算术平均法求得校正系数为0.76。唐力为等^[11]采用称重法测量叶面积,利用回归分析求得藜麦叶面积校正系数为0.52。李雁鸣^[12,13]采用叶面积仪测定叶面积,叶片长宽法求得高粱和燕麦叶面积校正系数为0.72、0.73。郁进元等^[14]采用手持叶面积仪测定叶片面积并与长乘宽法计算求得玉米、水稻、大豆、甘薯叶面积校正系数,分别为0.735、0.775、0.730、0.731。

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.),又名土豆、洋芋等,是茄科茄属一年生草本植物。目前采用系数法测算马铃薯叶面积方法较多,校正系数 K 值的精确定是系数法应用前提,但针对马铃薯叶面积校正系数的研究较少,其原因是马铃薯叶片数量多、不易测定且繁琐。兰小中等^[15]和陆秀明等^[16]发现图像处理法误差显著低于叶面积仪测定法。因此,为

测算马铃薯叶面积校正系数,本试验在拍摄大量马铃薯叶片图像基础上,利用Photoshop软件进行图像处理,快速准确获取马铃薯单个叶片面积,再利用简单平均法、加权算术平均法和线性回归法计算出马铃薯叶面积校正系数,为马铃薯科学研究与生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于河北省张家口市农业农村局张北农业资源与生态环境重点野外观测试验站(N 41°15', E 114°85')进行。试验地土壤类型为砂质栗钙土,全氮、全磷、全钾含量分别为0.86、0.43、27.84 g/kg,碱解氮含量为79.8 mg/kg,速效磷和速效钾含量分别为36.50、62.0 mg/kg,有机质含量为13.48 g/kg。试验区海拔1 430 m,年均降水量为384 mm,温度常年较低,年均温度为3.9 °C,无霜期136 d,≥10 °C积温2 466.3 °C。

1.2 试验设计

供试材料为当地主栽马铃薯品种,分别为‘北方009’‘大西洋’‘冀张薯12号’‘北方002’‘希森6号’。2021年5月8日播种,8月28日收获,试验田为雨养旱作。试验区面积为600 m²,种植密度为40 020株/hm²,行距为100 cm,株距为25 cm。在块茎形成后期7月20日每个品种选取田中有代表性植株3株,共15株,取植株上所有无损叶片作为试验材料,共1 541片进行马铃薯叶面积校正系数的测算。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶面积测定

马铃薯叶面积的测定方法采用长宽积法与图像法。

长宽积法：将选取的马铃薯植株所有完整叶片取下放置于桌面，直尺测量其叶片最大长度与宽度，计算长乘宽的面积。

图像处理法：将马铃薯叶片平铺于白色桌面，并放置已知长宽的圆珠笔作为参照物，数码相机拍摄后，使用Photoshop 2020软件进行图像处理，精准框选出叶片。依叶片面积/参照物面积原理得出叶片面积数据^[17]。

1.3.2 马铃薯叶面积校正系数计算

马铃薯叶面积校正系数计算采用简单平均法、加权算术平均法和线性回归法。

简单平均法^[10]为：

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{L_i \times D_i}$$

式中： n 为叶片数， L_i 为叶片最大长度， D_i 为叶片最大宽度， s_i 为图像法测得的面积。

加权算术平均法^[18]为：

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \times k_i}{\sum_{i=1}^n s_i}$$

