

杂草种子视觉不变特征提取及其种类识别

赵文仓, 王军欣

(青岛科技大学自动化与电子工程学院, 青岛 266042)

摘要: 为提高杂草种子的快速准确的检疫鉴定, 该文基于杂草种子生物稳定遗传特征对其进行视觉不变特征提取及其种类识别的研究。首先基于形态学特征和 Hu 氏不变矩提取杂草种子的 16 个视觉不变特征, 这些特征有效地表征了杂草种子的生物稳定遗传特征信息; 然后基于神经网络对其进行分类。试验证明, 利用提取出的具有视觉不变性的 16 个特征值作为 BP 神经网络识别分类的特征集, 能快速地识别杂草种子, 且具有较高的识别率。因此, 该方法对植物检疫和农业生产具有重要意义。

关键词: 杂草种子, 生物稳定遗传特性, 视觉不变性, 特征提取

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.030

中图分类号: S126, S451.0

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0158-04

赵文仓, 王军欣. 杂草种子视觉不变特征提取及其种类识别[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 158—161.

Zhao Wencang, Wang Junxin. Feature extraction based on visual invariance and species identification of weed seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 158—161. (in Chinese with English abstract)

0 引言

杂草对农业生产有很大的危害。全世界每年都会因草害致使农作物减产, 造成巨大损失。加强和提高对杂草种子检疫鉴定手段和方法, 以符合和适应检疫鉴定准确、快速之要求, 至关重要^[1]。

近年来杂草种子特征提取的方法主要有基于形状、纹理和颜色来展开的。Zayas^[2]在对样本中小麦和非小麦的图像识别中, 选用的参数不具有旋转不变性, 需要手工操作增加了工作的负担。Yonekawa^[3]等对紧密度、圆度、伸长度等参数进行评价, 认为这些简单无量纲形状参数是非常有效的。龙满生等^[4]以长宽比、圆度、第一不变矩 3 种形状特征作为输入, 采用 BP 网络识别出杂草种子幼苗和杂草, 识别率分别为 87.5% 和 93.0%。J. Paliwal 等^[5]提取出五类谷物的 230 个特征 (包括 56 个纹理、51 个形态、123 个颜色), 由于外形和大小相近, 识别率为 90%。郑宇^[6]提出了面积、周长、长轴、短轴、最大/小半径等 13 个种子形状特征参数的检测方法, 并编程实现了这些形状特征参数的自动提取。然而, 大部分研究都仅仅针对特征参数本身展开的, 不具有可区别性、可靠性、独立性和数目小等特点。

本文从杂草种子本身的生物稳定遗传学特点出发, 提取出符合生物稳定遗传特征的具有视觉不变性的形状特征和 Hu 氏不变矩特征, 然后运用 BP 神经网络对杂草

种子识别, 提高了识别的准确性和效率。

1 稳定视觉不变特征提取

视觉不变性是指经过某些变化仍能被视为同一模式, 在不同时期和不同形态下特征保持稳定, 具有旋转、平移和尺度不变性。由各种杂草种子组成的群体具有相对稳定的遗传特征。在生物学和形态学上具有相对一致性, 并能与其他种子在特征、形态上有所区别^[7]。

本文中为了表征杂草种子的生物稳定遗传特征采用了 2 种方法, 一种是提取其形态学特征, 另一种 HU 氏不变矩特征。

1.1 生物稳定遗传形态学特征

种子的外形主要是由生物的基因决定的, 呈多样性且相对稳定, 其形状和表面特征等各有不同, 即使是同种种子的不同品种其特征也有所差别^[8]。良好的特征能充分反映杂草种子的信息, 能够提高运算速度、区分性好, 并且能够快速、方便的获取。本文对杂草种子生物稳定遗传形态学特征提取的步骤见图 1。

