

基于分形理论的水稻单产计算机视觉预测技术*

龚红菊 於海明 姬长英

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 以武育梗3号为试验品种,用自制计算机视觉系统,拍摄成熟期水稻群体图像,应用分形理论分析水稻群体图像的分形特征,在此基础上提取了图像的差分计盒维数和多重分形曲线;并进一步分析得出水稻单位面积产量与水稻图像分形维数具有线性相关关系,最后建立水稻单位面积产量模型,模型精度为92.57%。

关键词: 水稻 单产 预测 计算机视觉 分形

中图分类号: S03; TP399 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)08-0166-05

Per-square-meter Yield Estimation of Paddy Based on Fractal Analysis

Gong Hongju Yu Haiming Ji Changying

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

A method for estimating paddy yield on the basis of the fractal theory was proposed. The paddy variety was Wuyujing No 3. The image samples of mature paddy were obtained by the self-developed computer vision system. The fractal feature parameters of the images were analyzed. The linear correlation between the fractal dimension and per-square-meter yield of paddy was studied. The mathematical model was established and accuracy reached to 92.57%.

Key words Paddy, Per-square-meter yield, Estimation, Computer vision, Fractal

引言

分形理论在非规整几何图像特征的描述、提取方面具有独特的优势,在农业工程领域有着广泛应用^[1-10],刘桃菊^[9]对水稻根系、穗、茎叶的分形特征作了分析研究,但基于水稻分形特征的产量预测研究还未见报道。

本文在分析水稻群体分形特征基础上,提取水稻群体差分计盒维数和多重分形曲线,并在此基础上研究分维数与水稻单位面积产量的线性相关关系,建立基于分形维数的水稻单位面积产量预测数学模型。

1 材料和方法

1.1 水稻样本准备

试验水稻品种为武育梗3号,选取南京农业大

学江浦试验农场为试验地,每块试验地面积为10 m × 8 m。试验地土质肥力中等,地势平坦,排灌条件好,阳光充足,前茬作物为小麦。水稻样本种植时,以行距、株距、施肥量为因素,各因素下5个水平做三因素五水平的正交试验,获得呈正态分布的产量样本。水稻成熟期,从不同试样型区选取生长均匀、相对整齐的100 cm × 100 cm的水稻群体作为试验样本。用感量为0.1 g的JY12001型电子天平称取各样本的单位面积产量如表1所示。

1.2 计算机视觉系统

计算机视觉系统(图1)主要由自行设计的田间图像采集支架、摄像头(MVC-2000型)、便携式计算机、分形维数提取程序4部分组成。

拍摄水稻样本图像的光照强度为50~60 klx,在该范围内光照强度对分形维数的影响可以忽略^[11]。拍摄区域为100 cm × 80 cm,摄像头位于拍

表 1 水稻样本的单位面积产量

Tab. 1 Square meter yield of paddy samples

试样序号	产量/kg·m ⁻²	试样序号	产量/kg·m ⁻²
s1	0.483 5	s14	1.030 6
s2	0.785 5	s15	0.650 6
s3	0.930 6	s16	0.664 8
s4	0.729 2	s17	0.817 0
s5	0.875 2	s18	0.647 5
s6	0.761 6	s19	0.848 0
s7	0.693 1	s20	0.792 0
s8	1.031 2	s21	0.866 8
s9	0.561 5	s22	0.811 2
s10	0.619 3	s23	0.961 7
s11	0.746 8	s24	0.813 7
s12	0.529 5	s25	0.730 7
s13	0.687 9		

