

图像分辨率对草本植物根系形态学参数的影响

张泽悠 汪先军 郭水良

(上海师范大学 生命与环境科学学院, 上海 200234)

摘要: 应用 EPSON V7000 图像扫描仪, 选择不同的图像分辨率, 获得了北美车前 (*Plantago virginica*)、加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*)、小飞蓬 (*Conyza canadensis*) 和春飞蓬 (*Erigeron philadelphicus*) 4 种草本植物的根系图片, 应用 WinRhizo 根系分析软件测定了不同分辨率下的每种植物的根总长、总面积、总体积这 3 个参数. 结果表明: 不同分辨率测定对根系形态参数均存在明显影响, 分辨 (X) 和形态参数 (Y) 均符合: $Y = A \cdot e^{(B/X)}$, 拟合的相关系数均在 0.92 以上. 分析表明: 对于不同的植物, 既能保证数据精度又能有较高工作效率的图像分辨率并不相同. 例如北美车前和加拿大一枝黄花根系扫描时建议图像分辨率为 200 dpi, 而小飞蓬和春飞蓬的图像建议的分辨率为 400 dpi.

关键词: 图像分辨率; 根系形态参数; WinRhizo 根系分析软件

中图分类号: Q 948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-5137(2014)03-0273-006

0 引言

植物根系对于作物的生长发育和产量形成具有极其重要的影响, 但由于作物根系隐藏于地下, 人们对根系的了解, 是一个从自发认识到自觉研究的过程. 根系是植物的重要组成部分, 是植物生长发育、新陈代谢的主要营养器官. 根系形态参数是反映根系生长状况的主要因素, 通过定期测量和分析植物根系形态参数对于了解、研究植物的生长发育状况以及防治病虫害灾害均具有重要意义.

随着时代的发展, 计算机辅助电子影像分析系统的应用提高了根系测定的精度和效率, 避免了人为观察造成的主观影响. 如用 EPSON V7000 根系扫描仪以及与其配套的 WinRhizo 根系图像分析软件可以一次测定获得根系长度、面积、体积、平均直径、根尖数等多项指标, 广泛地运用于根系形态和构型研究^[1-3].

EPSON V7000 根系扫描仪的原理是, 利用高质量图形扫描仪获取高分辨率植物根系彩色图像或黑白图像, 该扫描仪在扫描面板下方和上盖中安装有专门的双光源照明系统, 并且在扫描板上预留了双光源校准区域. 此外, 还配备有不同尺寸的专用、高透明度根系放置盘. 扫描时, 扫描板下的光源和上盖板中的光源同时扫过高透明度根盘中的根系样品, 这样可以避免根系扫描时容易产生的阴影和不均匀等现象的影响, 有效地保证了获取的图像质量.

顾东祥等已经注意到了扫描仪得到的图像的灰度阈值对根系形态参数的影响^[4]. 他们发现, 使用根系分析软件需要调节灰度图像阈值来分析图像上粗细不同的根.

扫描仪有不同的分辨率, 不同分辨率的图像在应用根系分析软件获得的根系形态参数是否不同? 是

收稿日期: 2014-03-18

基金项目: 上海市科委项目 (11391901200, 12490502700); 上海市高校知识服务平台 - 上海市植物种质资源中心经费

通信作者: 郭水良, 中国上海市桂林路 100 号上海师范大学生命与环境科学学院, 邮编: 200234, E-mail: gsg@shnu.edu.cn

否影响到研究的结果?目前尚无人关注这一问题.另一方面,扫描仪分辨率高低决定了扫描仪所能记录的图像的细致程度.但是,扫描分辨率越大,获得的图像文件尺寸也越大,需要更长的时间、更多的内存.

本研究的目的是,应用北美车前(*Plantago virginica*)、加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)和春飞蓬(*Erigeron philadelphicus*)4种不同生活型的草本植物,通过不同分辨率下根系形态参数的比较,了解图像分辨率对根系形态参数分析结果的影响,并回答应该选择什么样的图像分辨率,既能保证数据的精度又能达到节约时间的目的.

1 材料与方法

于2012年3月从上海师范大学徐汇校园采集北美车前、小飞蓬、加拿大一枝黄花和春飞蓬这6种草本植物.

