

基于改进投影寻踪模型的干旱区 林果适宜灌溉方式评价

魏光辉

(新疆塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000)

【摘要】 为探讨西北干旱区林果节水高效灌溉模式,本文建立了涵盖作物生长性状、水分利用、果品质量和工程投资4个方面10项指标的库尔勒香梨适宜灌溉方式综合评价体系,并采用改进粒子群算法优化投影寻踪模型进行方案优选。结果表明:作物耗水量、水分利用效率、产量与单位面积投资这4项指标是影响灌溉方式综合评价的主要因素,其投影值分别为0.3458、0.4165、0.3796和0.3433;综合考虑各因素,不同灌溉方式优劣排序为:环管地表灌溉>小管出流>普通灌溉>微喷灌,环管地表灌溉方式为研究区最佳灌溉方式。研究结果为干旱区林果节水灌溉提供了理论参考。

【关键词】 灌溉方式;投影寻踪模型;改进粒子群;库尔勒香梨;干旱区

中图分类号:TV93

文献标志码:A

文章编号:2096-0131(2017)04-0056-05

Evaluation on forest fruit suitable irrigation mode in arid areas on the basis of improved projection pursuit model

WEI Guanghui

(Xinjiang Tarim River Basin Administration, Korla 841000, China)

Abstract: In order to discuss forest fruit energy-saving and efficient irrigation mode in northwest arid areas. In the paper, an integrated evaluation system of Korla fragrant pear suitable irrigation mode is established, including four aspects of crop growth characters, water utilization, fruit quality and engineering investment as well as 10 indexes. Improved particle swarm algorithms are adopted to optimize the projection pursuit model and optimize plans. The results show that four indexes of crop water consumption, water use efficiency, yield and unit area are main factors affecting integrated evaluation of irrigation mode. The projection values thereof are 0.3458, 0.4165, 0.3796 and 0.3433. All factors are considered comprehensively. The advantage sequence of different irrigation modes is shown as follows: environment management ground surface irrigation > small tube flow > micro-spray irrigation > normal irrigation. The environment management ground surface irrigation mode belongs to an optimal irrigation mode in the study area. The research results provide theoretical reference for forest fruit water-saving irrigation in arid areas.

Key words: irrigation mode; projection pursuit model; improved particle swarm; Korla fragrant pear; arid areas

新疆地处西北内陆干旱区,“荒漠绿洲,灌溉农业”是其典型特点,农业及林果业以人工灌溉为主。因此,灌溉方式的合理选择,不仅关系到绿洲农业及林果

业的健康发展,也关系到干旱区水资源的可持续利用。

目前,国内关于灌溉方式评价方法的研究较多,如卢玉邦^[1]等以松嫩平原为研究对象,提出了“经济-资

源-社会”灌溉方式评价系统,并采用层次分析法和专家判断法确定指标权重,进行灌溉方式筛选;任玉忠^[2]等采用定量分析法研究了地面灌、滴灌和微喷灌对枣树生长、产量、水分利用和果实品质的影响,结果表明:滴灌及微喷灌方式可显著提高枣树果实品质和产量,为最优灌溉方式;张旭东^[3]等采用复合赋权法构建了二级模糊评判模型,对区域节水灌溉方式进行了优选,结果表明:模型评价结果与实际相符,方法简单易行;邱林^[4]等利用极大极小法建立了节水灌溉优选模型,运用线性加权法确定指标权重,对河南浚县灌区进行节水灌溉方式优选,结果表明:喷灌为最优灌溉方式;张志川^[5]构建了节水灌溉方式模糊综合评价熵权模型,并以河南省长葛市为例,对模型求解,结果表明:低压带喷和低压畦(沟)灌为最优灌溉方式;刘玉甫^[6]等根据模糊集和熵信息理论,构建了新疆塔里木盆地节水灌溉模式评价模型,对波涌灌、闸管灌、水平畦灌进行综合评价,研究发现水平畦灌是最适宜灌溉方式。上述研究主要集中在对一年生农作物进行灌溉方式评价,而对于西北干旱区多年生林果灌溉方式评价的研究则少有报道。

库尔勒市因盛产库尔勒香梨而有“梨城”美誉,传统的香梨灌溉方式以大水漫灌为主,但随着国家最严格水资源管理制度的实施,这种粗放型的灌溉方式亟待改进。由于灌溉方式对香梨的生长、品质及区域水资源的高效利用亦有重要影响,因此本文在前人研究的基础上,利用改进粒子群优化投影寻踪模型对库尔勒香梨适宜灌溉技术进行筛选评价,以期为区域水资源的合理开发利用及林果业的健康可持续发展提供重要参考。

1 灌溉方式评价指标体系建立

依据参考文献[7]与文献[8]资料,本文建立了干旱区香梨灌溉技术评价指标体系,该体系包括4个方面、10项评价指标。4个方面分别为作物生长性状、水分利用、果品质量和工程投资。其中,作物生长性状层面包括茎粗、叶面积与产量3项指标;水分利用层面包括作物耗水量与水分利用效率2项指标;果品质量层