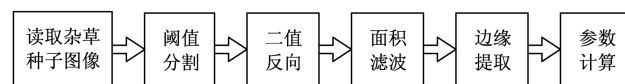


图 1 杂草种子提取步骤

Fig.1 Weed seed extract steps

形状特征的提取是指图像在二值反向、阈值分割、边缘检测等处理基础上, 进一步提取出特征参数的过程^[9]。本文参照了生物稳定遗传学中常用的形态特征参数, 主要包括种子和种脐的面积、周长、原形度、长轴长度、短轴长度、长轴/短轴、质心等 (见图 2 所示)。

在此基础上, 结合提取出的种子图像几何特征中有些只具有平移不变, 不具有比例不变性的特点。本文提

收稿日期: 2010-07-09 修订日期: 2010-12-23

基金项目: 山东省自然科学基金项目 (Y2007G32); 青岛市应用基础研究项目 (09-1-3-52-JCH); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目 (BS2009DX001)

作者简介: 赵文仓 (1973—), 男, 副教授, 主要从事图像处理与模式识别方面的研究工作。青岛 青岛科技大学自动化与电子工程学院, 266042。Email: wencangzhao@gmail.com

取了一系列对杂草种子品种识别贡献较大的新特征参数,即种子、种脐质心距离与种子长轴比 f_1 、种子质心与种脐质心之间夹角 f_2 、种子面积与种脐面积比 f_3 、种子周长与种脐周长比 f_4 、种脐圆形度 f_5 、种子圆形度 f_6 、种子长轴与种脐长轴之比 f_7 、种子周长与种脐长轴之比 f_8 和种

子分长轴比 f_9 。

对兵豆、扁平豌豆、匍匐车轴草等 25 类种子分别取其原图、放大 2 倍、放大 1 倍、缩小到原图的 1/2 和 1/4, 每幅图片分别做顺时针旋转 45°、旋转 90°操作, 计算每幅图像的基本特征参数, 并取其平均值, 结果见表 1。

