

电场对种子影响的时效性分析方法及应用

包斯琴高娃^{1,2}, 马占新³, 丁昌江²

(1. 西安电子科技大学先进材料与纳米科技学院 西安 710126; 2. 内蒙古工业大学理学院 呼和浩特 010051;

3. 内蒙古大学数学科学学院 呼和浩特 010021)

【摘要】针对以往生物信息综合评价中生物效应指标权重确定困难、忽视指标个性信息等弱点,应用非参数广义数据包络分析方法给出了一种综合评价电场强度对植物种子影响时效性的分析方法,该方法不仅考虑了种子的个性信息,而且还克服了确定指标权重的困难。应用该方法研究了电场对小麦种子影响的时效性。研究表明,在0.5~6.0 kV/cm场强范围内,小麦种子幼苗形态指标随电场强度增加呈现振荡性变化,并且随着贮存时间的延长其显著性慢慢消失。

关键词 生物技术; 数据包络分析; 电场; 种子

中图分类号 Q6 文献标志码 A doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2016.05.026

Analysis Method of the Aging Property of Electric Field Influence on Seeds and Its Application

BAO Siqin-gaowa^{1,2}, MA Zhan-xin³, and DING Chang-jiang²

(1. School of Advanced Materials and Nanotechnology, Xidian University Xi'an 710126;

2. School of Science, Inner Mongolia University of Technology Hohhot 010051;

3. School of Mathematical Science, Inner Mongolia University Hohhot 010021)

Abstract It is a very difficult problem on how to determine the weights between the biological indexes in comprehensive evaluation of biological information. In this paper, we apply the non-parametric generalized data envelopment analysis method to form a comprehensive evaluation method for analyzing the aging property of electric field influence on plant seeds. This method can not only give the individual information of seeds, but also overcome the difficulties of determining index weigh. Then, we analyze the aging property of influence of electric field on wheat seeds by using this method. The results show that the seedling morphological indicators of wheat seeds present oscillatory changes with the increase of electric field intensity when the scope of field strength is 0.5kV/cm~6.0kV/cm, and the significant effects gradually disappear with the extension of storage time.

Key words biotechnology; data envelopment analysis; electric field; seed

自从发现模拟电场影响鸡足草的生长开始^[1],开启了人类对电生物效应的研究。依据目前的研究,电生物效应主要分为宏观层面的电生物效应和微观层面的电生物效应。宏观层面的电生物效应有种子萌发^[2]、作物生长^[3-5]、果蔬保鲜^[6]、鸡蛋保鲜^[7]、干燥药物食品等^[8]。微观层面的电生物效应有电场处理酶^[9]、细胞^[10]、动物精子^[11]等。其中电场促进种子萌发、影响植物生长方面效果显著^[2-5]。有关电场对植物影响的研究已经被应用到农业生产的许多领域^[4-5,12]。在现实中,要推广电场处理种子技术,就要考虑经过处理的种子在生产流通过程中电生物效应是否仍然存在。关于这些方面的研究报道较少。

文献[13-14]对柠条和油葵的种子分别进行了测试和分析,研究发现柠条和油葵种子均显示出较强的时效性。上述研究表明,虽然通过实验发现电场对植物种子生物效应的影响具有时效性,但各指标值并没有随电场强度的变化呈现出较强的一致性和规律性。针对统计学方法只能给出整体统计规律,而忽视种子个性信息的弱点,文献[3]和文献[12]曾应用数据包络分析方法进行尝试,但当考虑时效性时,数据参照面的构造则由原来的单一参照面变成了多级参照面,问题的评价发生了根本性的改变。因此,本文应用非参数广义数据包络分析方法^[15],给出了一种可以处理具有多时间层面、多参照系的非参数

收稿日期: 2014-11-02; 修订日期: 2015-06-30

基金项目: 国家自然科学基金(71261017); 内蒙古自然科学基金(2014MS0351, 2016MS0705); 内蒙古草原英才计划(12000-12102012)

作者简介: 包斯琴高娃(1975-), 女, 博士生, 高级实验师, 主要从事精密材料、生物物理等方面的研究。

计量模型。并应用该模型给出了测度不同贮存时间条件下的个体有效性、平均有效性、合格率、优秀率等考察电场时效性的概念和公式。最后,应用该方法研究了电场对小麦种子影响的时效性问题。

1 用于分析电场对植物种子影响时效性的多指标评价方法

1.1 问题的提出

在考察电场对种子影响的有效性时,一般常用的方法是统计学上的T检验方法等^[6, 12],而T检验方法只能考察电场对种子某个指标的影响程度,然而生命体是一个整体,也是一个复杂系统,因此更需要从整体上对其进行分析。在综合分析方面,一般常用层次分析方法等权重确定的评价方法进行分析^[16],但这些方法在权重确定方面却遇到了无法回避的困难,即人们无法回答1毫克叶绿素增加的重要性相当于多少厘米根长的增长。因此,文献[2-3, 12]曾尝试从非参数的角度,应用DEA方法解决多指标生物信息的综合评价问题,这种方法最突出的优势在于不必确定指标权重的大小。但这些文献研究的方法仍然存在以下两个问题没有解决:1)没有真正实现试验组与对照组的比较。2)使用的数据是平均值,从而丢失了种子的个性化信息。