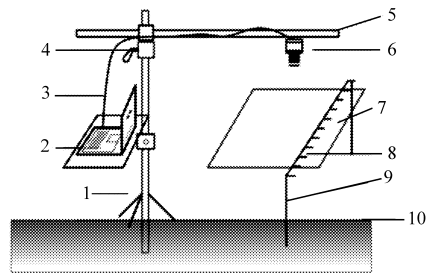


图 1 机器视觉系统

Fig. 1 Machine vision system

- 1. 立柱及支撑 2. 计算机 3. 数据线 4. 定位块 5. 水平悬臂
- 6. 摄像头 7. 作物成像平面 8. 标尺 9. 标尺支撑 10. 地面

摄区域正上方 105 cm 处,拍摄的水稻群体图像像素为 1 600 × 1 200,为去除试验时标尺等试验器材对边缘水稻群体正常生长状况的影响和后期计算的需要,对原始图像的大小作了裁剪。统一以图像中心为基准点,将水稻图像剪裁成为 1 024 × 1 024,如图 2a 所示。

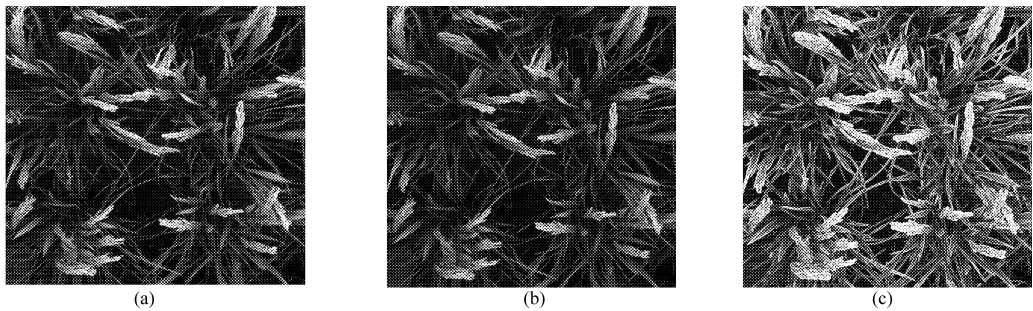


图 2 水稻群体图片

Fig. 2 Image of paddy plants

- (a) 剪裁图 (b) 灰度图 (c) Krisch 边缘检测

1.3 图像处理

水稻群体图像中植株、穗头错综复杂,水稻叶片、茎、穗头的边缘蕴含了丰富的内在信息,如方向、阶跃性质、形状等,所以对水稻图像进行灰度化处理和边缘提取。灰度化处理采用 R (红色分量)、 G (绿色分量)、 B (蓝色分量)平均值法,处理后图像如图 2b 所示。

图像边缘是灰度变化比较剧烈的地方,在灰度变化突变处进行微分产生高值,采用 Krisch 边缘检测算子^[12]检测后如图 2c 所示。Krisch 算子检测的图像边缘清晰,水稻植株各细节特征较灰度图有明显增强。

1.4 分形维数提取

目前,比较常用的分形维数提取方法有计盒维数法、差分计盒维数法和多重分维数法。计盒维数法的测量对象为图像处理后的二值图像,差分计盒维数法和多重分维数法测量对象为处理后的灰度图像,其中多重分维数法可以测出不同测度下的维数

曲线^[13]。

在实际使用中,与计盒维数法相比较,差分计盒维数法不仅考虑了被测对象分布,还考虑了被测对象的灰度信息;与多重分维数法相比,差分计盒维数法原理简单,容易实现。所以在实际使用中差分计盒维数法应用最为广泛。多重分维数法在研究识别具有微小差别的物体对象时应用较多,本文应用差分计盒维数法和多重分维数法提取水稻群体图像分维数。

1.4.1 差分计盒维数法计算原理

将预处理过的 1 024 × 1 024 像素的灰度图像想象成三维空间中的曲面, x, y 表示平面位置, z 轴表示灰度值。以 s 为边长将 1 024 × 1 024 分割成 $s \times s$ 的子块($1 \leq s \leq 512, s$ 为整数),令比率 $r = s/1 024$,则 xy 平面被分割成许多 $s \times s$ 的网格。在每个网格上,是一列 $s \times s \times s'$ 的盒子,这里 s' 表示盒子的高度,满足 $\frac{1 024}{s} = \frac{T}{s'}$, T 为总的灰度级数。设图像灰度在第 (i, j) 网格中的最小值和最大值分别落在第 k 个