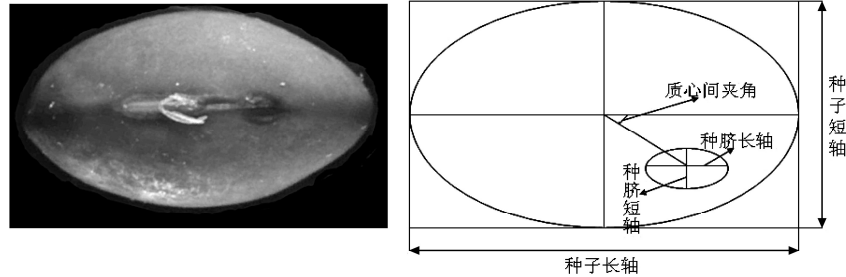


图 2 生物稳定遗传形态学特征

Fig.2 Biological stability genetic character

表 1 兵豆等的 9 个特征参数

Table 1 Nine characteristic parameters of of weed seeds

| | | f_1 | f_2 | f_3 | f_4 | f_5 | f_6 | f_7 | f_8 | f_9 |
|-------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 兵豆 | 原图 | 0.22078 | 0.5337 | 27.0131 | 2.9636 | 72.6298 | 23.6139 | 2.3333 | 7.3939 | 2.2083 |
| | 2 倍 | 0.22126 | 0.5337 | 27.1906 | 2.9735 | 72.0805 | 23.4382 | 2.3520 | 7.4337 | 2.1793 |
| | 0.5 倍 | 0.2155 | 0.5337 | 27.7805 | 2.9677 | 75.0049 | 23.7795 | 2.32 | 7.36 | 2.2222 |
| | 4 倍 | 0.2267 | 0.5085 | 39.6289 | 3.0878 | 96.5746 | 23.2358 | 2.3948 | 7.5792 | 2.2351 |
| | 0.25 倍 | 0.2069 | 0.4993 | 34.9024 | 2.9677 | 93.7561 | 23.659 | 2.32 | 7.36 | 2.2222 |
| 扁平豌豆 | 原图 | 0.3474 | 1.2634 | 35.6138 | 5.0405 | 32.7904 | 23.3929 | 4.2222 | 16.5778 | 1.6389 |
| | 2 倍 | 0.3492 | 1.2634 | 35.5359 | 5.0822 | 31.8387 | 23.1414 | 4.20 | 16.4889 | 1.6620 |
| | 0.5 倍 | 0.3368 | 1.2588 | 36.4601 | 5.1944 | 31.8037 | 23.5363 | 4.3182 | 17 | 1.6389 |
| | 4 倍 | 0.3474 | 1.2550 | 38.8045 | 5.3881 | 30.9641 | 23.1657 | 4.4444 | 17.4561 | 1.6855 |
| | 0.25 倍 | 0.3333 | 1.2679 | 37.45 | 4.7 | 40 | 23.5941 | 4 | 15.6667 | 1.6667 |
| 匍匐车轴草 | 原图 | 0.2443 | 1.1732 | 76.3228 | 8.7778 | 21.2598 | 21.4622 | 9.6087 | 34.3478 | 1.5402 |
| | 2 倍 | 0.2466 | 1.1852 | 88.1880 | 9.5241 | 20.8916 | 21.4887 | 10.5238 | 37.6429 | 1.5402 |
| | 0.5 倍 | 0.2342 | 1.1903 | 84.7093 | 8.8636 | 22.5116 | 20.8785 | 10.0909 | 35.3546 | 1.5227 |
| | 4 倍 | 0.2455 | 1.1792 | 94.1139 | 9.6451 | 21.0120 | 20.7694 | 10.6506 | 37.6506 | 1.5549 |
| | 0.25 倍 | 0.2321 | 1.2036 | 108.059 | 9.0455 | 28.4706 | 21.5574 | 9.3333 | 33.1667 | 1.4348 |

由表 1 可以看出, 提取的参数具有可区别性、独立性和数目小等生物稳定遗传特点, 同时特征值具有尺度不变性的视觉不变特点, 这些特征可作为 BP 神经网络识别分类的特征集。

1.2 生物稳定遗传的 Hu 氏不变矩

矩是一种非常重要的表示目标总体形状的特征量^[10]。它对图像的旋转、缩放、平移均不敏感, 能有效地反映杂草种子的生物稳定遗传特征。利用笛卡尔坐标系下归一化的中心矩推导出 7 个矩不变量为

$$\begin{aligned}
 \phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\
 \phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\
 \phi_3 &= (\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\
 \phi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\
 \phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\
 &\quad (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
 \phi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\
 &\quad 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] - \\
 &\quad (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]
 \end{aligned}$$

式中 η_{pq} 为图像的 $(p+q)$ 阶中心矩。

在不变矩的识别过程中, 如果不变矩特征值愈小, 对识别率的贡献率就愈小^[11]; 相反, 特征值愈大, 对识别率的贡献率也愈大。因此先取平方, 再对其取对数, 故实际采用的不变矩为

$$\phi_k = |\log \phi_k^2|, \text{ 其中 } k=1, 2, \dots, 7$$

对兵豆、扁平豌豆、匍匐车轴草等 25 类种子分别取原图、放大 2 倍、放大 1 倍、缩小到原图的 1/2 和 1/4, 每幅图片分别做顺时针旋转 45°、旋转 90°操作, 计算每幅图像的 7 个 Hu 氏不变矩特征参数, 并取其平均值, 结果见表 2。

由表 2 可以看出, 先取平方和对数的方法缩小了数据的动态范围, 提取出来的 7 个 Hu 氏不变矩的特征值对旋转、缩放、平移均不敏感。只利用形状参数进行识别, 识别率较低, 把形状参数特征和 Hu 氏不变矩进行组合形成特征集, 能对杂草种子很好的描述, 才能取得较好的