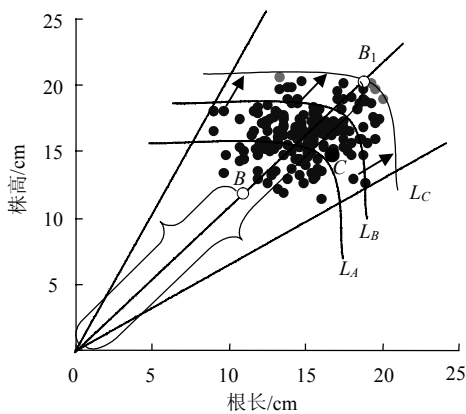


图1 小麦种子对照组的数据包络面

1949年以前,中国人的平均寿命是40岁,而这并不代表中国人的寿命很短,而是由于新生儿死亡率造成的。因此,株高和根长的平均值也同样丢失了种子的很多个性化的信息。为了解决这一问题,文献[4]提出了应用标准组数据的包络面进行分析的方法,如图1的曲线 L_C 所示,从而在一定程度上为该类问题的分析找到了一个有效的途径。但当考察电场对种子影响的时效性时,由于在不同贮存时间条

件下,种子的外界条件发生了变化。这时,不同时间条件下的对照组的指标数据可能是不同的,这时出现了多个参考面,即在评价一个问题时出现了多个标准,如图1的曲线 L_A 、 L_B 、 L_C 所示。因此,文献[4]中的方法也无法评价电场对种子影响的时效性问题。

1.2 用于电场对植物种子影响时效性分析的多维数据参考面的描述

当分析电场对植物种子作用的时效性时,假设试验者选择了 m 个指标进行观测,这些指标都是越大越好,并且已测得对照组的 n_0 粒种子,贮存 l (取整数)天后播种的幼苗指标数据。

假设对照组第 r 粒种子贮存 l 天后播种,它的第 m 个指标的值为 $y_{rl}^{(0)}$,有:

$$Y_{rl}^{(0)} = (y_{1rl}^{(0)}, y_{2rl}^{(0)}, \dots, y_{mrl}^{(0)})^T \quad r=1, 2, \dots, n_0 \quad (1)$$

式中, $Y_{rl}^{(0)}$ 为对照组第 r 粒种子贮存 l 天后播种对应的所有指标数据; l 为不同贮存时间。

根据广义DEA方法的基本原理,由贮存 l 天后播种的 n_0 粒种子确定的数据包络面(图1中的 L_A 、 L_B 、 L_C)即是以下集合中的极大元集合^[15],有:

$$\bar{T}_l^{(0)} = \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{y} \mid \mathbf{y} \leq \sum_{j=1}^{n_0} Y_{jl}^{(0)} \lambda_j, \sum_{j=1}^{n_0} \lambda_j = 1, \\ \lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_{n_0}) \geq 0 \end{array} \right\} \quad (2)$$

那么,如何分析电场处理种子的时效性呢?通常情况下,判定对照组某个幼苗是否优良是把该幼苗指标和对照组的平均值进行比较。如对图1的情况,180粒小麦种子在不处理情况下的根长和株高的平均值为C点(16.39 cm, 14.92 cm)。但由图1可见,每粒种子的生长存在较大的差异,只将被评价数据和平均值比较无法反映株高和根长的个性信息。即被评价种子是根长优势明显、还是株高优势明显无从得知。而采用对照组优良种子构成的包络面 L_C 来判定种子生长的有效性,不仅能度量种子生长的优秀程度,而且还能把个性突出的种子挑选出来。以下具体给出种子幼苗相对于对照组优秀程度的度量方法。

假设试验者在种子贮存 l 天的条件下,选择了 K 种不同的电场条件进行试验,其中第 K 种电场条件下选择了 n_k 粒种子,并将这些种子贮存 l 天后播种,已测得第 K 种电场条件下第 r 粒种子的第 i 个指标数据为 $y_{mrl}^{(k)}$,有:

$$Y_{rl}^{(k)} = (y_{1rl}^{(k)}, y_{2rl}^{(k)}, \dots, y_{mrl}^{(k)})^T \quad r=1, 2, \dots, n_k \quad k=1, 2, \dots, K \quad (3)$$

式中, $Y_{rl}^{(k)}$ 为第 k 种处理条件下第 r 粒种子贮存 l 天时所对应的所有指标的值。如果 $Y_{rl}^{(k)}$ 在对照组的包络面外, 则幼苗生长优于对照组的最好水平; 否则就不是优秀的, 且离 L_C 越远离 O 点越近越不优秀。

在图1中, 如果第 k 种处理条件下第 j 粒种子贮存 l 天时, 它的株高和根长的指标值对应点 B , 则它相对于对照组中优秀种子 B_1 的有效性程度 ($h_{rl}^{(k)}$) 可定义为 $h_{rl}^{(k)} = OB/OB_1$, 可见被试验种子的有效性度量值实际上它是相对于对照组中优秀种子的程度。

1.3 基于多维数据参考面的电场影响有效性分析的计量模型

根据广义DEA有效性理论^[15], 第 k 种处理条件下第 r 粒种子贮存 l 天时, 它的有效性程度的度量值 $h_{rl}^{(k)}$ 可以用以下模型度量:

$$(ET) \begin{cases} \max \theta = \frac{1}{h_{rl}^{(k)}} \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^{n_0} y_{ijl}^{(0)} \lambda_j - s_i = \theta y_{ijl}^{(k)} \quad i=1,2,\dots,m \\ \sum_{j=1}^{n_0} \lambda_j = 1 \\ \theta \geq 0, s_i \geq 0, i=1,2,\dots,m \\ \lambda_j \geq 0, j=1,2,\dots,n_0 \end{cases} \quad (4)$$