和第 l 个盒子中,令覆盖第 (i,j) 网格中的图像所需的盒子数为 $n_r(i,j)$,覆盖整个图像所需的盒子数为 N_r ,则

$$n_r(i,j) = l - k + 1$$

$$N_r = \sum_{i,j} n_r(i,j)$$

差分计盒维数

$$D_{BC} = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\lg(N_r)}{\lg(1/r)} \quad (1)$$

1.4.2 多重分维数法原理

基于 Reny 广义维数的多重分形理论是从信息论角度引入 $q-D_q$ 关系。

引入一个配分函数

$$c(q,r) = \sum_{i,j} [n_r(i,j)]^q \approx r^{\tau(q)} \quad (2)$$

推导得到 τ_q 和 D_q 的关系^[14]

$$D_q = \begin{cases} \tau(q)/(1-q) & (q \neq 1) \\ -\tau'(1) & (q = 1 \text{ 且 } \tau(q) \text{ 可微}) \end{cases} \quad (3)$$

式中 $\tau(q)$ 由式(2)得到。

当 $q=1$ 时, D_1 是信息维。当 $q=2$ 时, D_2 是关联维。

2 试验结果

2.1 差分计盒维数法数据处理

以试样 25 为例,对水稻群体图像用差分计盒维数法得到的 $r-N_r$ 数组,输出 $\lg(1/r)-\lg(N_r)$ 散点图如图 3 所示。由图看出,差分计盒维数法测得的 $\lg(1/r)-\lg(N_r)$ 散点图明显呈线性相关关系,图中直线斜率即为水稻群体差分计盒维数 D_{BC} 。测得试样的差分计盒维数如表 2 所示。

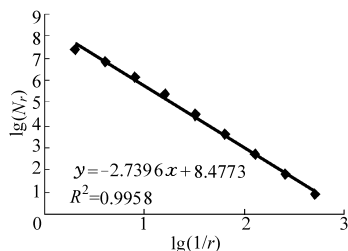


图 3 水稻群体图像 $\lg(1/r)-\lg(N_r)$ 关系图

Fig. 3 Relationship between the $\lg(1/r)$ and $\lg(N_r)$

2.2 多重分形维数法数据处理

应用多重分形理论分析水稻分形维,每一个水稻群体图像就会得到一组 $q-D_q$ 数据,以 13 号和 15 号试样为例, $q-D_q$ 关系如图 4 所示。由图中可以看出,对于同一个水稻群体图像,随着式(2)中配分函数中指数 q 的变化,水稻图像分形维数也在变化。而且,当 $q=0$ 时,图像分形维为 $D_0=2$;当 $q>0$ 时,随着指数 q 的增大,图像分形维数不断变小,趋近于 $D_q=0$,但不等于零;当 $q<0$ 时,图像的分形维数不

断增大并趋近于 $D_q=3$ 。对于 2 个不同的水稻群体图像,当 $q=0$ 时,图像分形维相等,都恒等于 2;当 $q<0$ 时,2 个图像的分形维差别较大; $q>0$ 时,2 个图像的分形维数差别较小。

表 2 水稻试样差分计盒维数

Tab. 2 D_{BC} of different paddy sample

试样序号	差分计盒维数 D_{BC}	试样序号	差分计盒维数 D_{BC}
1	2.672 6	14	2.626 8
2	2.639 8	15	2.697 6
3	2.621 4	16	2.778 2
4	2.637 2	17	2.629 6
5	2.650 3	18	2.679 6
6	2.667 8	19	2.669 3
7	2.679 2	20	2.636 4
8	2.626 8	21	2.651 4
9	2.708 0	22	2.649 9
10	2.773 8	23	2.663 6
11	2.640 8	24	2.683 5
12	2.774 9	25	2.736 9
13	2.787 0		

