# 基于支持向量机的标准农田地力等级评价

## ——以浙江省温州市鹿城区为例

赖红松[1†]　吴次芳[2]

(1 浙江省温州市国土资源局,浙江温州　325027)

(2 浙江大学公共管理学院,杭州　310029)

**摘　要**　提出了一种基于支持向量机(SVM)的标准农田地力等级评价方法,并给出了遗传算法-模拟退火(GASA)优化 SVM 参数算法。该方法首先在确定标准农田地力等级评价指标的基础上,利用地力调查样本数据及传统的指数和法评价结果构造 SVM 样本集,然后运用 GASA 优化 SVM 参数算法训练 SVM,建立标准农田地力等级的 SVM 评价模型。应用该方法对温州市鹿城区标准农田地力等级进行了评价,结果为:2 级田和 3 级田分别占测试样本代表标准农田总面积(115.7 $hm^2$)的 45.04% 和 54.96%,该方法的评价正确率为 100%。应用 BP 神经网络法对测试样本进行评价,其评价正确率为 90%。结果表明,SVM 用于标准农田地力等级评价,具有比 BP 神经网络更高的评价精度,可有效用于标准农田地力等级评价,为耕地地力评价提供了新方法。

**关键词**　耕地地力评价;标准农田;支持向量机;鹿城区

**中图分类号**　S158;TP18　　**文献标识码**　A

标准农田是通过土地整治、农业综合开发等方法,对基本农田保护区内农田实施土地平整和田间水利设施、田间道路、田间防护林、地力培育等综合建设,建成的田成方、渠相通、路相连,林成网、灌得进、排得出的高产稳产的优质基本农田,是耕地中的精华,是现代农业发展的基础[1-2]。标准农田地力等级评价是加强标准农田质量建设的基础,是制订标准农田保护、培肥、改良、利用规划的主要科学依据,是推进标准农田土壤改良,确保粮食生产能力的重要举措。

随着计算机和信息技术的发展,近年来,国内外利用地理信息系统技术,采用数值法进行耕地地力评价研究较多,如指数和法[2-10]和人工神经网络法[11]等。传统的指数和法是在确定评价因子及其权重和隶属度(评分值)的基础上,采用加法模型计算评价单元的综合地力指数,然后根据综合地力指数分布确定分级方案,划分地力等级。该方法充分考虑了各因子的重要性,并将各因子的影响程度量化,思路清晰,逻辑性强,简便易行,但步骤复杂,工作量大,且易受人为主观因素影响。人工神经网络处理非线性关系的能力虽然较强,但存在网络结构难以确定、局部最优和泛化能力差等一些难以克服的缺陷[12-13]。支持向量机(Support Vector Machine, SVM)[14]是于 20 世纪 90 年代中期由 Vladimir N. Vapnik 等提出的,基于统计学习理论的一种新的机器学习方法。它通过寻求结构风险最小化来实现经验风险最小化,较好地解决了神经网络的固有问题,已被成功应用于模式识别、回归分析、时序预测等领域[15-17]。与其他学习算法一样,SVM 的性能依赖于学习机的参数,但是,目前 SVM 参数的选择主要依靠经验和试算,还没有指导 SVM 参数选择的好方法。本文提出基于 SVM 标准农田地力等级评价方法,同时针对 SVM 参数的选择问题,利用遗传算法(Genetic Algorithms, GA)[18]的并行搜索结构和模拟退火(Simulated Annealing, SA)[19]的概率突跳特性,提出遗传算法-模拟退火(GASA)优化 SVM 参数算法,实现 SVM 参数的自动优化选择。该方法首先在建立标准农田地力等级评价指标体系的基础上,利用地力调查样本数据及传统的指数和法评价结果构造 SVM 样本集,然后运用 GASA 优化 SVM 参数算法训练 SVM,建立 SVM 评价模型,进行标准农田地力等级评价。尝试将该方法用于温州市鹿城区标准农田地力等级评价,并将其结果与 BP 神经网络

† 通讯作者,E-mail:maplhs@163.com

作者简介:赖红松(1967—),男,江西赣县人,博士,主要从事土地利用规划、土地资源管理。E-mail:maplhs@163.com

收稿日期:2011-07-17;收到修改稿日期:2011-10-15

方法的评价结果进行比较分析，验证该方法的可行性和有效性，以期为耕地地力评价提供一种新方法。

# 1　研究方法

## 1.1　类别补偿支持向量分类机

支持向量分类的基本思想是对于给定的样本集 $T=\{(x_1,y_1),(x_2,y_2),\cdots,(x_l,y_l)\}$，其中 $l$ 为样本个数，$x_i\in R^n$，$R^n$ 为 $n$ 维实数空间，$y_i\in\{1,-1\}$，通过一个非线性映射 $\phi(\cdot)$ 将 $x_i$ 映射到一个高维特征空间（Hilbert 空间），并在这个空间构建一个能将训练样本集中的两类点完全正确地分开，而且要使分类间隔 $2/\|w\|$ 最大的最优分类超平面，即 $w\cdot\phi(x)+b=0$，$w$ 为超平面的法方向向量，$b$ 为超平面的偏移量。标准支持向量分类机通过求解式(1)来确定 $w$ 和 $b$：

$$\min\quad \frac{1}{2}\|w\|^2+C\sum_{i=1}^{l}\xi_i$$
$$\text{subject to}\quad y_i((w\cdot\phi(x_i))+b)\geqslant 1-\xi_i \quad (1)$$
$$\xi_i\geqslant 0,(i=1,\cdots,l)$$

式中，$\xi_i$ 为松弛变量，$C>0$ 为惩罚参数。

在实际应用中，训练样本集中的正负两类点个数往往不均衡，这时用标准支持向量分类机进行分类，对正类点集和负类点集应用相同的惩罚参数 $C$ 将导致样本数量多的类别分类误差小，样本数量少的类别分类误差大[20]。为使正负两类之间得到平衡的误差率，令 $C_+=\frac{l_+}{l}C$，$C_-=\frac{l_-}{l}C$，$l_+$ 和 $l_-$ 分别为正类和负类的样本个数，此时式(1)变为

$$\min\frac{1}{2}\|w\|^2+C_+\sum_{y=1}^{-1}\xi_i+C_-\sum_{y=-1}^{-1}\xi_i$$
$$\text{subject to}\quad y_i((w\cdot\phi(x_i))+b)\geqslant 1-\xi_i \quad (2)$$
$$\xi_i\geqslant 0,(i=1,\cdots,l)$$