在上述线性规划模型中, λ_j 、 s_i 、 θ 为实数域上的任意变量, 其他符号同上。由种子幼苗生长的有效性程度的定义可知: 1) 当 $h_{rl}^{(k)} = 1$ 时, 表示贮存 l 天后播种的第 k 种第 r 粒种子的生长和对照组的优良幼苗相当。2) 当 $h_{rl}^{(k)} > 1$ 时, 表示贮存 l 天后播种的第 k 种第 r 粒种子的生长比对照组的优良幼苗更优秀。3) 当 $h_{rl}^{(k)} < 1$ 时, 表示贮存 l 天后播种的第 k 种第 r 粒种子的生长劣于对照组的优良幼苗。该指标能够反映处理组某个幼苗的生长效果相对于对照组中优秀幼苗的程度, $h_{rl}^{(k)}$ 越大越好。

贮存 l 天后播种的情况下, 第 k 种电场处理种子的平均有效性测度值为:

$$H_l^{(k)} = \frac{1}{n_k} \sum_{r=1}^{n_k} h_{rl}^{(k)} \quad l=1,2,\dots,L \quad k=0,1,2,\dots,K \quad (5)$$

在贮存 l 天后播种的情况下, 第 k 种电场强度对种子影响的有效性测度值 $W_l^{(k)}$ 为:

$$W_l^{(k)} = (H_l^{(k)} / H_l^{(0)}) - 1 \quad (6)$$

在贮存 l 天后播种的情况下, 从平均意义上看,

如果 $W_l^{(k)} > 0$, 则作用条件 k 产生了积极作用; 如果 $W_l^{(k)} = 0$, 则没有产生作用; 如果 $W_l^{(k)} < 0$, 则产生了消极作用。 $W_l^{(k)}$ 越大, 促进作用越明显; 否则, $W_l^{(k)}$ 越小, 条件 k 的作用越不利。

第 k 种电场强度下贮存 l 天后播种时, 测试种子的优秀率 $T_l^{(k)}$ 为:

$$T_l^{(k)} = |\{r | h_{rl}^{(k)} \geq 1 \quad r=1,2,\dots,n_r\}| / n_r \quad (7)$$

第 k 种电场强度下贮存 l 天后播种时, 测试种子的合格率 $P_l^{(k)}$ 为:

$$P_l^{(k)} = |\{r | h_{rl}^{(k)} \geq H_l^{(0)} \quad r=1,2,\dots,n_r\}| / n_r \quad (8)$$

2 应用ET方法分析电场对小麦种子影响的时效性

2.1 试验装置和方法

本文的试验装置和方法与文献[12]一致。选取13组籽粒饱满的小麦种子, 其中第1组做为对照组, 每组重复3次, 每次100粒。第 N 种电场强度 E_N 为 $0.5 \times N$ (kV/cm), $N=1,2,\dots,12$, 对照组记为 E_0 , 处理时间 T 为 10 min。种子被处理后, 分别贮存0天、10天、20天, 然后进行萌发试验。选九日龄幼苗为检测对象, 测量小麦株高和根长。

2.2 结果与分析

2.2.1 电场处理小麦种子的形态指标的有效性分析

为了便于分析和比较以下选取了株高(y_1)和根长(y_2)两个指标进行分析, 通过对39组种子, 共 39×20 个样本应用(ET)模型计算后, 应用式(1)~(4)可以得到表1的数据。由表1的数据进行回归分析后可以得到下述4个图形。