式中： n 为叶片数； s_i 为图像法测得单叶面积； k_i 为单叶片校正系数。

线性回归法^[19]为：

$$y = a + kx$$

式中： k 值为马铃薯叶面积校正系数的回归法估值。

1.3.3 数据统计

试验所得数据采用Microsoft Office 2007、SPSS 25

与Photoshop 2020软件进行统计、回归分析与制图。

2 结果与分析

2.1 不同马铃薯品种叶面积参数与校正系数

采用图像处理法所得叶面积、叶面长宽乘积来获取校正系数，再采用简单算术平均法测算不同马铃薯品种校正系数。‘北方009’校正系数(K 值)为0.591、‘大西洋’ K 值为0.583、‘冀张薯12号’ K 值为0.592、‘北方002’ K 值为0.578、‘希森6号’ K 值为0.581。不同马铃薯品种叶面积极值最大为339.53 cm²，最小为192.91 cm²。不同马铃薯品种叶面积均值最大为96.32 cm²，最小为59.05 cm²。所有品种中‘希森6号’叶片最大。不同马铃薯品种叶片共计1 541片，采用简单算术平均法求得的 K 值为0.585(表1)。

进一步将不同马铃薯品种叶片分为大中小不同组，分组统计叶面积参数(表2)。分析结果表明，不同马铃薯品种叶面积变异系数在小叶片中表现最高，‘北方009’变异系数最高为61.38%，‘冀张薯12号’最低为43.93%。‘希森6号’叶面积均值在大叶中表现高于其他品种。鉴于各组叶片校正系数不同，采用加权算术平均法求得马铃薯总体叶面积校正系数，‘北方009’ K 值为0.590，‘大西洋’ K 值为0.582，‘冀张薯12号’ K 值为0.591，‘北方002’ K 值为0.578，‘希森6号’ K 值为0.581。不同马铃薯品种采用加权算术平均法所得校正系数，再次使用加权算术平均法求得合计 K 值为0.583。

表1 不同马铃薯品种叶面积参数与校正系数

Table 1 Leaf area parameters and correction coefficients of different potato varieties

品种 Variety	叶片数(No.) Leaf number	叶面积极值(cm ²) Maximum leaf area	叶面积均值(cm ²) Mean leaf area	叶面积变异系数(%) Coefficient of variation	校正系数 Correction coefficient
北方009 Beifang 009	456	219.73	59.05	85.3	0.591a
大西洋 Atlantic	195	216.27	64.40	79.9	0.583b
冀张薯12号 Jizhangshu 12	211	192.91	65.47	71.6	0.592a
北方002 Beifang 002	446	241.76	59.38	72.1	0.578b
希森6号 Xisen 6	233	339.53	96.32	77.6	0.581b
总计/平均 Total/Average	1 541	339.53	66.34	81.5	0.585

注：不同小写字母表示在0.05水平差异显著，采用最小显著差数(Least significant difference, LSD)法。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level, as tested using least significant difference (LSD) method.

表2 不同马铃薯品种的大中小叶面积参数
Table 2 Large, medium and small leaf area parameters of different potato varieties

品种 Variety	项目 Item	小叶(<50 cm ²) Small leaf	中叶(50 cm ² ≤叶面积<100 cm ²) Medium leaf	大叶(≥100 cm ²) Large leaf	加权算术平均法 Weighted average
北方009 Beifang 009	叶片数(No.)	254	105	97	
	平均值(cm ²)	22.28	73.40	139.82	
	变异系数(%)	61.38	18.74	21.74	
	校正系数	0.595	0.586	0.587	0.590
大西洋 Atlantic	叶片数(No.)	103	44	48	
	平均值(cm ²)	24.99	71.92	142.08	
	变异系数(%)	46.81	20.49	20.18	
	校正系数	0.588	0.576	0.576	0.582
冀张薯12号 Jizhangshu 12	叶片数(No.)	104	56	51	
	平均值(cm ²)	27.22	73.01	135.18	
	变异系数(%)	43.93	18.84	19.58	
	校正系数	0.582	0.598	0.603	0.591
北方002 Beifang 002	叶片数(No.)	215	151	80	
	平均值(cm ²)	24.08	72.76	128.98	
	变异系数(%)	55.21	19.67	22.09	
	校正系数	0.574	0.577	0.590	0.578
希森6号 Xisen 6	叶片数(No.)	85	49	99	
	平均值(cm ²)	23.35	72.92	170.55	
	变异系数(%)	54.40	18.86	29.51	
	校正系数	0.585	0.586	0.575	0.581
平均 Average	叶片数(No.)	761	405	375	
	平均值(cm ²)	23.95	72.89	145.28	
	变异系数(%)	54.47	18.97	26.82	
	校正系数				0.583