式(2)的对偶形式为

$$\max\ \sum_{i=1}^{l}\alpha_i-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=-1}^{l}y_iy_jK(x_i,x_j)\alpha_i\alpha_j$$
$$\text{subject to}\quad \sum_{i=1}^{l}y_i\alpha_i=0 \quad (3)$$
$$0\leqslant\alpha_i\leqslant C_+,y_i=1$$
$$0\leqslant\alpha_i\leqslant C_-,y_i=-1$$

式中，$\alpha_i>0$ 为 $x_i$ 的 Lagrange 乘子，$K(x_i,x_j)=\phi(x_i)\cdot\phi(x_j)$ 为核函数。由于局部性核函数学习能力强、泛化性能较弱，而全局性核函数泛化性能强、学习能力较弱，为获得学习能力和泛化能力较强的核函数，本文选用局部性核函数高斯径向基核和全局性核函数 4 阶多项式核组合成的混合核函数，即 $K(x_i,x_j)=r(x_i\cdot x_j+1)^4+(1-r)\exp(-\|x_i-x_j\|^2/\sigma^2)$，其中 $\sigma$ 为高斯径向基核宽度，$r(0\leqslant r\leqslant 1)$ 为调节高斯径向基核和多项式核作用大小系数。求解式(3)得最优解为 $\alpha^*=(\alpha_1^*,\cdots,\alpha_l^*)^{\mathrm{T}}$，计算 $b^*=y_j-\sum_{i=1}^{l}y_i\alpha_i^*K(x_i,x_j)$，$0<\alpha_j^*<C_+$ 或 $0<\alpha_j^*<C_-$，从而求得决策函数 $f(x)=\mathrm{sgn}(\sum_{i=1}^{l}y_i\alpha_i^*K(x_i,x)+b^*)$，式中，$\alpha_i^*$ 和 $b^*$ 分别为 $\alpha_i$ 和 $b$ 的最优解，$x$ 为待分类样本输入，$\mathrm{sgn}(\cdot)$ 为符号函数。

## 1.2　支持向量机多类分类算法

SVM 原型是处理两类问题的，而标准农田地力等级评价属于多类分类问题，因此，需采用 SVM 多类分类方法。目前，SVM 多类分类方法主要有一类对一类法[21]、一类对余类法[22]、决策二叉树法[23]、决策导向无环图法[24]和纠错输出编码法[25]、M-ary 法[26]等。一类对余类法对于 $M$ 类分类问题只需求解 $M$ 个两类分类机，训练时间较短，可用于大规模数据。但是，其缺点是当类别数较大时，某一类的训练样本将大大少于其他类训练样本的总和，这种训练样本间的不均衡将影响分类精度。处理这种训练样本间不平衡，可采用类别补偿支持向量分类机解决。本文采用一类对余类法，其算法步骤如下：

（1）给定 $M$ 类分类问题的训练集 $T=\{(x_1,y_1),\cdots,(x_l,y_l)\}$，其中 $x_i\in R^n$，$y_i\in\{1,\cdots,M\}$。

（2）对 $j=1,\cdots,M$ 进行如下运算：将第 $j$ 类看作正类，其余的 $M-1$ 类看作负类，构造并求解式(3)得最优解为 $\alpha^*$，计算 $b^*$，求得决策函数 $f^j(x)=\mathrm{sgn}(g^j(x))$，其中 $g^j(x)=\sum_{i=1}^{l}y_i\alpha_i^*K(x_i,x)+b^*$。

（3）判定输入 $x$ 属于第 $J$ 类，其中 $J$ 是 $g^1(x),\cdots,g^M(x)$ 中最大者的上标。

## 1.3　支持向量机参数的遗传算法-模拟退火优化算法

由 1.1 节可知，以高斯径向基核和 4 阶多项式核组合成的混合核函数为核函数的支持向量分类机有 3 个可调参数：核函数参数 $\sigma$、$r$ 和惩罚参数 $C$。$\sigma$ 主要影响样本数据在高维特征空间中分布的复杂程度，$r$ 决定高斯径向基核和多项式核在混合核函数中的比重，而惩罚参数 $C$ 的作用是在确定的特征空间中调节学习机的置信范围和经验风险的比例。因此，他们的选择将对 SVM 的泛化能力和学习效率

产生较大的影响。目前,SVM 参数选择方法主要有试凑法(穷举法)[27]、$k$ 折交叉验证法[15,28-29]、梯度下降法[30]、网格搜索算法[31]、遗传算法[32-33]、粒子群算法[34]、嵌套均匀设计法[35]等。GA 是模拟生物进化过程中的自然选择和遗传变异的一种全局性并行随机搜索的优化算法。SA 是基于 Mente Carlo 迭代求解的一种全局概率型搜索算法。GA 虽有较强的全局搜索性能,但在实际应用中易早熟收敛,而改善其性能需增大种群数目或采用高级进化策略。本文利用 GA 的并行搜索结构和 SA 的概率突跳特性,提出 GASA 优化 SVM 参数算法,对 SVM 核函数参数 $\sigma$、$r$ 和惩罚参数 $C$ 三个参数进行优化,具体步骤如下:

(1) 确定优化 SVM 参数 $\sigma$、$r$、$C$ 取值范围,并用浮点数编码表示该参数向量 $V$。

(2) 确定 GA 和 SA 参数,初始化种群 $p_0$,给定初温 $t_0$,令 $k=0$。

(3) 用不同样本具有不同惩罚参数 $C$ 值的改进的序列最小优化算法[17]求解式(3)最优解,计算个体适应度 $f = l/\sum_{i=1}^{l}(y_i - f(x_i))^2$。

(4) 对 $p_k$ 中的各个个体进行 SA 搜索。①用 SA 状态产生函数产生新个体 $V_i(k) = V_i(k-1) + \eta\xi$,其中 $\eta$ 为扰动幅度参数,$\xi$ 为随机扰动变量。②计算新、旧个体的适应度之差 $\Delta C$。③计算接受概率 $p_r = \min[1, \exp(-\Delta C/t_k)]$,若 $p_r > random[0,1]$,用新个体取代旧个体;否则,旧个体不变。

(5) 对 $p_k$ 中个体按适应度由大到小进行排序,然后以一定淘汰率淘汰掉适应度值低的个体,被淘汰掉的个体数为 $n$($n = \mathrm{int}$(种群数 × 淘汰率)),再将未被淘汰掉的优良个体保留到下一代种群 $p_{k+1}$ 中。

(6) $n$ 次从 $p_k$ 中随机选择两个个体以交叉概率 $p_c = \begin{cases} 0.9 - 0.3(f' - f_{avg})/(f_{\max} - f_{avg}), & f' \geqslant f_{avg} \\ 0.9, & f' < f_{avg} \end{cases}$,式中 $f_{\max}$ 为群体中最大的适应度值,$f_{avg}$ 为每代群体的平均适应度值,$f'$ 为要交叉的两个个体中较大的适应度值,进行混合交叉操作[36],取适应度值大的新个体填补到 $p_{k+1}$ 中,以保持种群规模不变。