1) 不同电场强度及贮存时间对小麦生长影响的平均有效性分析。

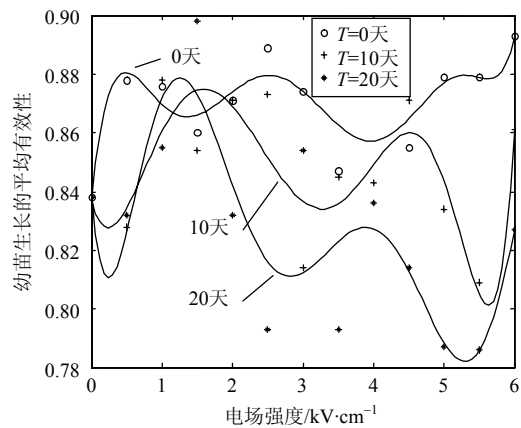


图2 小麦幼苗生长的平均有效性曲线

表1 多指标生物信息及作用条件有效性的综合分析

电场强度/kV·cm ⁻¹	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
$H_i^{(k)}$	0天 0.838	0.878	0.876	0.860	0.871	0.889	0.874	0.847	0.876	0.855	0.879	0.879	0.893
(平均有效性)	10天 0.838	0.828	0.878	0.854	0.871	0.873	0.814	0.845	0.843	0.871	0.834	0.809	0.861
	20天 0.838	0.832	0.855	0.878	0.832	0.793	0.854	0.793	0.836	0.814	0.787	0.786	0.827
$W_i^{(k)}$	0天 0	0.047 0	-0.001 7	-0.018 1	0.012 5	0.021 5	-0.017 9	-0.030 4	0.034 4	-0.023 6	0.027 7	-0.000 5	0.016 7
(有效性)	10天 0	-0.012 0	0.059 9	-0.027 2	0.020 7	0.001 3	-0.066 2	0.037 0	-0.002 4	0.032 8	-0.041 2	-0.030 0	0.063 6
	20天 0	-0.007 4	0.028 3	0.050 6	-0.073 5	-0.047 1	0.077 0	-0.070 5	0.052 8	-0.026 0	-0.033 8	-0.001 2	0.052 9
$T_i^{(k)}$ /%	0天 3.19	6.39	4.79	3.19	3.19	1.60	1.60	1.60	4.79	3.19	7.98	4.79	4.79
(优秀率)	10天 3.19	7.44	11.70	6.38	12.76	7.44	0.00	2.13	4.25	8.51	5.32	3.19	7.44
	20天 3.19	4.79	4.79	11.17	3.19	1.60	4.79	1.60	4.79	1.60	3.19	0.00	1.60
$P_i^{(k)}$ /%	0天 54.4	74.6	70.0	54.4	66.9	84.0	68.4	60.7	71.6	56.0	68.4	65.3	82.4
(合格率)	10天 54.4	39.1	60.4	55.6	61.5	63.9	35.5	52.0	54.4	65.1	48.5	28.4	58.0
	20天 54.4	53.0	61.6	93.1	58.8	38.7	60.1	42.9	53.0	44.4	48.7	33.0	54.4

图2所示为不同电场强度作用下小麦种子贮存0天、10天、20天后，小麦幼苗生长的平均有效性随电场变化的曲线。由图2可知，贮存不同时间电场对小麦幼苗生长的平均有效性产生的影响也不同。这表明电场不仅对幼苗生长的平均有效性产生不同影响，并且这种影响能保持一段时间。当贮存0天时，随电场强度增加小麦幼苗生长的平均有效性乘波动性变化，且都好于对照组。曲线形式可视为3个周期。贮存10天、20天后，随电场强度的增加小麦种子幼苗生长的平均有效性变化的方式基本一致，可视为两个周期。贮存10天、20天后的趋势图正如贮存0天时的趋势图向右移动了一个周期。即电场对小麦幼苗生长的平均有效性的影响方式具有一定的周期性。从时效性角度来看，电场对小麦生长的平均有效性的影响与对照组相比随着贮存时间的延长，有效性程度有不同程度的降低。在上述处理条件下，场强为2.5 kV/cm，贮存0天为最佳处理条件。

2) 不同电场强度和不同贮存时间条件下，小麦幼苗生长的有效性分析。

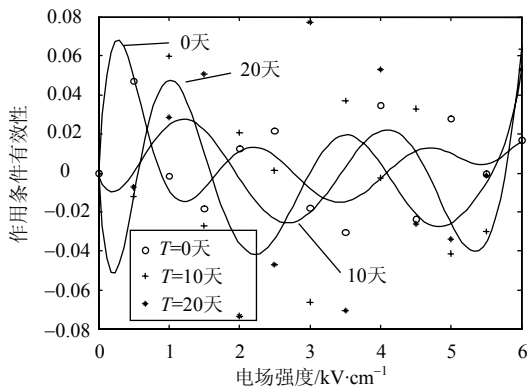


图3 小麦幼苗生长的有效性曲线

图3为在不同电场强度作用下小麦种子贮存0

天、10天、20天后，小麦幼苗生长的有效性随电场变化的曲线。由图3可知，贮存不同时间电场对小麦幼苗生长的有效性也产生了不同的影响。这说明电场不仅对幼苗生长的有效性能够产生不同的影响，并且这种影响能保持一段时间。当贮存0天时，电场对小麦种子影响的有效性随电场强度的增加在对照组的上下乘波动性变化。曲线形式可视为3个周期。贮存10天，20天后，随电场强度的增加小麦种子幼苗生长的平均有效性变化的方式基本一致，可视为两个周期。贮存10天、20天后的趋势图正如贮存0天时的趋势图向右移动了一个周期。即电场对小麦幼苗生长的平均有效性的影响方式具有一定的周期性。从时效性角度来看，电场对小麦影响的有效性与对照组相比随着贮存时间的延长，有效性程度有不同程度的降低。

3) 不同电场强度和不同贮存时间条件下，小麦幼苗生长的优秀率分析。

图4为在不同电场强度作用下小麦种子贮存0天、10天、20天后，小麦幼苗生长的优秀率随电场强度变化的曲线。由图4可知，贮存时间的不同电场对小麦幼苗生长的优秀率产生不同的影响。这说明电场不仅对幼苗生长的优秀率可以产生不同影响，并且这种影响能保持一段时间。当贮存0天、10天、20天时，随电场强度的增加小麦幼苗生长的优秀率变化在场强3.5 kV/cm接近对照组，且曲线形式可视为蝴蝶的两个翅膀。电场对小麦幼苗生长的优秀率的影响方式具有一定的周期性。从时效性角度来看，电场对小麦影响的有效性与贮存0天相比随着贮存时间的延长，有效性程度有不同程度的变化。可知，电场强度对小麦幼苗生长的优秀率并非是非线性的，同样贮存时间对小麦幼苗生长优秀率的影响也并非是非线性的。