材料洗净后通过根系扫描仪测量记录4种植物的地下部分形态指标,每种植物均进行了5~8种不同分辨率的测定.其中,北美车前、酢浆草和加拿大一枝黄花均采用50、150、240、300、360、600、800 dpi 7个分辨率,小飞蓬和春飞蓬均采用50、150、240、300、360、600、800、2400 dpi 8个分辨率,牛繁缕采用0、150、240、300、360 dpi 5个分辨率.在此基础上,再应用扫描仪配套的WinRHIZO根系分析系统软件对根的长度、面积、直径、体积、根尖数、分叉数等进行定量分析.在获得根系各形态学参数的基础上,比较不同分辨率在根总长、根投影面积、根体积等方面的区别.

为了定量反映图像不同分辨率对根系形态数据的影响,选择根系形态学分析中最常用的根长、体积和面积3个指标,借助于Curve-Expert 1.3曲线拟合软件建立分辨率(X)和根系形态指标(Y)之间的函数关系,选择极统计上达到极显著相关的函数式表达两者之间的关系.

最后,对3个根系形态指标进行最大值标准化,以标准化后的数据为指标(Y),建立与图像分辨率之间的函数,应用EXCEL的作图功能,在同一图上反映3个根系指标随着图像分辨率变化而改变的特点,进而提出每种植物根系分析时的图像分辨率.

为进一步了解图像分辨率对根系其他形态指标的影响,以小飞蓬为例,将形态指标进行最大值标准化后,进一步分析了图像分辨率对根分叉数(fork)、根尖数(Tip),以及10个直径等级的根长、面积、体积等形态指标的影响.

2 结果与分析

4种草本植物根根系总长度、投影面积、总体积、平均直径等指标见表1、3(对应函数关系见表2,4).从表1、3和图1、2的结果来看,根系扫描时的分辨率选择对根系形态参数有强烈的影响.随着设置的图像分辨率的提高,根的总长度开始呈现指数式上升,后趋于某一值,而根的面积、体积和直径则开始呈指数式下降,后趋于某一值.4个形态指数(Y)与图像分辨率(X)的关系均可以用 $Y = A \cdot e^{(B/X)}$ 来表

表1 不同分辨率下北美车前、加拿大一枝黄花根系4个形态指标

分辨率/ dpi	时间/ s	北美车前				加拿大一枝黄花			
		总长/cm	面积/cm ²	体积/cm ³	直径/mm	总长/cm	面积/cm ²	体积/cm ³	直径/mm
50	40	63.0063	7.5581	0.712	1.1996	157.4607	28.7813	4.132	1.8278
150	53	102.8376	6.5999	0.333	0.6418	280.4467	23.9251	1.603	0.8531
240	56	109.3294	6.2907	0.284	0.5754	319.0924	23.1155	1.315	0.7244
300	60	118.8736	6.3004	0.262	0.53	359.2741	22.5105	1.108	0.6266
360	71	113.9872	6.1697	0.262	0.5413	351.0192	22.5181	1.135	0.6415
600	90	128.1649	6.208	0.236	0.4844	477.9386	22.2374	0.813	0.4653
800	180	133.2591	6.1415	0.222	0.4609	504.3973	21.9133	0.748	0.4344

表 2 表 1 各指标对应函数的关系

时间 / s	北美车前				加拿大一枝黄花			
	总长/cm	面积/cm ²	体积/cm ³	直径/mm	总长/cm	面积/cm ²	体积/cm ³	直径/mm
$Y = 0.1941X + 8.4599$ $R = 0.9866$	$y = 134.1850 \cdot e^{(-39.480/x)}$ $r = 0.9840$	$y = 6.0544 \cdot e^{(11.1572/x)}$ $r = 0.9947$	$y = 0.2177 \cdot e^{(59.3653/x)}$ $r = 0.9991$	$y = 0.4573 \cdot e^{(48.3386/x)}$ $r = 0.9981$	$y = 498.7082 \cdot e^{(-79.0631/x)}$ $r = 0.9236$	$y = 21.6410 \cdot e^{(14.3103/x)}$ $r = 0.9987$	$y = 0.8567 \cdot e^{(8.9295/x)}$ $r = 0.9933$	$y = 0.4999 \cdot e^{(65.2156/x)}$ $r = 0.9933$