2.2 线性回归计算叶面积校正系数

图像处理法测得不同马铃薯品种叶面积与长宽积法测得面积线性回归分析如图1所示。设图像处理法测得叶面积为 y , 叶片长宽积法测得面积为 x , 采用回归关系式: $y = a + kx$ 分析。‘北方009’ $y = 0.578 0x, R^2 = 0.986 8(P < 0.001)$; ‘大西洋’ $y = 0.564 9x, R^2 = 0.990 8(P < 0.001)$; ‘冀张薯12号’ $y = 0.591 4x, R^2 = 0.980 5(P < 0.001)$; ‘北方002’ $y = 0.584 0x, R^2 = 0.976 3(P < 0.001)$; ‘希森6号’ $y = 0.557 6x, R^2 = 0.986 7(P < 0.001)$ 。不同马铃薯品种叶片合计 $y = 0.571 3x, R^2 = 0.984 8(P < 0.001)$ 。

在线性回归分析中趋势线斜率为马铃薯叶面积校正系数, 马铃薯叶面积校正系数 K 值为0.571。

2.3 不同方法马铃薯叶面积校正系数比较

比较不同方法测算所得叶面积校正系数, 分别为简单算术平均法、加权算术平均法与回归系数法, 所获取叶面积校正系数 K 值及相关系数, 由线性回归分析确定的 K 值0.571作为校正系数时表现最好, 为简单算术平均法和加权平均数法的97.61%和97.94%。由此可见, 0.571作为马铃薯系数法叶面积校正系数最为合适。