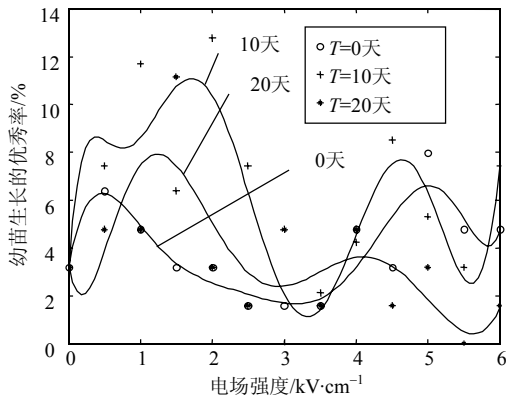


图4 小麦幼苗生长的优秀率曲线

4) 不同电场强度和不同贮存时间条件下, 小麦幼苗生长的合格率分析。

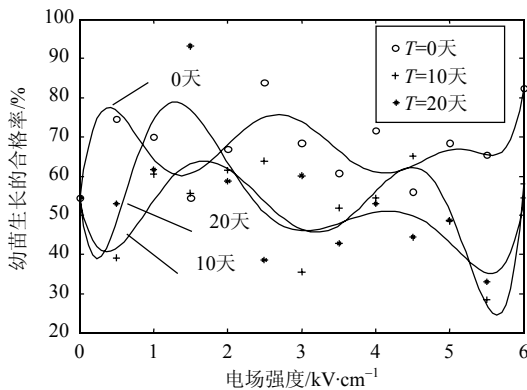


图5 小麦幼苗生长的合格率曲线

图5为在不同电场强度作用下小麦种子贮存0天、10天、20天后, 小麦幼苗生长的合格率随电场强度变化的曲线。由图5可知, 贮存时间的不同电场对小麦幼苗生长的合格率产生不同的影响。这说明电场不仅能对幼苗生长的合格率可以产生不同影响, 并且这种影响能保持一段时间。当贮存0天时, 随电场强度的增加小麦幼苗生长的合格率都好于对照组, 曲线形式可视为3个周期。贮存10天、20天后, 随电场强度的增加小麦幼苗生长的合格率变化的方式基本一致, 可视为两个周期。贮存10天、20天后的趋势图正如贮存0天时的趋势图向右移动了一个周期。即电场对小麦幼苗生长的合格率的影响方式具有一定的周期性。从时效性角度来看, 电场对小麦影响的合格率与对照组相比随着贮存时间的延长, 合格率的程度有不同程度的降低。

从上述的讨论可以看出: 处理时间为10 min、贮存0天, 在场强为2.5 kV/cm时, 几个有效性指标均达到最好, 这说明该场强对种子产生的影响最为

显著。但随着贮存时间的延长, 电场对小麦种子的影响逐渐消失。从场强条件看, 随着场强的增加各分析指标呈振荡变化。这是因为生物体本身就是带电的, 而且生物体内充满了电荷, 这些电荷绝大部分以离子、离子基团和电偶极子的形式存在。这些电荷或离子基团的运动和相互作用, 使生物分子保持一定的空间构象, 行使各自特定的功能, 维持生命现象的持续^[16]。电场作用植物种子后, 种子内的空间构象发生一系列的变化, 从而产生生理生化反应, 这些反应影响种子的萌发和生长。不同处理时间、不同电场强度、不同贮存时间对小麦种子空间构象影响都有所不同, 从而小麦幼苗的各指标变化也有所不同。

2.2.2 不同电场强度和贮存时间对小麦种子的影响中心位移分析

未加电场时, 180粒小麦种子的生长情况为平均根长和株高(16.39 cm, 14.92 cm)。

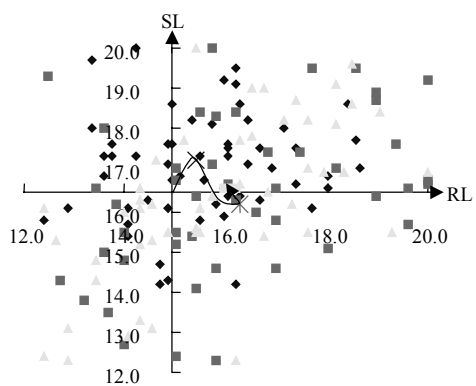
应用该方法可以获得在施加不同电场强度和贮存不同时间时, 测试点的分布状况和其对应的平均根长和株高位置变换状况, 如图6所示。

图6中, 菱形形状表示贮存时间为0天, 方块状表示贮存时间10天, 三角形状表示贮存时间20天情况下, 种子幼苗株高、根长对应的二维图。其中横坐标根长为RL, 纵坐标株高为SL。图6a~图6l分别表示电场强度在0.5~6.0 kV/cm的12种情况。图中曲线箭头方向为从贮存时间0~10天直至20天时, 平均坐标点的位移情况。

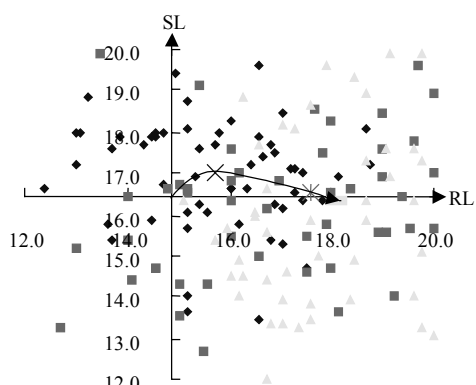
由图6可见, 图6a、图6c、图6f、图6h中种子幼苗株高、根长平均坐标点的位移基本呈“N”型走势, 即此场强对种子影响从促进株高到抑制株高最后到对株高的影响并不显著。对根长的影响有不同程度的促进作用。图6b、图6j、图6l场强下种子幼苗株高、根长平均坐标点的位移基本呈“抛物线”型走势, 该场强对种子影响从促进株高到对株高的影响并不显著。在图6b和图6l场强下对根长的影响有不同程度的促进, 而在图6j场强时对根长的影响从抑制到不同程度促进作用。