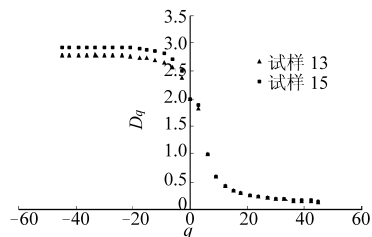


图 4 水稻群体图像多重分形 $q-D_q$ 图

Fig. 4 Relationship between q and D_q

2.3 相关性分析及单位面积产量模型建立

2.3.1 差分计盒维与单位面积产量相关关系分析

为找出水稻图像差分计盒维数与水稻单位面积产量之间的相关关系,用最小二乘法对 25 个水稻群体图像的差分计盒维数 D_{BC} 与对应的单位面积产量进行线性拟合,结果如图 5 所示。拟合后的相关系数 $R^2 = 0.401 8$, $F = 15.448 7$, F 检验的临界值 $F_{0.001}(1,24) = 14.03$,即 $F > F_{0.001}(1,24)$,因此水稻群体差分计盒维数 D_{BC} 与单位面积产量线性相关关系显著。

2.3.2 多重分形维数 D_q 与单位面积产量相关关系分析

在计算多重分形 $q-D_q$ 数据组时,程序中 q 的步长值取为 1,也即当 $q=0,1,2,3,\dots$ 时,分别计算相应的 D_0, D_1, D_2, \dots 。为研究多重分形维各分维与单位面积产量的相关关系,用最小二乘法对两者进行线性拟合,当置信度 $\alpha = 0.005$, $q=5$ 时, D_5 与单

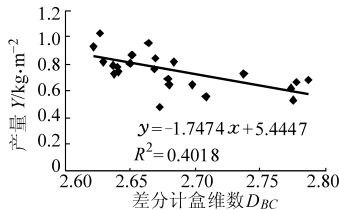


图 5 水稻图像差分分盒维数与产量相关关系

Fig. 5 Correlativity between the different box-counting dimension and the yield of paddy sample

位面积产量的相关关系最显著,拟合图如图 6 所示。
 $R^2 = 0.5153, F = 24.45, F > F_{0.001}(1, 24)$ 。

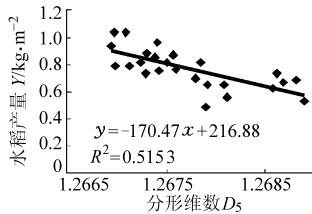


图 6 D_5 与单位面积产量相关关系

Fig. 6 Correlativity between D_5 and the per-square-meter yield of paddy

2.3.3 单位面积产量模型

从前面得到的结果可以看出,多重分形维中维数 D_5 与单位面积产量的线性相关性比差分分盒维数 D_{BC} 与单位面积产量的线性相关性高,因此建立基于分形维的水稻单位面积产量模型时分形维数参数采用多重分形维中的维数 D_5 。

2.4 模型验证

验证样本分为 3 批,第 1 批为 2007 年与建模同季度同品种的武育梗 3 号,共 19 个样本;第 2 批为 2008 年度的武育梗 3 号,共 10 个样本;第 3 批为 2008 年度的镇稻 8 号,共 10 个样本。在晴好无云天气拍摄验证图像样本,进行图像预处理后,提取图像多重分形维的维数 D_5 ,根据产量模型计算得到预测产量 Y_p ,单位面积产量相对误差 $E = \frac{Y_p - Y_a}{Y_a} \times 100\%$ (Y_a 为实测产量值),列于表 3 中。由表可以看出,2007 年验证样本(同年度、同品种)的残差范围为 0.005 7 ~ 0.096 0 kg,平均相对误差为 7.49%;2008 年样本(不同年度、同品种)残差为 0.012 8 ~ 0.074 7 kg,平均相对误差为 7.23%;2008 年样本(不同样本、不同品种)残差为 0.032 4 ~ 0.089 1 kg,平均相对误差为 7.52%。所有参与模型验证的样本平均误差为 7.43%。结果表明,模型对 3 批验证样本(不同品种,不同年份)进行产量预测,样本间平均相对误差差别不大。