识别效果。

表 2 兵豆等 7 个 Hu 氏不变距特征数值
Table 2 Features of Hu 7 invariant moments of weed seeds

| | | ϕ_1 | ϕ_2 | ϕ_3 | ϕ_4 | ϕ_5 | ϕ_6 | ϕ_7 |
|-------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 兵豆 | 原图 | 2.4492 | 6.941 | 21.426 | 24.2312 | 45.4912 | 28.1081 | 45.3181 |
| | 2 倍 | 2.4562 | 7.0011 | 21.5856 | 24.7258 | 46.0326 | 29.1069 | 46.4043 |
| | 0.5 倍 | 2.4511 | 6.9572 | 21.3078 | 24.0077 | 45.2934 | 27.7841 | 44.9544 |
| | 4 倍 | 2.4575 | 7.0111 | 20.8418 | 23.7421 | 44.3485 | 27.6821 | 44.1069 |
| | 0.25 倍 | 2.4547 | 6.9855 | 20.3144 | 22.9818 | 44.1692 | 26.5582 | 43.1547 |
| 扁平豌豆 | 原图 | 2.6316 | 14.0571 | 13.8598 | 20.6332 | 33.988 | 27.7265 | 31.2883 |
| | 2 倍 | 2.6315 | 14.0356 | 13.8524 | 20.6027 | 33.9586 | 27.686 | 31.239 |
| | 0.5 倍 | 2.6311 | 13.9544 | 13.849 | 20.5483 | 33.8542 | 27.5633 | 31.3479 |
| | 4 倍 | 2.6311 | 14.1149 | 13.8494 | 20.6068 | 33.9557 | 27.7448 | 31.1355 |
| | 0.25 倍 | 2.6323 | 13.8502 | 13.8958 | 20.5542 | 33.9103 | 27.5351 | 31.3123 |
| 匍匐车轴草 | 原图 | 2.5907 | 8.864 | 15.5566 | 21.178 | 34.4361 | 28.3183 | 33.9749 |
| | 2 倍 | 2.5904 | 8.8605 | 15.4704 | 21.1087 | 34.2344 | 28.8006 | 33.8263 |
| | 0.5 倍 | 2.5923 | 8.9113 | 15.4983 | 21.219 | 34.276 | 30.7902 | 33.9231 |
| | 4 倍 | 2.5926 | 8.9783 | 15.4523 | 21.0698 | 34.1708 | 28.9616 | 33.5068 |
| | 0.25 倍 | 2.5939 | 8.9727 | 15.3161 | 20.8751 | 34.0467 | 27.0823 | 33.4163 |

2 数据的归一化

杂草种子各个特征的量纲不同, 量级差别也较大, 直接进行后续处理, 将对系统的性能产生影响^[12]。为消除这些影响, 保证各个指标之间具有可比性, 在分析之前需要对提取的 16 个特征值进行如下的归一化处理。

本文采用线性函数转换来进行归一化处理, 表达式如下

$$y = (x - \min(x)) / (\max(x) - \min(x))$$

式中 $\max(x)$ 、 $\min(x)$ 分别为特征值的最大值和最小值。

3 BP 神经网络设计

BP 神经网络又称误差反向传递神经网络^[13]。它是一种依靠反馈值来不断调整节点之间的连接权值而构建的一种网络模型。本文采用三层 BP 网络, 将提取出的视觉不变性的 16 个特征作为网络的训练集, 来评估这些特征组合与识别率、识别时间的关系。具体操作步骤如下:

3.1 训练和测试样本的确定

选取兵豆、扁平豌豆、匍匐车轴草等 25 种豆科类杂草种子的图像, 每幅图像分别做原图、放大 1 倍、放大 2 倍, 缩小到原图的 1/2 和 1/4 处理, 通过生物稳定遗传的形态学特征和 Hu 氏不变矩特征的特征提取和参数计算, 得到共计 125 幅图像的参数。其中 75 幅图像参数作为训练样本, 其他作为测试样本。