其余状态如图6d、图6e、图6g、图6i、图6k场强下种子幼苗株高、根长平均坐标点的位移基本以“顺时针螺旋状”走势, 即此场强对种子影响是从促进株高到抑制株高。在图6d、图6e和图6g场强下对根长的影响有不同程度的促进, 而在图6i和图6k场强时对根长的影响从抑制到不同程度的促进作

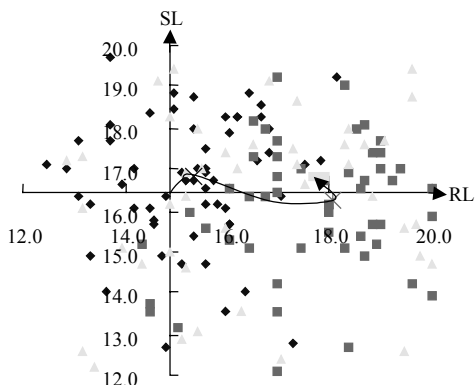
用。从上述3种基本型势上看,它们是相互交叉出现,而且以图6a、图6c、图6f、图6h为节点,则可视4个非同长度的周期。故随着电场强度的增加,对小麦种子幼苗株高、根长的影响基本呈周期性变化。本文方法从形态特征上得到了植物种子在电场作用下发生的变化和在表象上的一些规律性特性,这为进一步发现电场作用植物种子后,种子内的分子空间构象变化以及生化特征的研究筛选出了可供分析的样本。因此,本文从宏观指标出发为更深层次的分子结构方面的研究提供了前期基础性的工作。