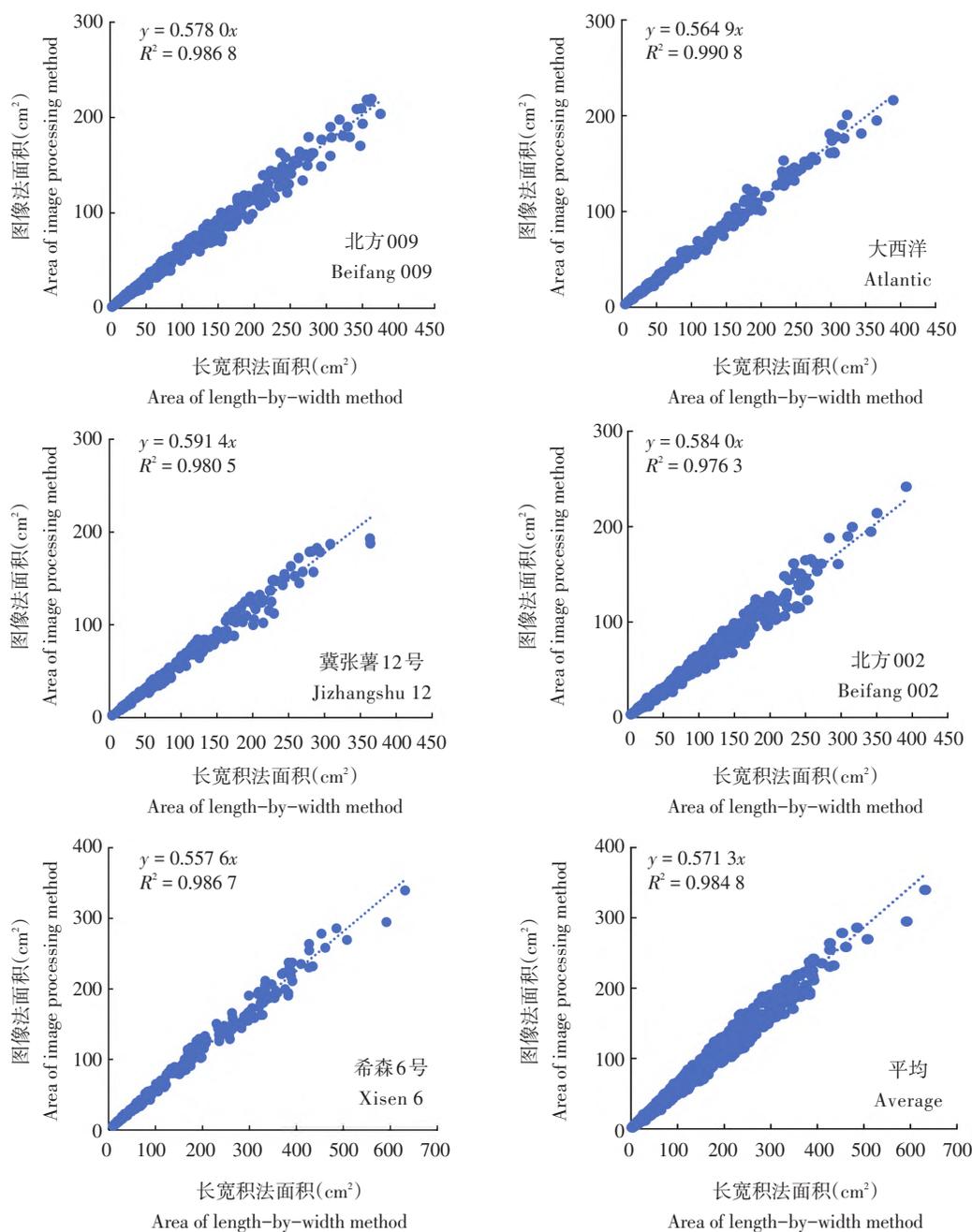


图1 马铃薯叶片图像处理法面积与长宽积法面积的关系

Figure 1 Relationship between potato leaf areas measured by image processing method and length-by-width method

3 讨论

目前国内外测定叶面积方法较多, 各有利弊, 每种方法均有其局限性。前人研究方格法测量虽精确, 但速度慢, 操作过程十分繁琐; 剪纸

称重法准确度被纸张均匀度影响; 长宽积法^[19]则要注意对校正系数的选择, 根据区域和品种调整校正系数; 叶面积仪测定法精确、方便快捷, 但对天气环境和设备依赖性较高。目前图像处理技术作为一种新兴测量手段被广泛运用于农业^[20], 尤其

对于一些不规则叶片作物和破损叶片更为精确。随着数码电子设备的普及,使用图像处理技术来获取作物叶面积数据更易实现。然而采用图像处理技术研究马铃薯叶面积研究还较少。与其他测量方法相比,图像处理技术利用图像的像素点精确计算叶面积,为其提供精确数据,且快速方便,减少人工成本。本研究采用白色桌面和圆珠笔作为背景和参照物,将叶片平铺于白色桌面,对桌面垂直拍摄,以此将叶片在图像处理软件中与背景区分开,降低误差。用图像法获取精确叶面积后与长宽乘积法测得面积建立回归关系,来确定马铃薯叶片校正系数。图像处理法不被叶片大小、形状厚度所限制。但也存在一些问题,例如在测定马铃薯叶面积时是否将叶片舒展到最大面积。因此,白由路和杨俐苹^[21]研究得出在测定植物叶片时用玻璃板压平叶片。