表 3 不同分辨率下小飞蓬和春飞蓬根系 4 个形态指标

分辨率 / dpi	时间 / s	小飞蓬				春飞蓬			
		总长/cm	面积/cm ²	体积/cm ³	直径/mm	总长/cm	面积/cm ²	体积/cm ³	直径/mm
50	40	63.716	9.3741	1.083	1.4712	99.551	10.0556	0.798	1.0101
50	53	141.1214	7.0405	0.276	0.4989	186.6992	9.0282	0.343	0.4836
240	56	172.9429	6.6818	0.203	0.3864	229.2681	8.8095	0.266	0.3842
300	60	191.7169	6.3001	0.163	0.3286	242.433	8.6598	0.243	0.3572
360	71	188.0655	6.411	0.172	0.3409	239.5752	8.654	0.246	0.3612
600	90	223.5637	5.9077	0.123	0.2643	271.7129	8.3397	0.201	0.3069
800	180	227.259	5.8332	0.118	0.2567	283.2952	8.2901	0.191	0.2926
2400	483	249.0614	5.7911	0.106	0.2325	320.6786	8.3095	0.169	0.2591

表 4 表 3 各指标对应的函数关系

时间 / s	小飞蓬				春飞蓬			
	总长/cm	面积/cm ²	体积/cm ³	直径/mm	总长/cm	面积/cm ²	体积/cm ³	直径/mm
$Y = 0.1941X + 8.4599$ $R = 0.9866$	$y = 249.0477 \cdot e^{(-79.3021/x)}$ $r = 0.9903$	$y = 5.8444 \cdot e^{(23.9904/x)}$ $r = 0.9899$	$y = 0.1186 \cdot e^{(110.6885/x)}$ $r = 0.9985$	$y = 0.2525 \cdot e^{(88.2926/x)}$ $r = 0.9978$	$y = 306.5218 \cdot e^{(-66.1158/x)}$ $r = 0.9908$	$y = 8.3370 \cdot e^{(9.6799/x)}$ $r = 0.9802$	$y = 0.1909 \cdot e^{(71.8256/x)}$ $r = 0.9953$	$y = 0.2889 \cdot e^{(62.9251/x)}$ $r = 0.9947$

示, 而且两者的相关系数均在 0.99 以上 ($P < 0.001$).

将 4 个形态指标进行最大值标准化处理后, 形态指标 (Y) 与分辨率 (X) 的函数关系也均可以用 $Y = A \cdot e^{(B/X)}$ 来表达, 依据它们的函数式, 应用 EXCEL 作出了分辨率与形态指标关系的曲线图 (图 1、2).

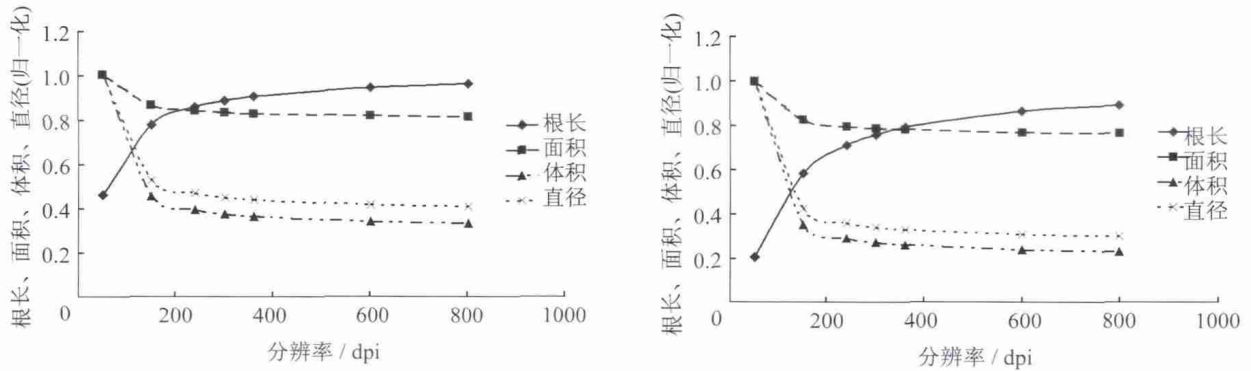


图 1 不同分辨率下北美车前(左)和加拿大一枝黄花(右)根的形态学参数

根据图 1、2 的特点, 考虑到 4 个指标的分析需要, 不同种类根系分析时 (至少在本案例研究中), 图像的分辨率要求不同. 例如对于北美车前和加拿大一枝黄花来说, 当图像分辨率在 200 dpi 以上后, 4 个形态的数据不再呈指数式变化, 而趋向于各自的某个数值, 考虑到工作时间, 建议采用 200 dpi 的分辨率

进行图像扫描.而对于小飞蓬和春飞蓬,在分辨率 200 dpi 时,根长这一指标尚没有达到稳定,根长这一指标在分辨率为 400 dpi 左右时达到基本平稳,对于这小飞蓬和春飞蓬,建议用 400 dpi 的分辨率采集图像进行根系形态参数的分析.