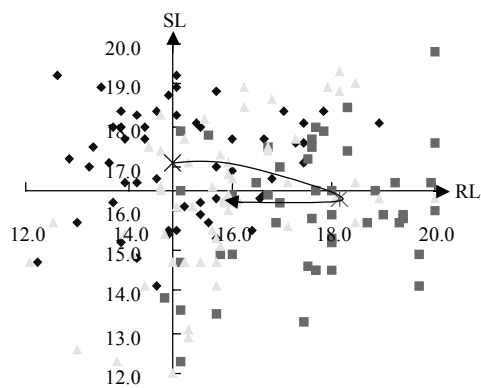
a. 处理组/0.5 kV·cm⁻¹



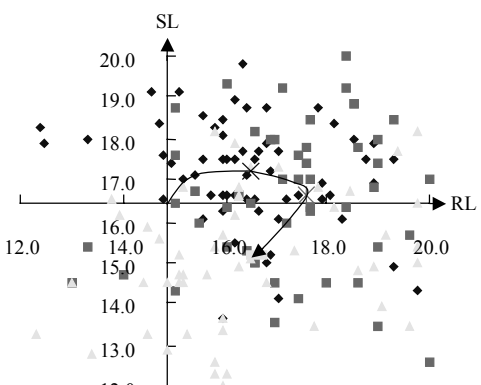
b. 处理组/1.0 kV·cm⁻¹



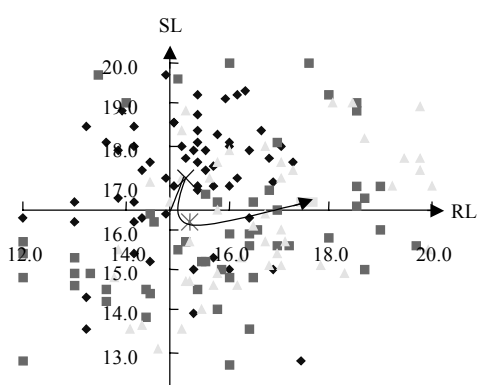
c. 处理组/1.5 kV·cm⁻¹



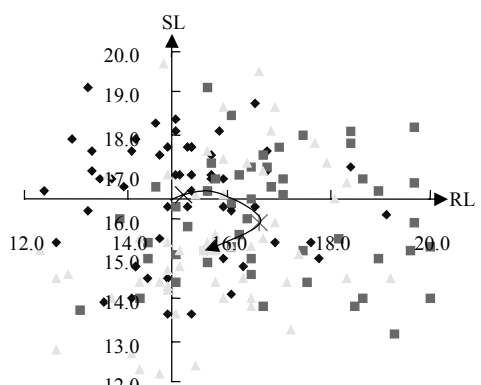
d. 处理组/2.0 kV·cm⁻¹



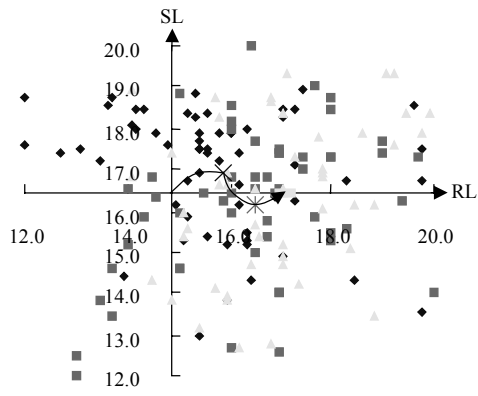
e. 处理组/2.5 kV·cm⁻¹



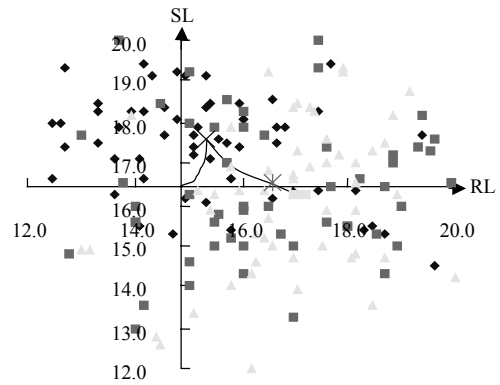
f. 处理组/3.0 kV·cm⁻¹



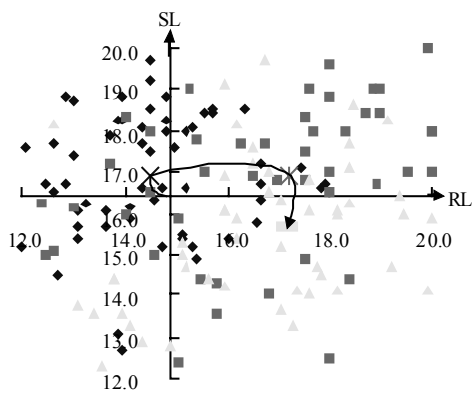
g. 处理组/3.5 kV·cm⁻¹



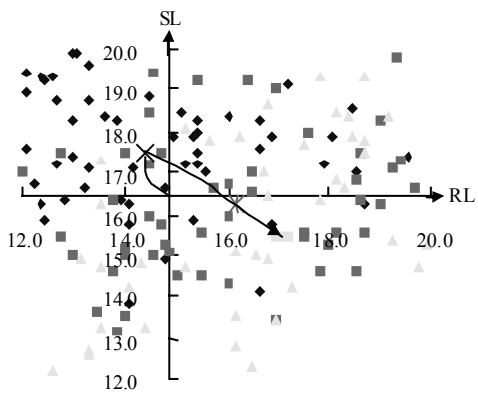
h. 处理组/4.0 kV·cm⁻¹



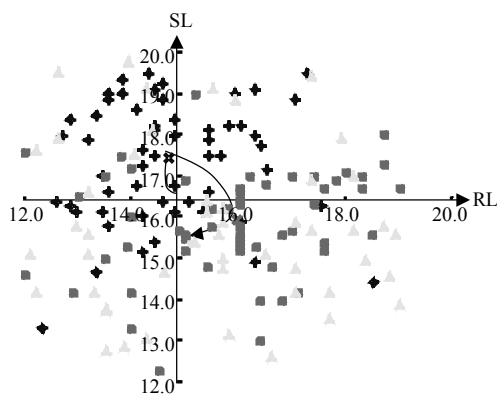
l. 处理组/6.0 kV·cm⁻¹



i. 处理组/4.5 kV·cm⁻¹



j. 处理组/5.0 kV·cm⁻¹



k. 处理组/5.5 kV·cm⁻¹

图6 各场强和贮存不同时间时幼苗株高、根长二维图

上述分析结果表明, 不同电场强度作用小麦种子后, 并贮存不同时间将对小麦幼苗生长产生不同影响。随着贮存时间的延长, 电场对小麦幼苗生长过程的影响有所减弱。虽然电场处理植物种子存在时效性, 但经电场处理后在短时间内耕种, 可以实现改善植物生长、提高植物品质的目标。同时, 与转基因技术不同, 由于经过电场处理的种子在基因结构上不发生改变, 因而, 电场处理植物种子不但方法简单、成本低廉, 而且作物的品质不会受到影响, 具有较强的安全性, 可在生产实践中广泛推广。文献[5]采用静电场处理甜菜种子就获得了近亿元的效益。应用本文提出的评价电场强度对植物生物效应影响的方法, 不仅可以反映电场强度对植物生物效应影响的有效性, 还能揭示每个幼苗形态指标与对照组之间, 在不同电场强度下的内在关系, 这些都是常规的方法是所不能得到的。

3 结束语

当综合评价电场对种子影响的时效性时, 如何确定生物效应指标之间的权重一直是困扰生物信息综合评价的核心问题。同时, 应用统计学方法也存在只能给出整体统计规律, 而忽视种子个性信息的弱点。

1) 本文从非参数方法的角度分析了不同作用条件下, 每粒种子幼苗相对于对照组的内在变化。应用多指标前沿分析技术, 给出了测度包括个体有效性、平均有效性、合格率、优秀率等考察电场影响效果的概念和公式。该方法不仅可以充分考虑种子的个性信息, 而且还能从系统性的角度揭示指标的综合变化。

2) 本文以宏观层面的电生物效应——作物生长作为研究对象, 应用本文提出的非参数理论和方

法研究了电场对小麦种子影响的时效性问题。分析结果表明,在0.5~6.0 kV/cm场强范围内,当处理时间为10 min时,不同高压电场条件以及不同贮存时间,对生物效应的影响程度不同。总体看,小麦种子幼苗形态指标随电场强度增加呈现振荡性变化,且随着贮存时间的延长其显著性慢慢消失,即贮存0天时幼苗形态指标要好于贮存10天,贮存10天又好于贮存20天。