为检验模型的可信度,用后验差精度等级方法^[15]判定该模型精度为勉强合格。

表 3 水稻单位面积产量模型验证

Tab. 3 Precision check of the model

序号	D_5	Y_p /kg·m ⁻²	Y_a /kg·m ⁻²	残差 /kg	误差/%
1	1.268 0	0.725 5	0.786 6	-0.061 1	7.77
2	1.267 0	0.890 5	0.808 5	0.082 0	10.14
3	1.267 0	0.887 9	0.868 5	0.019 4	2.23
4	1.267 7	0.778 0	0.702 6	0.075 4	10.73
5	1.267 0	0.891 2	0.852 9	0.038 3	4.49
6	1.268 6	0.621 3	0.702 6	-0.081 3	11.57
7	1.267 1	0.876 8	0.944 6	-0.067 8	7.18
8	1.269 1	0.531 7	0.445 7	0.086 0	19.30
9	1.267 0	0.898 8	0.961 2	-0.062 4	6.49
10	1.267 1	0.879 8	0.904 4	-0.024 6	2.72
11	1.267 9	0.741 2	0.758 1	-0.016 9	2.23
12	1.267 3	0.841 2	0.766 1	0.075 1	9.80
13	1.267 7	0.772 0	0.745 3	0.026 7	3.58
14	1.267 1	0.872 6	0.809 3	0.063 3	7.82
15	1.267 1	0.875 7	0.956 3	-0.080 6	8.43
16	1.267 3	0.843 7	0.939 9	-0.096 2	10.24
17	1.266 9	0.903 2	0.842 9	0.060 3	7.15
18	1.267 7	0.768 1	0.849 5	-0.081 4	9.58
19	1.267 9	0.739 6	0.733 9	0.005 7	0.78
20	1.267 8	0.756 8	0.691 1	0.065 7	9.51
21	1.267 6	0.798 9	0.923 7	-0.124 8	13.51
22	1.267 7	0.778 3	0.765 5	0.012 8	1.67
23	1.268 3	0.678 5	0.735 4	-0.056 9	7.74
24	1.269 1	0.532 1	0.602 8	-0.070 7	11.73
25	1.268 0	0.721 3	0.779 4	-0.058 1	7.45
26	1.267 3	0.845 1	0.826 0	0.019 1	2.31
27	1.268 3	0.675 2	0.654 1	0.021 1	3.23
28	1.267 4	0.824 1	0.776 7	0.047 4	6.10
29	1.267 9	0.749 1	0.823 8	-0.074 7	9.07
30	1.267 3	0.851 4	0.819 0	0.032 4	3.96
31	1.268 5	0.646 8	0.711 9	-0.065 1	9.14
32	1.267 8	0.754 2	0.693 2	0.061 0	8.80
33	1.268 2	0.692 1	0.745 6	-0.053 5	7.18
34	1.268 0	0.724 5	0.687 5	0.037 0	5.38
35	1.267 7	0.775 6	0.824 5	-0.048 9	5.93
36	1.267 8	0.751 5	0.701 8	0.049 7	7.08
37	1.267 4	0.821 3	0.732 2	0.089 1	12.17
38	1.267 0	0.894 5	0.839 8	0.054 7	6.51
39	1.268 3	0.678 9	0.746 2	-0.067 3	9.02