(7) 以变异概率 $p_m = \begin{cases} 0.1 - 0.099(f - f_{avg})/(f_{\max} - f_{avg}), & f \geqslant f_{avg} \\ 0.1, & f < f_{avg} \end{cases}$ 对步骤(6)产生的新个体进行高斯变异操作[36],至此产生种群 $p_{k+1}$。

(8) 用退温函数 $t_{k+1} = vt_k$,其中 $v \in (0,1)$ 为退温速率,进行 SA 退温。

(9) 若已达到进化最大代数,则终止算法并输出结果;否则令 $k = k+1$,转步骤(4)。

### 1.4 基于支持向量机标准农田地力等级评价方法

具体步骤为:(1)分析标准农田地力影响因素,选取标准农田地力等级评价指标;(2)确定评价单元和调查采样点,采样点调查,土壤样品采集和分析测试;(3)制定评价指标作用分值标准;(4)利用评价指标数据和指数和法评价结果,构造 SVM 样本集,并将它分成训练样本集和测试样本集两部分;(5)运用 GASA 优化 SVM 参数算法用训练样本集训练 SVM,建立 SVM 评价模型,并用测试样本集测试其性能;(6)利用 SVM 评价模型对待定评价单元的地力等级进行评价。

## 2 应用实例

### 2.1 研究区概况

鹿城区(120°42′~120°47′E,27°58′~28°09′N)地处温州市中部,瓯江下游内陆南岸,东接龙湾区、乐清市,南临瓯海区,西连丽水市青田县,北隔瓯江与永嘉县相望,辖 16 个街道、1 个镇,是温州市的政治、经济和文化中心。全区东西长 41.43 km,南北宽 20.65 km,呈东南-西北向狭长带状,土地总面积 294.4 $km^2$。地势由西北向东南倾斜,海拔介于 2~858 m,地貌类型主要为低山丘陵、平原滩涂、岛屿等。属亚热带海洋季风气候,日照充足,气温温和适中,雨量充沛,年均日照数 1850 h,年均气温 18℃,最冷月(1 月)平均气温 7.6℃,最热月(7 月)平均气温 27℃,极端最高温 41.3℃,极端最低温 −4.5℃,年无霜期 280d,年均降水量 1150 mm,年均蒸发量 894 mm。全区有红壤、粗骨土、潮土和水稻土 4 个土类,主要农作物为水稻、小麦、番薯、柑橘、甘蔗等。截止 2008 年底,全区耕地面积 2937 $hm^2$,占土地总面积的 9.98%,总人口 $69.98 \times 10^4$ 人,人均耕地 0.0042 $hm^2$,地区生产总值(GDP)$286.9 \times 10^8$ 元,财政总收入 $31.96 \times 10^8$ 元,城镇居民人均可支配收入 $2.67 \times 10^4$ 元,农民人均纯收入 $1.13 \times 10^4$ 元。

### 2.2 确定标准农田等级评价因子

根据标准农田立地条件、土壤剖面性态、理化性状等特点,综合分析影响标准农田地力因素,选取地貌类型、坡度、冬季地下水位、地表砾石度、剖面构型、耕层厚度、耕层质地、容重、pH、阳离子交换量、水溶性盐总量、有机质、有效磷、速效钾、排涝(或抗旱)能力 15 项指标,构建标准农田等级评价指标体系。

## 2.3　确定评价单元

将标准农田地力调查土壤采样点作为评价单元，按照《浙江省标准农田地力调查与分等定级技术规范》[37]（以下简称《规范》）的要求，每个土壤样品代表面积最大不超过 33.3 $hm^2$，对鹿城区 2007 年前已建成的总计 246.78 $hm^2$ 标准农田进行地力调查取样，采用“X”、“S”形布点在春耕生产翻耕前采样，并对取样点进行 GPS 定位，采样深度为耕层（有效土层）厚度，每个样品取 10～15 个样点，每点取样品不少于 100 g，充分混合后用四分法留取 1 kg 土壤样品，取土壤样品共 20 个，其中多年种植农田 18 个，溪滩地 2 个，土壤样品分布见图 1。土壤样品取回后，将其除杂，风干，碾磨至全部样品通过 2 mm 孔径筛后（供分析土壤机械组成、水分、pH、有效磷、速效钾、阳离子交换量、水溶性盐总量），再用四分法分取通过 2 mm 孔径筛样品 50 g，继续碾磨至样品完全通过 0.25 mm 孔径筛（供分析有机质、全氮），最后将剩余土壤样品装入纸袋或塑料袋，封好后存放于阴凉干燥处，避免日晒、潮湿。土壤分析项目与方法为：（1）容重：环刀法；（2）土壤机械组成：比重计法；（3）水分：烘干法；（4）pH：无 $CO_2$ 蒸馏水浸提，土液比 1∶2.5，玻璃电极法；（5）有机质：重铬酸钾-硫酸溶液氧化法；（6）全氮：半微量开氏法；（7）有效磷：氟化铵-稀盐酸浸提（酸性土），碳酸氢钠浸提（石灰性土），分光光度法；（8）速效钾：乙酸铵溶液浸提，火焰光度法；（9）阳离子交换量：乙酸钙离心交换法（石灰性土），乙酸铵离心交换法（中性、酸性土壤）；（10）水溶性盐总量：无 $CO_2$ 去离子水浸提，水土比 5∶1，残渣烘干法。

## 2.4　指数和法评价结果

温州市农业局 2008 年利用鹿城区标准农田地力调查土样数据，根据《规范》确定的各评价指标生产能力分值（表 1）和采用专家经验法确定的各

图 1　温州市鹿城区标准农田地力调查土壤样品分布图

Fig. 1　Distribution map of the soil sampling sites for productivity survey of standard cultivated land in Lucheng District of Wenzhou City