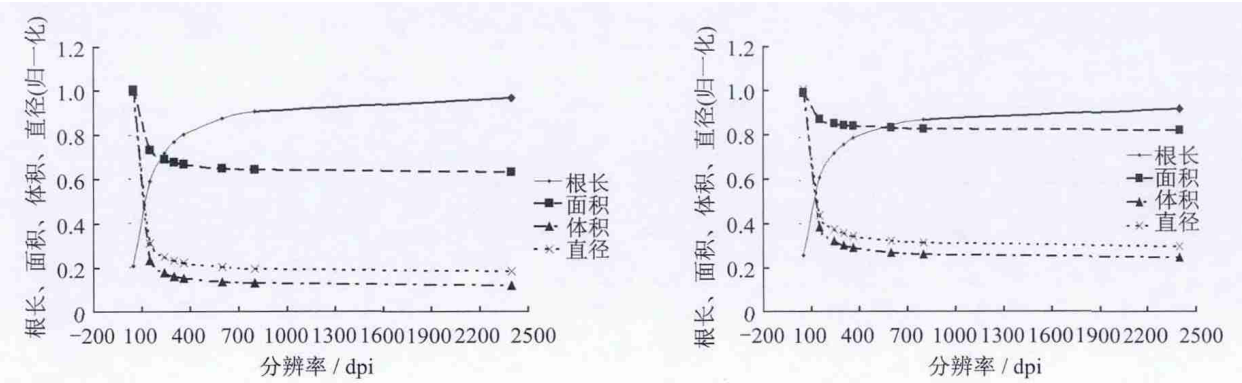


图2 不同分辨率下小飞蓬(左)和春飞蓬(右)根的形态学参数

以小飞蓬为对象,进一步的分析表明,扫描精度对根系不同直径等级的长度、面积和体积的影响也极为明显.随着图像分辨率由低到高,最细一级 ($1.5 < L \leq 2.0$) 的根长、面积和体积也同样呈现出先指数式变大,而后过了一定的分辨率后,形态指标变大的趋势趋缓,最后接近于某个值;而对于第 2、3 级 ($2.0 < L \leq 2.5$ 和 $2.5 < L \leq 3.0$) 的根长、面积和体积则呈现相反的趋势,即随着图像分辨率由低到高,这些指标值呈指数式的下降,而后过了一定的分辨率后,形态指标变小的趋势趋缓,最后接近于某个值(图 3);对于其他的直径等级下,图像分辨率对根长度、面积和体积也有强烈的影响,但是随着图像分辨率的由低到高的形态指标出现不规律的变化.