以图像处理技术获得精确的马铃薯叶片面积为参照,对求得各叶片长宽积进行叶面积校正系数(K 值)估算,采用对各叶片校正系数简单算术平均数法估算,得叶面积校正系数为0.585;采用加权算术平均数法估算,得叶面积校正系数为0.583;以线性回归法求得马铃薯叶面积校正系数为0.571。这与万信等^[10]研究马铃薯校正系数结果0.76不一致,这主要与求得马铃薯叶片面积的方法有关,前人采用传统方法,用复写纸描画马铃薯叶片轮廓,而本文则采用精确图像处理技术求得马铃薯叶片面积。研究比较表明,以回归系数法求得的马铃薯叶面积校正系数 K 值为0.571来作为系数法中应用系数,相关系数吻合度较高,其可作为马铃薯叶面积校正系数。通过对该研究详细分析,发现不同马铃薯品种叶片的校正系数存在一定差异,为确保本研究准确性和可靠性,取其平均值作为最终校正系数,为马铃薯科学研究与生产实践应用提供有力支持。

[参 考 文 献]

- [1] 郭向阳,陈建军,卫晓轶,等.氮胁迫与非胁迫条件下玉米叶形相关性状的QTL分析[J].植物营养与肥料学报,2019,25(11):1929-1938.
- [2] 涂育合.雷公藤叶面积的测算方法[J].北华大学学报:自然科学版,2007(6):553-557.
- [3] 陈伟祥,黄佳佳.两种植物叶面积测定方法的比较研究[J].吉林农业,2010(10):50-51.
- [4] 高建昌,郭广君,国艳梅,等.平台扫描仪结合ImageJ软件测定番茄叶面积[J].中国蔬菜,2011(2):73-77.
- [5] 陈欣,郭猛,黄勇,等.长宽法测定地黄花叶面积的校正系数研究[J].浙江农业科学,2022,63(2):293-295,298.
- [6] 李秀启,李晓琳,李颜,等.黄瓜叶面积测量方法的评价[J].长江蔬菜,2008(8):71-73.
- [7] 冯冬霞,施生锦.叶面积测定方法的研究效果初报[J].中国农学通报,2005(6):150-152,155.
- [8] 王家保,林秋金,叶水德,等.5种测量热带果树单叶面积的方法研究[J].热带农业科学,2003(1):11-14,23.
- [9] 潘介春,黄幸,邓英毅,等.回归方程法测定两个龙眼品种叶面积研究[J].亚热带植物科学,2019,48(2):155-160.
- [10] 万信,李巧珍,方德彪,等.一种马铃薯叶面积校正系数的确定方法[J].资源科学,2012,34(8):1533-1537.
- [11] 唐力为,李倩,蒋云,等.藜麦叶面积校正系数的初步研究[J].四川农业科技,2021(9):65-67.
- [12] 李雁鸣.高粱[Sorghum bicolor (L.) Moench]叶面积校正系数(K值)的初步研究[J].河北农业大学学报,1993,16(3):31-36.
- [13] 李雁鸣.燕麦(Avena spp.)叶面积测定方法的初步研究[J].河北农业大学学报,1993,16(1):25-28.
- [14] 郁进元,何岩,赵忠福,等.长宽法测定作物叶面积的校正系数研究[J].江苏农业科学,2007(2):37-39.
- [15] 兰小中,王超,关法春,等.波棱瓜叶面积数学图像测定方法的研究[J].西南农业学报,2011,24(3):1222-1224.
- [16] 陆秀明,黄庆,孙雪晨,等.图像处理技术估测水稻叶面积指数的研究[J].中国农学通报,2011,27(3):65-68.
- [17] 李任辉,赵仲辉,李家湘.基于Photoshop软件测量植物叶面积的白纸背景法[J].湖南林业科技,2016,43(1):138-142,148.
- [18] 李莉.统计学原理与应用[M].南京:南京大学出版社,2019.
- [19] 陶洪斌,林杉.打孔称重法与复印称重法和长宽校正法测定水稻叶面积的方法比较[J].植物生理学通讯,2006,42(3):496-498.
- [20] 崔世钢,秦建华.图像处理法测定油菜叶面积的研究[J].湖北农业科学,2017,56(14):2756-2757,2767.
- [21] 白由路,杨俐苹.基于图像处理的植物叶面积测定方法[J].农业网络信息,2004(1):36-38.