**表 1 浙江省标准农田地力等级评价指标生产能力分值**[37]

**Table 1** Scores of the productivity evaluation indexes for grading of standard cultivated land in Zhejiang Province

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 地貌类型 Landform type(LT) | | | | | |
| | 水网平原 Water-net plain | 滨海平原 Coastal plain | 河谷平原 River valley plain | 低丘 Low hill | 高丘 High hill | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | |
| | 坡度 Slope(S) | | | | | |
| | <3° | 3~6° | 6~10° | 10~15° | 15~25° | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | |
| | 冬季地下水位 Winter groundwater level(WGL) | | | | | |
| | <20 cm | 20~50 cm | 50~80 cm | 80~100 cm | >100 cm | |
| 分值 Score | 0.1 | 0.4 | 0.7 | 1.0 | 0.8 | |
| | 地表砾石度 Surface gravel(SG) | | | | | |
| | ≤10% | 10%~25% | >25% | | | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.5 | 0.2 | | | |
| | 剖面构型 Profile pattern(PP) | | | | | |
| | A-Ap-W-C A-[B]-C | A-Ap-P-C A-Ap-Gw-G | A-[B]C-C | A-Ap-C A-Ap-G | A-C | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | |
| | 耕层厚度 Thickness of cultivated horizon(TCH) | | | | | |
| | ≤8.0 cm | 8.0~12 cm | 12~16 cm | 16~20 cm | >20 cm | |
| 分值 Score | 0.3 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | |
| | 耕层质地 Cultivated soil texture(CST) | | | | | |
| | 黏壤土 Clay loam | 壤土 Loam | 黏土 Clay | 砂土 Sand | | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | | |
| | 容重 Soil bulk density(SBD) | | | | | |
| | 0.9~1.1 g cm$^{-3}$ | 1.1~1.3 g cm$^{-3}$, ≤0.9 g cm$^{-3}$ | >1.3 g cm$^{-3}$ | | | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.8 | 0.5 | | | |
| | pH | | | | | |
| | 6.5~7.5 | 5.5~6.5 | 7.5~8.5 | 4.5~5.5 | >8.5, ≤4.5 | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | 0.2 | |
| | 阳离子交换量 Cation exchange capacity(CEC) | | | | | |
| | ≤5 cmol kg$^{-1}$ | 5~10 cmol kg$^{-1}$ | 10~15 cmol kg$^{-1}$ | 15~20 cmol kg$^{-1}$ | >20 cmol kg$^{-1}$ | |
| 分值 Score | 0.1 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 1.0 | |
| | 水溶性盐总量 Total water-soluble salt(TWS) | | | | | |
| | ≤1 g kg$^{-1}$ | 1~2g kg$^{-1}$ | 2~3g kg$^{-1}$ | 3~4g kg$^{-1}$ | 4~5g kg$^{-1}$ | >5g kg$^{-1}$ |
| 分值 Score | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| | 有机质 Organic matter(OM) | | | | | |
| | >40 g kg$^{-1}$ | 30~40 g kg$^{-1}$ | 20~30 g kg$^{-1}$ | 10~20 g kg$^{-1}$ | ≤10 g kg$^{-1}$ | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.5 | 0.3 | |
| | 有效磷 Available phosphorus(AP) | | | | | |
| | 30~40 mg kg$^{-1}$ | 20~30 mg kg$^{-1}$ | >40 mg kg$^{-1}$, 15~20 mg kg$^{-1}$ | 10~15 mg kg$^{-1}$ | 5~10 mg kg$^{-1}$ | ≤5 mg kg$^{-1}$ |
| 分值 Score | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.2 |
| | 速效钾 Available potassium(AK) | | | | | |
| | >150 mg kg$^{-1}$ | 100~150 mg kg$^{-1}$ | 80~100 mg kg$^{-1}$ | 50~80 mg kg$^{-1}$ | ≤50 mg kg$^{-1}$ | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | |
| | 排涝(或抗旱)能力 Drainage capacity or drought resistance(DCDR) | | | | | |
| | 一日暴雨一日排出 One-day rainstorm and one-day drainage | | 一日暴雨二日排出 One-day rainstorm and two-day drainage | | 一日暴雨三日排出 One-day rainstorm and three-day drainage | |
| | >70 d | 50~70 d | | 30~50 d | <30 d | |
| 分值 Score | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | |

**表 2　浙江省标准农田地力等级评价指标权重[37]**

**Table 2**　Weight values of the productivity evaluation indexes for grading of standard cultivated land in Zhejiang Province

| 评价指标 Evaluation index | 权重 Weight | 评价指标 Evaluation index | 权重 Weight | 评价指标 Evaluation index | 权重 Weight | 评价指标 Evaluation index | 权重 Weight | 评价指标 Evaluation index | 权重 Weight |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LT | 0.17 | SG | 0.06 | CST | 0.08 | CEC | 0.08 | AP | 0.04 |
| S | 0.05 | PP | 0.03 | SBD | 0.04 | TWS | 0.04 | AK | 0.06 |
| WGL | 0.05 | TCH | 0.07 | pH | 0.06 | OM | 0.07 | DCDR | 0.10 |

指标权重[37]（表 2），应用指数和法计算各土样的综合地力指数（公式为：$IPI = \sum (P_i \times W_i)$），式中，$IPI$ 为标准农田综合地力指数，$P_i$、$W_i$ 分别为第 $i$ 个评价指标的生产能力评分值和权重），依据《规范》确定的标准农田地力等级划分标准[37]（表 3），评定了鹿城区标准农田地力调查各土样的地力等级（表 4）。由表 4 可知，鹿城区 246.8 $hm^2$ 标准农田中 2 级田 85.5 $hm^2$，占 34.63%；3 级田 119.7 $hm^2$，占 48.49%；4 级田 25.3 $hm^2$，占 10.26%；5 级田 16.3 $hm^2$，占 6.62%。

**表 3　浙江省标准农田地力等级划分标准[37]**

**Table 3**　Criteria for productivity grading of standard cultivated lands in Zhejiang Province

| 等级 Grade | | 地力综合指数 Integrated productivity index |
|---|---|---|
| 1 等田 Class 1 | 1 级田 Grade 1 | ≥0.90 |
| | 2 级田 Grade 2 | 0.80 ~ 0.90 |
| 2 等田 Class 2 | 3 级田 Grade 3 | 0.70 ~ 0.80 |
| | 4 级田 Grade 4 | 0.60 ~ 0.70 |
| 3 等田 Class 3 | 5 级田 Grade 5 | 0.50 ~ 0.60 |
| | 6 级田 Grade 6 | <0.50 |

## 2.5　支持向量机评价模型的建立

**2.5.1**　支持向量机样本集　利用评价指标数据和指数和法评价结果，构造 SVM 评价模型样本集。将标准农田地力等级为 2 级的样本作为正类（类别标志为 1），其余样本作为负类（类别标志为 −1），构成样本集，由此构建的 SVM 分类机记为 SVM2，同理可得 SVM3、SVM4 和 SVM5 的样本集。为补充样本，对相同地貌类型、剖面构型、耕层质地、排涝（或抗旱）能力且畈相邻的标准农田地力调查土样的评价指标值进行等间隔内插和评分，应用指数和法评定地力等级，生成 7 个内插样本（表 5），并与从 20 个土样中选择 10 个样本（土样号为 330302-0001、330302-0002、330302-0003、330302-0008、330302-009、330302-0010、330302-0014、330302-0016、330302-0018、330302-0020）作为 SVM 训练样本（选择训练样本时各种等级类型应都有，比较特殊的也应包括在内），其余 10 个样本（土样号为 330302-004、330302-005、330302-006、330302-007、330302-0011、330302-0012、330302-0013、330302-0015、330302-0017、330302-0019）作为测试样本，用于测试 SVM 模型的性能。