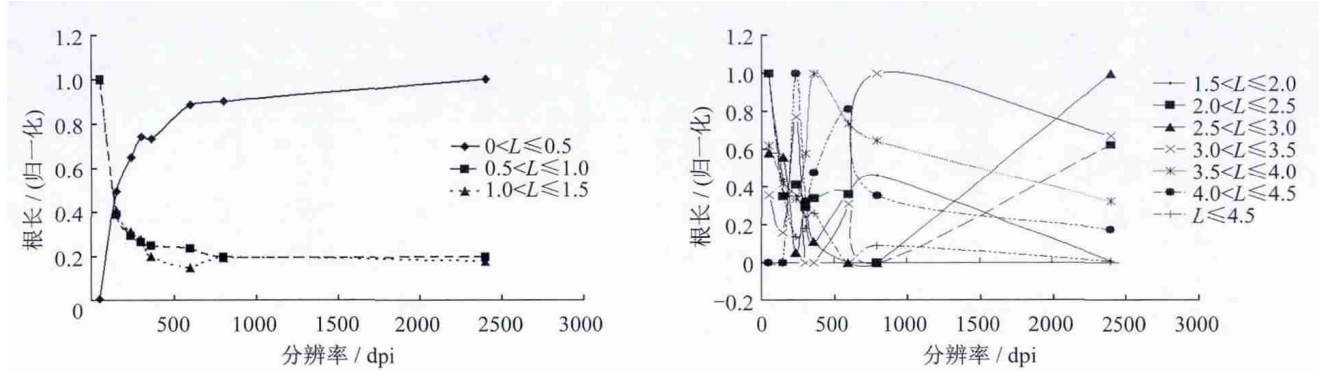


图3 不同分辨率下小飞蓬不同直径等级的根长参数变化

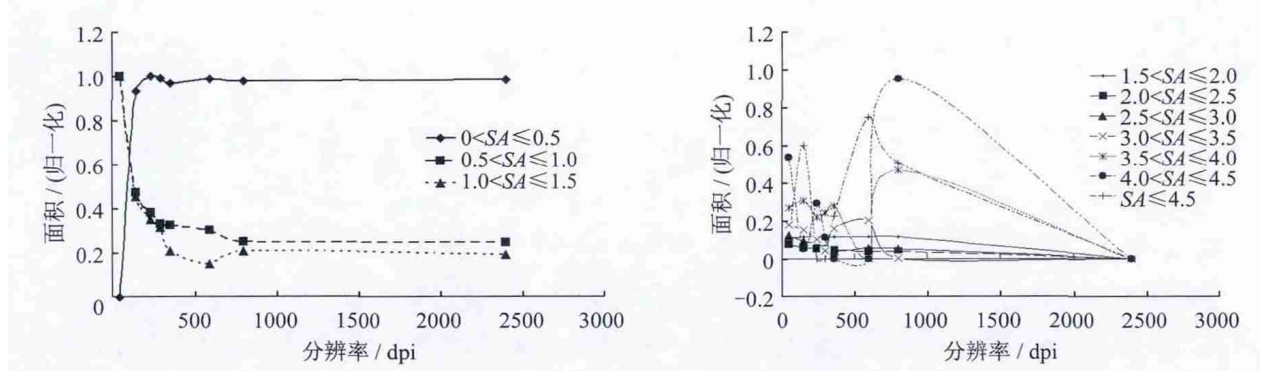


图4 不同分辨率下小飞蓬不同直径等级的面积参数变化

小飞蓬的根尖数、分叉数、根系的重叠数和连接数等形态指标也随着图像分辨率的变化而变化,都呈现由小到大的趋势,但是随着图像分辨(X)由低到高,根系交叠数(Crossing, Y)呈 $Y = 1252.0218 \cdot e^{(-208.4813/X)}$ ($r = 0.9811$) 变化,即先指数式提高,后趋缓趋稳,接近于某个值.根尖数(Y1)、根交叉数(Y2)和根系连接数(Y3)则呈线性增长,分别符合: $Y1 = 88.8862 + 1.6381 \cdot X$ ($r = 0.9951$), $Y2 = 214.5082 + 5.6604 \cdot X$ ($r = 0.9981$); $Y3 = 778.9116 + 9.3201 \cdot X$ ($r = 0.9970$).