3.2 隐含层数目的确定

BP 神经网络隐含层数对网络的性能影响很多, 因此需要适当的选取。本文采用 $n_1 = \sqrt{n+m} + a$ (n_1 为隐含层单元数, n 为输入单元数, m 为输出单元数, a 为 [0, 10] 之间的常数) 来确定最适合的隐含层数^[14]。

3.3 传递函数的确定

本文采用的传递函数为 tansig、tansig、traingdx。选取 traingdx 为附加动量和自适应速率相结合的学习方法, 避免网络训练陷入局部极小值, 又可获得较高学习速率。

3.4 其他参数的确定

学习速率太大可能导致系统不稳定, 产生振荡; 太小会导致训练周期过长、收敛慢, 达不到要求的误差^[15-16]。经过大量的试验测试, 选取学习速率为 0.1, 训练的最小均方误差为 0.01, 为防止出现“过拟合”现象, 最大迭代次数选为 15 000。

4 试验结果分析

选取兵豆、扁平豌豆、匍匐车轴草等 25 类种子的原始尺寸、放大 1 倍和缩小到原图的 1/2 共 75 幅图像作为 BP 神经网络的训练集; 其余的放大 2 倍和缩小到原图的 1/4 共 50 幅图像作为 BP 神经网络测试集。利用训练完成的 BP 神经网络对杂草种子进行分类和识别, 试验结果如表 3 所示。

表 3 杂草种子识别率
Table 3 Recongnition rate of weed seeds

| 序号 | 特征向量 | 识别率/% | 识别平均时间/s |
|----|--------------------------------|-------|----------|
| 1 | 16 个特征 (9 个形态学特征+7 个 Hu 不变距特征) | 96 | 28 |
| 2 | 7 个特征 (7 个 HU 不变距特征) | 92 | 112 |
| 3 | 9 个特征 (9 个形态学特征) | 86 | 74 |
| 4 | 11 个特征 (9 个形态学特征+Hu 不变距的前两个特征) | 88 | 52 |

试验结果表明: 由表 3 序号 1, 3, 4, 可知 9 个形态学特征, 由于维数较少, 识别率最低, 仅为 86%; 16 个特征的识别率, 由于维数增加, 识别率从 86% 提高到 96%, 识别率最高; 同时随着维数的增加, 平均识别时间也由 74 缩短到 28; 7 个 Hu 不变距的识别率 92% 远高于 9 个形态学特征的识别率 86%。

5 结 论

通过试验可以得出, 该方法提取出的 16 个特征, 不但表征了杂草种子的生物稳定遗传特征, 而且具有视觉不变性, 作为 BP 神经网络识别分类的特征集, 大大提高

了识别精度。随着特征维数增加, 识别率提高, 识别时间缩短。由此可见基于生物稳定特征提取杂草种子视觉不变特征值的方法是有效的, 这也为杂草种子分类识别提供了一条行之有效的途径。

[参 考 文 献]