**2.5.2**　建立支持向量机评价模型　用 Visual C++6.0 编程实现 GASA 优化 SVM 参数算法。核函数参数 $\sigma$ 控制高斯径向基核函数的径向作用范围，隐含改变映射函数 $\phi(\cdot)$，从而改变样本数据在高维特征空间中分布的复杂程度，$\sigma$ 取值过小，易产生过学习现象；取值过大，又易产生欠学习现象。惩罚参数 $C$ 控制对错分样本的惩罚程度，实现错分样本比例与算法复杂度间的折衷，$C$ 取值过小，易产生欠学习现象；取值过大，又易产生过学习现象。最佳 $C$、$\sigma$ 的范围一般在 $[10^{-3}, 10^3]$ 之间。算法参数 $C$、$\sigma$ 和 $r$ 的取值范围分别为 [1, 1 000]、[0.1, 10] 和 [0, 1.0]，其他参数选取：种群数为 200，淘汰率为 0.9，$t_0 = 10\,000$，$v = 0.85$，进化最大代数为 80。运用 GASA 优化 SVM 参数算法，用 SVM 训练样本对 SVM 进行训练，得到 SVM2、SVM3、SVM4 和 SVM5 评价模型，其优化参数 $C$、$\sigma$ 和 $r$ 的优化值和训练误差 MSE 如表 6。

表 4 温州市鹿城区标准农田地力等级评价指标分值及指数和法评价结果

**Table 4** Scores of the productivity evaluation indexes for grading of standard cultivated land of Lucheng District of Wenzhou City and its evaluation results of integrated productivity factors method

| 土样号 No. | 标准农田名称 Standard cultivated land | 分值 Score | | | | | | | | | | | | | | | 地力等级 PG | 代表面积 RA ( $hm^2$ ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | LT | S | WGL | SG | PP | TCH | CST | SBD | pH | CEC | TWS | OM | AP | AK | DCDR | | |
| 330302-0001 | 岙底底坦畈 Aodi town Ditan field | 0.3 | 0.1 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 1.0 | 5 级 Grade 5 | 10.93 |
| 330302-0002 | 岙底呈岸畈 Aodi town Cheng'an field | 0.5 | 0.8 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 0.4 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.5 | 0.2 | 5 级 Grade 5 | 5.40 |
| 330302-0003 | 上戍西湾畈 Shangshu town Xiwan fiald | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.2 | 3 级 Grade 3 | 10.20 |
| 330302-0004 | 上戍西湾畈 Shangshu town Xiwan fiald | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 0.4 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.2 | 3 级 Grade 3 | 13.53 |
| 330302-0005 | 临江前盈畈 Linjiang town Qianying field | 0.7 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.7 | 0.4 | 3 级 Grade 3 | 5.67 |
| 330302-0006 | 临江仁地畈 Linjiang town Rendi field | 0.7 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 0.2 | 3 级 Grade 3 | 14.20 |
| 330302-0007 | 临江金岙畈 Linjiang town Jin'ao field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.2 | 3 级 Grade 3 | 21.73 |
| 330302-0008 | 双潮小旦底段畈 Shuangchao town Xiaodan Diduan field | 0.7 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.1 | 0.9 | 0.5 | 1.0 | 0.4 | 0.1 | 1.0 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.2 | 4 级 Grade 4 | 25.33 |
| 330302-0009 | 双潮小旦畈 Shuangchao town Xiaodan fiald | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.5 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.2 | 3 级 Grade 3 | 0.80 |
| 330302-0010 | 藤桥后垟畈 Tengqiao town Houyang field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 0.4 | 1.0 | 1.0 | 0.7 | 0.9 | 0.4 | 3 级 Grade 3 | 23.53 |
| 330302-0011 | 藤桥后垟畈 Tengqiao town Houyang field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 1.0 | 0.7 | 0.9 | 0.4 | 2 级 Grade 2 | 12.67 |
| 330302-0012 | 藤桥垟岸田 Tengqiao town yang'an field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 1.0 | 3 级 Grade 3 | 8.47 |

续表

| 土样号 No. | 标准农田名称 Standard cultivated land | 分值 Score | | | | | | | | | | | | | | | 地力等级 PG | 代表面积 RA ( $hm^2$ ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | LT | S | WGL | SG | PP | TCH | CST | SBD | pH | CEC | TWS | OM | AP | AK | DCDR | | |
| 330302-0013 | 藤桥南岸畈 Tengqiao town Nan'an field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 | 4.47 |
| 330302-0014 | 藤桥北岸畈 Tengqiao town Bei'an field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 | 3.53 |
| 330302-0015 | 藤桥底垟畈 Tengqiao town Diyang field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 | 16.33 |
| 330302-0016 | 藤桥下庄畈 Tengqiao town Xiazhuang field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.6 | 2 级 Grade 2 | 6.27 |
| 330302-0017 | 藤桥油岙畈 Tengqiao town Youao field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 | 11.53 |
| 330302-0018 | 藤桥潮济畈 Tengqiao town Chaoji field | 0.5 | 0.8 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 0.5 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 3 级 Grade 3 | 21.53 |
| 330302-0019 | 藤桥埭马畈 Tengqiao town Daima field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.6 | 2 级 Grade 2 | 7.13 |
| 330302-0020 | 藤桥山根畈 Tengqiao town Shan'gen field | 1.0 | 0.8 | 0.4 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 | 23.53 |

注 Note: PG, productivity Grade; RA, representative area

表 5 内插样本指标分值及指数和法评价结果

**Table 5** Scores of the productivity evaluation indexes of the interpolated samples and its evaluation results of integrated productivity factors method

| 序号 No. | 分值 Score | | | | | | | | | | | | | | | 地力等级 PG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LT | S | WGL | SG | PP | TCH | CST | SBD | pH | CEC | TWS | OM | AP | AK | DCDR | |
| 1 | 1 | 0.8 | 0.4 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1 | 0.4 | 0.4 | 1 | 1 | 0.8 | 0.7 | 0.2 | 3 级 Grade 3 |
| 2 | 1 | 0.8 | 0.4 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1 | 0.4 | 0.6 | 1 | 0.9 | 1 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 |
| 3 | 1 | 0.8 | 0.4 | 1 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1 | 1 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 |
| 4 | 1 | 0.8 | 0.4 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1 | 1 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 |
| 5 | 1 | 0.8 | 0.4 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 |
| 6 | 1 | 0.8 | 0.4 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 |
| 7 | 1 | 0.8 | 0.4 | 1 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.6 | 2 级 Grade 2 |