从上述应用可以看出,用于分析电场对植物种子影响时效性的多指标评价方法(ET),不仅可以揭示在不同作用条件下每粒种子幼苗相对于对照组的内在变化,而且还克服了确定指标权重的困难。另外,ET分析方法和中心位移分析法具有一般性,它对于其他外部条件对植物的影响分析具有一定的借鉴意义。它还可应用于物理、化学、医药等领域,为分析实验条件与作用对象综合影响之间的关系提供了一种全新的视角和有效的分析工具。

参 考 文 献

- [1] MURR L E. Plant growth response in a simulated electric field environment [J]. *Nature*, 1963, 200: 490-491.
- [2] BAO Siqin-gaowa, MA Zhan-xin. The comprehensive effects of different electric field intensity on wheat seed[C]// The 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. New York, USA: IEEE, 2010.
- [3] 包斯琴高娃, 杨体强, 马占新, 等. 高压电场对优化小麦种子生长特性的时效性[J]. *高电压技术*, 2010, 36(2): 467-473.
BAO Siqin-gaowa, YANG Ti-qiang, MA Zhan-xin, et al. Aging property of the effect on wheat seeds seeds in high voltage electric field[J]. *High Voltage Engineering*, 2010, 36(2): 467-473.
- [4] 包斯琴高娃, 马占新. 电场作用条件与作物种子生长的相关性分析[J]. *植物学报*, 2010, 45(3): 384-391.
BAO Siqin-gaowa, MA Zhan-xin. Correlation between crop seed growth and electric field condition[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2010, 45(3): 384-391.
- [5] 梁运章. 静电生物效应及其应用[J]. *物理*, 1995, 24(1): 36-38.
LIANG Yun-zhang. Electrostatic biological effect and its application[J]. *Physics*, 1995, 24(1): 36-38.
- [6] 王愈, 狄建兵, 王宝刚, 等. 静电场下不同处理对番茄颜色转化的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(9): 357-361.
WANG Yu, DI Jian-bing, WANG Bao-gang, et al. Effects of different high electrostatic field treatment on the color changes of tomato fruit[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(9): 357-361.
- [7] 孙贵宝, 王新馨, 裴国栋. 利用高压静电场保鲜鸡蛋试验[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(10): 318-323.
SUN Gui-bao, WANG Xin-xin, PEI Guo-dong. Experiment on egg preservation by high voltage electrostatic field[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(10): 318-323.
- [8] DING Chang-jiang, LV Jun, SONG Zhi-qing, et al. The drying efficiency of electrohydrodynamic (EHD) systems based on the drying characteristics of cooked beef and mathematical modeling[J]. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 2014, 46: 455-461.
- [9] 邓一兵, 杨体强. 应用红外光谱研究电场对超氧化物歧化酶二级结构的影响[J]. *光谱学与光谱分析*, 2007, 27(7): 1312-1315.
DENG Yi-bing, YANG Ti-qiang. Study on the effect of electric field on the secondary structure of SOD by FTIR spectroscopy[J]. *Spectroscopy And Spectral Analysis*, 2007, 27(7): 1312-1315.
- [10] 郭飞, 姚陈果, 章锡明, 等. 高强度皮秒脉冲电场诱导 HeLa细胞生物电效应分析[J]. *高电压技术*, 2012, 38(12): 3381-3386.
GUO Fei, YAO Chen-guo, ZHANG Xi-ming, et al. Effects of intense picosecond pulsed electric field on HeLa cells[J]. *High Voltage Engineering*, 2012, 38(12): 3381-3386.
- [11] 吴春艳, 张俐, 郑世民. 高压静电场对动物机体生物效应的影响机理及其应用[J]. *动物医学进展*, 2004, 25(3): 7-9.
WU Chun-yan, ZHANG Li, ZHENG Shi-min. Biological effect mechanism and application of high voltage electrostatic field on animal body[J]. *Progress in Veterinary Medicine*, 2004, 25(3): 7-9.
- [12] 包斯琴高娃, 马占新, 杨体强. 高压电场对作物种子影响有效性的综合评价方法[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(3): 25-30.
BAO Siqin-gaowa, MA Zhan-xin, YANG Ti-qiang. Comprehensive evaluating on the effectiveness of the influences of electric field on crop seeds[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(3): 25-30.
- [13] 刘翔宇, 杨体强, 朱海英, 等. 高压电场处理柠条种子对萌发与幼苗抗旱性影响的有效时间[J]. *种子*, 2014, 33(8): 8-11.
LIU Xiang-yu, YANG Ti-qiang, ZHU Hai-ying, et al. Effective time of the effects of high electric field treatment on drought resistance of caragana korshinskii seeds during its germination and seedling growth[J]. *Seed*, 2014, 33(8): 8-11.
- [14] 杨体强, 朱海英, 袁德正, 等. 电场对油菜种子萌发影响的有效时间[J]. *核农学报*, 2013, 27(6): 879-883.
YANG Ti-qiang, ZHU Hai-ying, YUAN De-zheng, et al. Effective time of the effect of electric field on germination of oil sunflower seeds[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(6): 879-883.
- [15] 马占新. 广义数据包络分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
MA Zhan-xin. Generalized data envelopment analysis method[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [16] 徐珊, 宋戈, 李丹, 等. 东北粮食主产区耕地资源时空变化及其对粮食生产能力的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(21): 1-9.
XU Shan, SONG Ge, LI Dan, et al. Spatial-temporal variation of cultivated land and its effects on grain production capacity of northeast grain main production area[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(21): 1-9.

编辑 黄 莘