- [1] 郭琼霞. 杂草种子彩色鉴定图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [2] Zayas I, Pormeranz Y, Lai F S. Discrimination of wheat and non-wheat components in grain samples by image analysis. *Cereal Chemistry*, 1989, 66(3): 233—237.
- [3] Yonekawa S, Sakai N, Kitani O. Identification of idealized leaf types using simple dimensionless shape factors by imaged analysis[J]. *Transactions of the ASAE*, 1996, 39(4): 1525—1533.
- [4] 龙满生, 何东健. 玉米苗期杂草的计算机识别技术研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(7): 139—144.
Long Mansheng, He Dongjian. Weed identification from corn Seeding based on computer vision[J]. *Transactions of the CASE*, 2007, 23(7): 139—144. (in Chinese with English abstract)
- [5] Paliwal J, Visen N S, Jayas D S, et al. Cereal grain and dockage identification using machine vision[J]. *Biosystems Engineering*, 2003, 85(1): 51—57
- [6] 郑宇. 基于机器视觉的稻谷种子特征提取与品种识别方法研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
Zhen Yu. Research on Features Extraction and Varieties Identification of Rice Seeds Based on Machine Vision[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [7] 纪瑛, 胡虹文. 种子生物学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [8] 李伟, 于振东, 陈涛, 等. 基于形态学的棉花种子破损检测[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(4): 169—172.
Li Wei, Yu Zhendong, Chen Tao, et al. Identification and Detection for Surface Damages of Cottonseed Based on Morphology[J]. *Transactions of the CSAM*, 2009, 40(4): 169—172. (in Chinese with English abstract)
- [9] 万鹏, 孙瑜, 孙永海. 基于计算机视觉的大米粒形识别方法[J]. *吉林大学学报*, 2008, 38(2): 489—492.
Wan Peng, Sun Yu, Sun Yonghai. Recognition method of rice kernel shape based on computer vision[J]. *Journal of Jilin University*, 2008, 38(2): 489—492. (in Chinese with English abstract)
- [10] Hu M K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants[J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1962, 8(2): 179—187.
- [11] 张健, 周晓东, 章世峰, 等. 基于组合不变距与神经网络的卫星目标识别[J]. *海军航空工程学院学报*, 2008, 23(1): 29—32.
Zhang Jian, Zhou Xiaodong, Zhang Shifeng et al. Recognition of satellite targets based on combined invariant moments and artificial neural network[J]. *Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University*, 2008, 23(1): 29—32. (in Chinese with English abstract)
- [12] Yuan Haiying, Chen Guangju, Xie Yongle. Feature evaluation and extraction based on neural network in analog circuit fault diagnosis[J]. *Journal of Systems Engineering and Electronic*, 2007, 18(2): 434—436.
- [13] Zou Bin, Liao Xiaoyu, Zeng Yongnian, et al. An improved BP neural network based on evaluating and forecasting model of water quality in Second Songhua River of China, 2006, 25(B08): 167—167.
- [14] Zhao Ying, Nan Jun, Cui Fuyi, et al. Water quality forecast through application of BP neural network at Yuqiao reservoir[J]. *Journal of Zhejiang University Science*, 2007, 8(9): 1482—1487.
- [15] 沈花玉, 王兆霞, 高成耀, 等. BP神经网络隐含层单元数的确定[J]. *天津理工大学学报*, 2008, 24(5): 13—15.
Shen Yuhua, Wang Zhaoxiang, Gao Chengyao, et al. Determining the number of BP neural network hidden layer Units[J]. *Journal of Tianjin University of Technology*, 2008, 24(5): 13—15. (in Chinese with English abstract)
- [16] 胡峥. 基于数字图像处理玉米苗期田间杂草识别方法的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
Hu Zheng. Research on Method of Identifying Weed in Corn Seedling Field Applying Image Processing Technology [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [17] 潘泓, 夏良正. 基于形状的小波神经网络目标识别方法[J]. *数据采集与处理*, 2008, 23(1): 27—34.
Pan Hong, Xia Liangzheng. Shape-based target recognition using wavelet neural network[J]. *Journal of Data Acquisition & Processing*, 2008, 23(1): 27—34. (in Chinese with English abstract)

Feature extraction based on visual invariance and species identification of weed seeds

Zhao Wencang, Wang Junxin

(College of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: In order to study the biological stability genetic characteristics of seeds, a method of feature extraction was presented based on visual invariance. The paper analyzed the morphological characteristics and the Hu's invariant moments, and extracted 16 features of weed seeds on the basis of the analysis. These features could effectively represent the weed seeds of biological stability genetic characteristics. Experiment results showed that the extracted 16 features with visual invariant which were taken as Back Propagation (BP) neural network identification and classification of the feature sets could quickly identify the weed seeds with a high recognition rate. Therefore, the method is important in the plant quarantine and agricultural production.

Key words: weed seeds, biological stability genetic character, visual invariance, feature extraction