注 Note: PG, productivity grade

表 6 支持向量机模型参数优化值

**Table 6** Optimized parameters of the support vector machine model

| 参数 Parameter | 支持向量机模型 SVM model | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SVM2 | SVM3 | SVM4 | SVM5 |
| 惩罚参数 $C$ | 497.297 585 | 430.312 474 | 571.204 018 | 550.101 441 |
| 高斯径向基核宽度 $\sigma$ | 6.731 892 | 6.573 820 | 5.266 817 | 4.531 504 |
| 混合核组合系数 $r$ | 0.000 129 | 0.000 006 | 0.000 099 | 0.000 049 |
| 均方误差 MSE | 0.006 101 | 0.002 918 | 0.000 184 | 0.000 113 |

注 Note: $C$, SVM penalty parameter which controls the trade-off between maximizing the margin and minimizing the classification error; $\sigma$, Gaussian radial basis function kernel width parameter; $r$, combination coefficient of the hybrid kernel based on Gaussian radial basis function kernel and polynomial kernel; MSE, mean square error

## 2.6 支持向量机评价结果及其与 BP 神经网络评价结果的比较分析

利用已训练好的 SVM2、SVM3、SVM4 和 SVM5 评价模型对 SVM 测试样本进行 $g(x)$ 值计算,其 $g(x)$ 计算值和 SVM 评价结果见表 7。

利用评价指标数据和指数和法评价结果,以土样指标分值作为 BP 神经网络的输入,以其对应的等级作为 BP 神经网络的输出,即土样等级,若为 2 级,则输出为(1,0,0,0);若为 3 级,则输出为(0,1,0,0);若为 4 级,则输出为(0,0,1,0);若为 5 级,则输出为(0,0,0,1),构造 BP 神经网络评价模型样本集。选用与 SVM 评价相同土样号样本作为 BP 神经网络的训练样本和测试样本。利用训练样本,选择计算结点的激活函数均为 S 型 sigmoid 函数,隐层结点数为 5,即网络结构为 15-5-4,最大训练次数为 7 000 000,动量系数 $\alpha$ 为 0.95,学习率 $\eta$ 为 0.4 的改进的 3 层 BP 神经网络[12]建立 BP 神经网络评价模型。BP 神经网络训练后均方误差 MSE 为 0.000 318。以测试样本指标分值作为训练后网络的输入,进行其地力等级评价,结果见表 7。

从表 7 可看出,SVM 法与指数和法的评价结果完全相同,SVM 法的评价正确率为 100%;BP 神经网络法与指数和法的评价结果基本一致,唯有 1 个(330302-0011 号)土样的评价结果不相同,其指数和法评价等级为 3 级,而用 BP 神经网络法评定其地力等级却为 2 级,BP 神经网络法评价正确率为 90%。根据表 7 结果可以得出,应用 SVM 法对测试样本进行评价,2 级田和 3 级田分别占测试样本代表标准农田总面积(115.73 $hm^2$)的 45.04% 和 54.96%,其正确评价标准农田的面积为 100%;应用 BP 神经网络法对测试样本进行评价,2 级田和 3 级田分别占测试样本代表标准农田总面积的 34.10% 和 65.90%,其正确评价标准农田的面积为 89.05%。由此可见,与 BP 神经网络法相比,SVM 法的评价结果更准确可靠,原因是 SVM 克服了 BP 神经网络易陷入局部极小等缺陷,具有比 BP 神经网络更优的性能。

**表 7　支持向量机法和 BP 神经网络法评价结果比较**

**Table 7**　Comparison between the support vector machine method and the BP networks method in evaluation

| 土样号 No. | 指数和法 IPF method | 支持向量机法 SVM method | | | | | BP 神经网络法 BP networks method | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 等级 Grade | 输出值 Output value | | | | 等级 Grade | 输出值 Output value | | | | 等级 Grade |
| | | SVM2 | SVM3 | SVM4 | SVM5 | | | | | | |
| 330302-0004 | 3 级 Grade 3 | -1.284 | 1.238 | -0.981 | -1.022 | 3 级 Grade 3 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 3 级 Grade 3 |
| 330302-0005 | 3 级 Grade 3 | -0.205 | -0.127 | -0.920 | -0.788 | 3 级 Grade 3 | 0.007 | 0.957 | 0.000 | 0.001 | 3 级 Grade 3 |
| 330302-0006 | 3 级 Grade 3 | -0.595 | 0.113 | -0.828 | -0.741 | 3 级 Grade 3 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 3 级 Grade 3 |
| 330302-0007 | 3 级 Grade 3 | -0.802 | 0.270 | -0.767 | -0.742 | 3 级 Grade 3 | 0.000 | 1.000 | 0.001 | 0.000 | 3 级 Grade 3 |
| 330302-0011 | 2 级 Grade 2 | 0.014 | -0.115 | -0.927 | -0.974 | 2 级 Grade 2 | 0.002 | 0.996 | 0.000 | 0.000 | 3 级 Grade 3 |
| 330302-0012 | 3 级 Grade 3 | -0.332 | -0.219 | -0.892 | -0.542 | 3 级 Grade 3 | 0.005 | 0.997 | 0.000 | 0.000 | 3 级 Grade 3 |
| 330302-0013 | 2 级 Grade 2 | 1.120 | -1.089 | -1.034 | -1.032 | 2 级 Grade 2 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2 级 Grade 2 |
| 330302-0015 | 2 级 Grade 2 | 0.820 | -0.914 | -1.004 | -0.965 | 2 级 Grade 2 | 1.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 2 级 Grade 2 |
| 330302-0017 | 2 级 Grade 2 | 1.000 | -1.021 | -1.021 | -1.015 | 2 级 Grade 2 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2 级 Grade 2 |
| 330302-0019 | 2 级 Grade 2 | 0.231 | -0.375 | -0.895 | -0.811 | 2 级 Grade 2 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2 级 Grade 2 |

注 Note：IPF，integrated productivity factors

## 3　结论与讨论

1）应用 SVM 对浙江省温州市鹿城区标准农田地力等级评价，利用 GA 的并行搜索结构和 SA 的概率突跳特性，提出了 GASA 优化 SVM 参数算法，实现了 SVM 参数的自动优化选择，避免了人为选择 SVM 参数的盲目性，取得了满意效果。