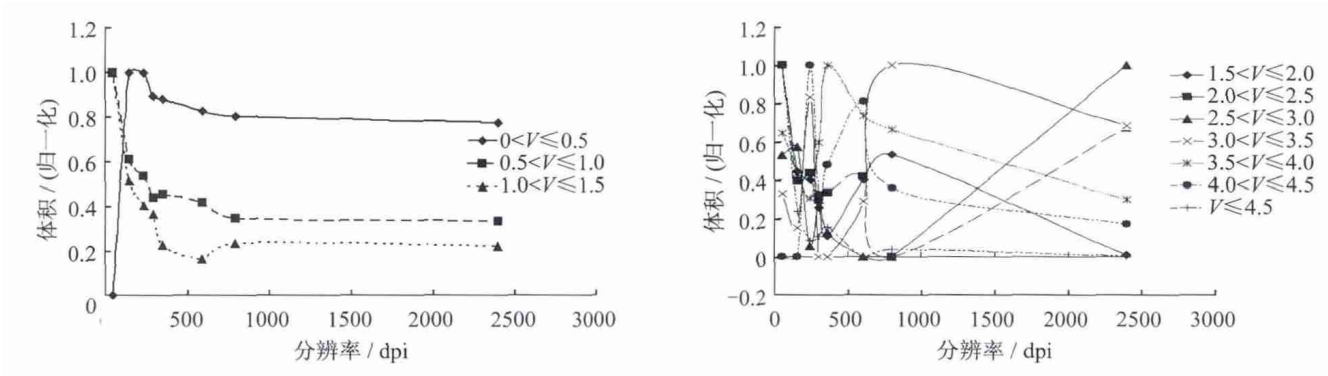


图5 不同分辨率下小飞蓬不同直径等级的体积参数变化

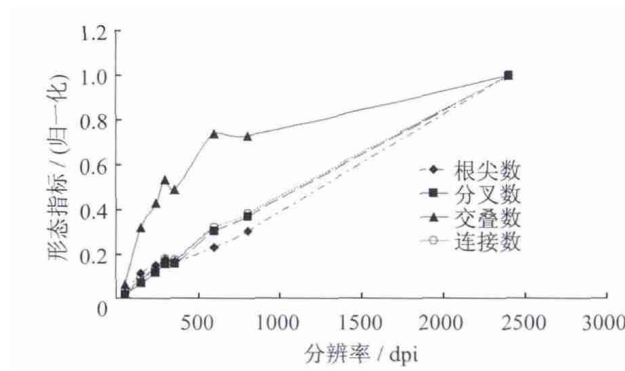


图6 不同分辨率下小飞蓬不同直径等级根尖数、分叉数、交叠数和连接数变化

3 结 语

根系分析仪能够高效地提供研究对象的根系形态学参数,通过根系特点来反映植物的生理和生长状态.但是图像的参数选择会对根系分析结果有影响.例如 WinRhizo 软件介绍中就提到,在分析根系图像中较细的分枝根时需要提高图像阈值,但是较高的阈值亦会增加粗根(如不定根)长度、表面积和体积等指标的测量误差^[5].

通过 EPSON V7000 根系扫描仪采集根系图像后,再应用与其配套的 WinRhizo 根系图像分析软件,能够一次得到根长、面积、体积、直径、根交叉数(fork)和根尖数(Tip)以及10个直径等级的根长、面积、体积等数据.本文作者定量分析了不同根系扫描精度前4个指标值的影响.结果表明:图像的扫描精度对于分析结果有强烈影响.以小飞蓬为例,进一步分析了图像分辨率对根分叉数、根尖数、交叠数和连接数的影响,发现图像分辨率对这些指标值的影响也极为强烈,而且在不同图像分辨下的数据变化特点更复杂.因此,在应用图像扫描和根系分析软件测定根系形态参数时,一定要注意图像分辨率对结果的影响,针对不同类群植物,需要开展预试验确定恰当的分辨率.

参考文献:

- [1] 方芳 郭水良 黄华 等. 北美车前的种群密度对地上和地下器官形态的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 12(5): 419-424.
- [2] 马献发 宋凤斌 张继舟. 根系对土壤环境胁迫响应的研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(5): 44-48.
- [3] 向小亮 宁书菊 魏道智. 根系的研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17): 105-112.
- [4] 顾东祥 汤亮 曹卫星 等. 基于图像分析方法的水稻根系形态特征指标的定量分析[J]. 作物学报, 2010, 36(5): 810-817.
- [5] Regent Instruments Inc. WinRhizo Basic, Reg & Pro for Washed Root Measurement (User's Guide) [M]. Québec, QC: Regent Instruments Inc, 2005.

Influences of image resolution on herbaceous root morphological parameters

ZHANG Zeyou, WANG Xianjun, GUO Shuiliang

(College of Life and Environmental Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: Root images of four herbaceous species (including *Plantago virginica*, *Solidago canadensis*, *Conyza canadensis* and *Erigeron philadelphicus*) were obtained by using EPSON V7000 scanner with different resolutions. Root morphological parameters including root length, diameter, volume and area were determined by using a WinRhizo root analyzing software. The results show a distinct influence of image resolution on root morphological parameter. For different herbaceous species, the optimal resolutions of root images which would produce an acceptable precision with relative short time, vary with different species. For example, a resolution of 200 dpi was recommended for the root images of *Plantago virginica* and *S. Canadensis*, while 400 dpi for *Conyza canadensis* and *E-rigeron philadelphicus*.

Key words: image resolution; root morphological parameter; WinRhizo root analyzing software

(责任编辑: 顾浩然)