注:序号 1 ~ 19 试样为 2007 年的武育梗 3 号,20 ~ 29 为 2008 年武育梗 3 号,30 ~ 39 为 2008 年镇稻 8 号。

3 结论

(1) 水稻群体图像具有分形特征。

(2) 基于水稻群体灰度图,提取了图像的差分计盒维数和多重分形曲线。结果表明当计算多重分

形时所定义的配分函数的指数 q 等于 5 时,计算出的分形维数与水稻群体的单位面积产量线性相关最显著。

(3) 基于水稻群体图片分形维数,建立了水稻单位面积产量数学模型,模型精度为 92.57%。

参 考 文 献

- 1 徐梦洁,彭补拙. 江苏省粮食产量吸引子维数研究[J]. 人文地理,2001,16(3):53~56.
Xu Menjie, Peng Buzhuo. A study on the magnet dimension of food production in Jiangsu province[J]. Human Geography, 2001,16(3):53~56. (in Chinese)
- 2 Valdez-Cepeda R D, Olivares-Saenz E. Fractal analysis of Mexico's annual mean yields of maize, bean, wheat and rice[J]. Field Crops Research, 1998,59(1):53~62.
- 3 金燕,郑永冰,陈文章. 粮食产量预测的分形方法[J]. 辽宁农业科学, 2005(1):45~46.
- 4 Chtioui Y, Bertrand D, Dattee Y, et al. Identification of seeds by color imaging: comparison of discriminant analysis and artificial neural networks[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1996,71(4):433~441. (in Chinese)
- 5 Chtioui Y, Bertrand D, Barba D. Feature selection by a genetic algorithm, application to seed discrimination by artificial vision [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1998,76(1):77~86.
- 6 Pablo M, Granitto PFV, Alejandro Ceccatto. Large-scale investigation of weed seed identification by machine vision [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005,47(1):15~24.
- 7 Grantioo P M, Navone H D, Verdes P F, et al. Weed seeds identification by machine vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002,33(2):91~103.
- 8 任宪忠,汪春,雷溥,等. 小麦籽粒形状参数分形特性研究及应用[J]. 农业机械学报,2005,36(10):85~87.
Ren Xianzhong, Wang Chun, Lei Pu, et al. Study on fractional characteristics of wheat kernel shape parameter and its application on agricultural engineering[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(10):85~87. (in Chinese)
- 9 刘桃菊,唐建军,戚昌瀚. 水稻形态的分形特征及其可视化模拟研究[J]. 江西农业大学学报:自然科学版,2002,24(5):583~586.
Liu Taoju, Tang Jianjun, Qi Changhan. A study on the fractal characters and the visual simulation of rice morphology[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis: Science Edition, 2002,24(5):583~586. (in Chinese)
- 10 龚国淑,张世榕. 植物病害病斑形状的分形研究[J]. 植物保护,2002,28(6):9~13.
Gong Guoshu, Zhang Shirong. Fractal analysis of patch patterns on plant diseases[J]. Plant Protection, 2002,28(6):9~13. (in Chinese)
- 11 龚红菊. 基于分形理论及图像纹理分析的水稻产量预测方法研究[D]. 南京:南京农业大学,2008.
Gong Hongju. Estimating the paddy yield basing fractal and texture theory[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 12 杨淑莹. VC++图像处理程序设计[M]. 第2版. 北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2005:282~283.
- 13 Chaudhuri B B, Sarkar N, Kundu P. An improved fractal geometry based texture segmentation technique[J]. IEE Proc. E: Computers and Digital Techniques, 1993,140(5):233~241.
- 14 鲜明,庄钊文,肖顺平,等. 基于混沌、多重分形理论的雷达信号分析和目标识别[J]. 电子科学学刊,1998,20(4):433~439.
Xian Ming, Zhuang Zhaowen, Xiao Shunping, et al. The chaos and multifractal theory based radar signal processing and radar target recognition[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 1998,20(4):433~439. (in Chinese)
- 15 郭伏,钱省三. 人因工程学[M]. 北京:机械工业出版社,2006.