2）由于 SVM 有效克服了人工神经网络过学习、局部极小等缺陷，具有很强的泛化能力，研究结果表明，SVM 比 BP 神经网络有更高的评价精度。

3）SVM 评价方法选用少量典型样本训练建立 SVM 评价模型后，可简便、快捷地给出大规模待定评价单元的地力等级，不仅可用于 SVM 训练样本所在地区，也可用于采用相同的评价指标及其作用分值标准的其他地区的标准农田地力等级评价。

4）本文选用高斯径向基核和 4 阶多项式核组合成的混合核函数，并用 GASA 混合策略优化 SVM 参数，获得了较好的效果，由于 SVM 性能的优劣主要取决于核函数的选取，如何根据实际数据模型选择合适的核函数，目前还没有好的解决方法，有待于进一步研究。此外，如何更加科学地选择 SVM 训练样本尚待探讨。

5）本文 SVM 评价法尚未对参评因子进行约简（筛选），如采用粗糙集属性约简方法筛选出主导评价因子，然后以约简后的评价因子作为 SVM 输入，建立 SVM 评价模型，可降低 SVM 输入向量维数和计算复杂度，减少训练时间。

6）标准 SVM 训练算法本质上是求解一个线性不等式约束的凸二次规划，尽管可用拟牛顿法、共轭梯度法、原-对偶内点法等传统的二次规划算法求解，但这些算法因存储和计算核函数矩阵（矩阵元素总数是训练样本数的平方）需占用大量内存而不适用于大规模训练集的 SVM 训练问题。为此，近年来提出了分解算法、SMO 算法等 SVM 训练算法，并开发了 LIBSVM、mySVM、$SVM^{light}$ 等 SVM 软件[28]，然而这些算法均为离线训练算法，因此，尚待研究增量训练算法以适用通过土地整治建成的新增标准农田情况。

## 参 考 文 献


[1] 蒋志欣，李满春，毛亮，等. 标准农田规划空间决策支持模型的研究与实现. 地球信息科学，2007，9(3)：79—84. Jiang Z X, Li M C, Mao L, et al. Developing a spatial decision support model for high quality prime farmland planning (In Chinese). Geo-Information Science, 2007, 9(3): 79—84

[2] 陈一定，单英杰，顾培，等. 浙江省标准农田地力与评价. 土壤，2007，39(6)：987—991. Chen Y D, Shan Y J, Gu P, et al. Productivity of high quality prime farmland and its evaluation in Zhejiang Province (In Chinese). Soils, 2007, 39(6): 987—991

[3] 任周桥，单英杰，汪玉磊，等. 浙江省标准农田地力调查与分等定级研究与应用. 浙江农业学报，2011，23(2)：404—408. Ren Z Q, Shan Y J, Wang Y L, et al. Study and application on investigation and grading of land fertility of standard farmland in

Zhejiang Province (In Chinese). Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2011,23(2):404—408

[4] 顾志权,邵学新,钱卫飞,等. 江苏省张家港市耕地地力定量化评价及其意义. 土壤学报,2007,44(2):354—359. Gu Z Q, Shao X X, Qian W F, et al. Quantitative evaluation of soil productivity of farmland in Zhangjiagang City, Jiangsu Province and its significance (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007,44(2):354—359

[5] 王瑞燕,赵庚星,李涛. 山东省青州市耕地地力等级评价研究. 土壤,2004,36(1):76—80. Wang R Y, Zhao G X, Li T. Grading and assessment of soil productivity of cultivated land in Qingzhou (In Chinese). Soils, 2004, 36(1):76—80

[6] 鲁明星,贺立源,吴礼树,等. 基于 GIS 的华中丘陵区耕地地力评价研究. 农业工程学报,2006,22(8):96—101. Lu M X, He L Y, Wu L S, et al. Evaluation of the farmland productivity of hilly region of central China based on GIS (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2006,22(8):96—101

[7] 袁秀杰,赵庚星,朱雪欣. 平原和丘陵区耕地地力评价及其指标体系衔接研究. 农业工程学报,2008,24(7):65—71. Yuan X J, Zhao G X, Zhu X X. Linkage of evaluation index system for cultivated land productivity evaluation in plain and hill regions (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2008,24(7):65—71

[8] 方灿华,马友华,钱国平,等. 基于 GIS 的明光市耕地地力评价. 中国农学通报,2008,24(12):308—312. Fang C H, Ma Y H, Qian G P, et al. Evaluation of the farmland productivity of Mingguang city based on GIS (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008,24(12):308—312

[9] 李贤胜,叶军华,杨平,等. 基于 GIS 的广德县耕地地力定量评价. 土壤,2009,41(3):490—494. Li X S, Ye J H, Yang P, et al. Quantitative assessment of cultivated-land capacity in Guangde county based on GIS (In Chinese). Soils, 2009, 41(3): 490—494

[10] 刘永文,樊燕,刘洪斌. 丘陵山地耕地地力评价研究. 中国农学通报, 2009,25(18):420—425. Liu Y W, Fan Y, Liu H B. Evaluation of cultivated land productivity in hilly area (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(18): 420—425

[11] 王瑞燕,赵庚星,陈丽丽. 基于 ANN—产量的耕地地力定量评价模型及其应用. 农业工程学报, 2008,24(1): 113—118. Wang R Y, Zhao G X, Chen L L. Evaluation model of cultivated land productivity using artificial neural network and productivity and its application (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2008,24(1):113—118

[12] 阎平凡,张长水. 人工神经网络与模拟进化计算. 北京:清华大学出版社,2000. Yan P F, Zhang C S. Artificial neural networks and simulated evolutionary computation (In Chinese). Beijing: Tsinghua University Press, 2000

[13] 王凌. 智能优化算法及其应用. 北京:清华大学出版社,2001. Wang L. Intelligent optimization algorithms with application (In Chinese). Beijing: Tsinghua University Press,2001

[14] Cortes C, Vapnik V N. Support vector networks. Machine Learning,1995, 20: 273—279

[15] 邓乃扬,田英杰. 数据挖掘中的新方法——支持向量机. 北京:科学出版社,2004. Deng N Y, Tian Y J. A new method for data mining-Support vector machine (In Chinese). Beijing: Science Press,2004

[16] Cristianini N, Shawe-Taylor J. 支持向量机导论. 北京:机械工业出版社,2005. Cristianini N, Shawe-Taylor J. An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods (In Chinese). Beijing: China Machine Press, 2005

[17] 曹丽娟,王小明. 金融工程的支持向量机方法. 上海:上海财经大学出版社,2007. Cao L J, Wang X M. Support vector machine based methods for financial and engineering problems (In Chinese). Shanghai: Shanghai University of Finance and Economics Press,2007

[18] Goldberg D E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Reading, MA: Addison-Wesley,1989

[19] Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Optimization by simulated annealing. Science, 1983,220(4598): 671—680

[20] 范昕炜,杜树新,吴铁军. 可补偿类别差异的加权支持向量机算法. 中国图像图形学报,2003,8(9):1 037—1 042. Fan X W, Du S X, Wu T J. Weighted support vector machine based classification algorithm for uneven class size problems (In Chinese). Journal of Image and Graphics, 2003,8(9):1 037—1 042

[21] Kreβel U H G. Pairwise classification and support vector machines//Schölkopf B, Burges C J C, Smola A J. Advances in Kernel methods: Support vector learning. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1999: 255—268

[22] Bottou L, Cortes C, Dcnkcr J, et al. A comparison of classifier methods: A case study in handwritten digit recognition//Peleg S, Ullman S. Proceedings of the 12th IAPR international conference on pattern recognition: Conference B: Pattern recognition and neural networks. Jerusalem, Israel: IEEE Computer Society Press, 1994:77—82

[23] Takahashi F, Abe S. Decision-tree-based multi-class support vector machines//Wang L, Rajapakse J C, Fukushima K, et al. Proceedings of the ninth international conference on neural information processing. Singapore, Singapore: IEEE Press, 2002:1 418—1 422

[24] Platt J C, Cristianini N, Shawe-Taylor J. Large margin DAGs for multi-class classification// Solla S A, Leen T K, Müller K R. Advances in neural information processing systems 12. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2000: 547—553

[25] Dietterich T G, Bakiri G. Solving multi-class learning problems via error-correcting output codes. Journal of Artificial Intelligence Research,1995(2):263—286

[26] Sebald D J, Buchlew J A. Support vector machines and the multiple hypothesis test problem. IEEE Transactions on Signal Processing,2001,49(11):2 865—2 872

[27] 王睿. 关于支持向量机参数选择方法分析. 重庆师范大学学报: 自然科学版,2007,24(2):36—38,42. Wang R. Method analysis about support vector machine parameter (In Chinese). Journal of Chongqing Normal University: Natural Science Edition, 2007,24(2):36—38, 42

[28] 邓乃扬,田英杰. 支持向量机——理论、算法与拓展. 北京:科

学出版社,2009. Deng N Y,Tian Y J. Support vector machine-Theory, algorithms and extension (In Chinese). Beijing: Science Press, 2009

[29] 苏高利,邓芳萍.关于支持向量回归机的模型选择.科技通报,2006,22(2):154—158. Su G L,Deng F P. Introduction to model selection of SVM regression (In Chinese). Bulletin of Science and Technology, 2006, 22(2):154—158

[30] Chapelle O, Vapnik V, Bousquet O, et al. Choosing multiple parameters for support vector machines. Machine Learning, 2002,46(1/3):131—159.

[31] Hsu C W, Chang C C, Lin C J. A practical guide to support vector classification. Taiwan: Department of Computer Science and information Engineering, National Taiwan University,2003

[32] Zheng C H, Jiao L C. Automatic parameters selection for SVM based on GA//Chu J. Proceedings of the 5th world congress on intelligent control and automation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2004: 1 869—1 872

[33] 刘胜,李妍妍.自适应 GA-SVM 参数选择算法研究.哈尔滨工程大学学报,2007,28(4):398—402. Liu S, Li Y Y. Parameter selection algorithm for support vector machines based on adaptive genetic algorithm (In Chinese). Journal of Harbin Engineering University,2007,28(4):398—402

[34] Lee T F, Cho M Y, Shieh C S, et al. Particle swarm optimization-based SVM for Incipient Fault Classification of Power Transformers// Esposito F, Ras Z W, Malerba D, et al. Proceedings of the 16th international symposium on methodologies for intelligent systems, foundations of intelligent systems, lecture notes in computer science. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006:84—90

[35] Huang C M, Lee Y J, Lin D K J, et al. Model selection for support vector machines via uniform design. Computational Statistics & Data Analysis, 2007, 52(1):335—346

[36] 林丹,李敏强,寇纪松.基于实数编码的遗传算法的收敛性研究.计算机研究与发展,2000,37(11):1 311—1 327. Lin D, Li M Q,Kou J S. On the convergence of real-coded genetic algorithms (In Chinese). Journal Computer Research & Development,2000, 37(11):1 311—1 327

[37] 浙江省农业厅,浙江省国土资源厅. 浙江省标准农田地力调查与分等定级技术规范.[2008-03-26]. http://www.zjagri.gov.cn/html/trfl/newsView/95102.html. Agriculture Department of Zhejiang Province, Zhejiang Provincial Department of Land and Resources. Zhejiang provincial technical specification for productivity survey and classification and gradation of standard cultivated land (In Chinese). [2008-03-26]. http://www.zjagri.gov.cn /html/trfl/newsView/95102.html

# PRODUCTIVITY EVALUATION AND GRADING OF STANDARD CULTIVATED LAND BASED ON SUPPORT VECTOR MACHINE —A CASE STUDY OF LUCHENG DISTRICT OF WENZHOU CITY, ZHEJIANG PROVINCE

Lai Hongsong[1†]　Wu Cifang[2]

(1 *Wenzhou City Bureau of Land and Resources*, *Wenzhou*, *Zhejiang*　325027, *China*)

(2 *College of Public Administration*, *Zhejiang University*, *Hangzhou*　310029, *China*)

**Abstract**　A SVM (Support Vector Machine)-based method for productivity evaluation of Standard Cultivated Land (SCL) and a GASA-optimized algorithm for selecting of SVM parameters is put forward in this paper. Based on determination of the indices for productivity evaluation and grading of SCL, this method first made use of the data of the samples in the farmland productivity survey and its evaluation results of traditional integrated productivity factors method in building up a SVM sample set, trained SVM with the GASA-optimized algorithm, and set up a SVM model for evaluation and grading of SCL. This method was tested on productivity evaluation of SCL in Lucheng District of Wenzhou City, Zhejiang. The results indicate that the second grade and third grade of SCL accounts for 45.04% and 54.96%, respectively, of the total SCL in area (115.7 $hm^2$) which the test samples stand for. The evaluation using this method reached 100% in accuracy. The evaluation of the test samples using the BP networks method was only 90% in accuracy. The findings show that the SVM method is much higher in accuracy than the BP networks method, and therefore this effective new method can be used efficiently to evaluate and grade SCL in productivity.

**Key words**　Productivity evaluation of cultivated land; Standard cultivated land; Support vector machine; Lucheng District