面包括单果重量、可溶性糖、可溶性固形物与果皮硬度4项指标;工程投资层面包括单位面积投资1项指标。库尔勒香梨灌溉方式评价指标体系见表1。

表1 香梨灌溉方式评价指标体系

目标层	准则层	评价指标	指标性质
香梨灌溉方式评价	生长性状	茎粗 C1/cm	正指标
		叶面积 C2/cm ²	正指标
		产量 C3/(kg/hm ²)	正指标
	水分利用	耗水量 C4/mm	负指标
		水分利用效率 C5/[kg/hm ² ·mm]	正指标
	果实品质	单果重量 C6/g	正指标
		可溶性糖 C7/%	正指标
		果皮硬度 C8/(kg/cm ²)	正指标
		可溶性固形物 C9/%	正指标
	工程投资	单位面积投资 C10/(元/hm ²)	负指标

在表1评价指标体系中,茎粗是衡量植株健壮与否的一项重要指标,在一定程度上反映了植株输送营养物质及水分的能力,其值越大越优。叶面积反映了作物光合作用的强弱,若叶面积大则表明植株光合作用较强,植株生长势态良好。作物产量直接反映了灌溉方式的作用结果,产量越高则经济效益越佳。在水分利用方面,作物单位面积耗水量越小则越节约水资源。在总灌水量保持在一定水平的情况下,水分利用效率越高则表明单位水量所生产的果实越多,即作物单方水生产效率越高。在果实品质方面,单果重越大(果实体积也会越大)则表明果实外观品质越好。香梨果实中含有大量可溶性固形物、可溶性糖和维生素C等营养物质,这些营养物质的含量决定了果实的内在品质,其指标值均为越大越优。此外,在一定范围内,果实的果皮硬度越大则越有利于果实的采摘、运输及储存。在工程投资方面,单位面积投资越小,则农民越愿意接受该灌溉方式(即该灌溉方式易于推广)。

2 改进粒子群优化投影寻踪综合评价模型

2.1 投影寻踪模型

投影寻踪是一种用来分析和处理非线性、非正态

高维数据的统计方法,其计算步骤如下:

a. 数据归一化。设评价指标集合为

$$\{x^*(i,j) | i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p\}$$

式中 $x^*(i,j)$ ——第 i 个方案第 j 个评价指标值;

n ——评价集合个数;

p ——评价指标个数。

$$\text{对于正指标 } x(i,j) = \frac{x^*(i,j) - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (1)$$

$$\text{对于负指标 } x(i,j) = \frac{x_{\max}(j) - x^*(i,j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (2)$$

式中 $x_{\min}(j)$ 、 $x_{\max}(j)$ ——评价指标集合中第 j 项指标的最小值和最大值。

b. 构造投影指标函数。 PP 模型将 p 维数据 $\{x(i,j) | j = 1, 2, \dots, p\}$ 合成 $a = [a(1), a(2), \dots, a(p)]$ 为投影方向的一维投影值。

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j)x(i,j) \quad (3)$$

根据 $\{z(i) | i = 1, 2, \dots, n\}$ 的一维散布图进行方案评价,其中 a 为单位向量。投影指标函数为

$$Q(a) = S_z D_z \quad (4)$$

式中 S_z ——投影值 $z(i)$ 的标准差;

D_z ——投影值 $z(i)$ 的局部密度。

$$S_z = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{[z(i) - E_z]^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r_{ij})u(t) \quad (6)$$

式中 E_z ——系统 $\{z(i) | i = 1, 2, \dots, n\}$ 均值;

R ——局部密度的窗口半径,一般取 $0.1S_z$;

距离 $r_{ij} = |z(i) - z(j)|$;

$u(t)$ ——单位阶跃函数,当 $t \geq 0$ 时取 1, $t < 0$ 时取 0。

c. 优化投影函数。通过求解投影指标函数的最大值可计算得到最佳投影方向:

$$\text{目标函数 } \max: Q(a) = S_z D_z \quad (7)$$

$$\text{约束条件 } \text{s. t. } \sum_{j=1}^p a^2(j) = 1 \quad (8)$$

本文采用改进粒子群算法来进行模型寻优。

d. 方案评价。将改进粒子群算法计算得到的投

影方向 a^* 代入式(3),即可得到评价集合投影值 $z^*(i)$, $z^*(i)$ 值越大方案越优。

2.2 改进 PSO 算法优化投影寻踪模型

PSO 算法中粒子向个体最好位置和群体最好位置集聚时,可能会导致种群粒子的相同情况发生,出现局部极值与精度不高等问题。为解决这些问题,采用基于参数选择改进 PSO 算法(improved PSO, IPSO)。

粒子群算法中的参数主要包括最大速度、2 个加速常数和收缩因子等,本文针对这 3 方面的参数进行选择,从而改进粒子群算法。

a. 选择 v_{\max} 。PSO 算法中粒子速度和位置计算分别见式(9)和式(10)。

$$v_{id} = wv_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}) \quad (9)$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id} \quad (10)$$

式中 c_1 和 c_2 ——加速常数;

r_1 和 r_2 —— $[0, 1]$ 范围内的随机数;

p_{id} 和 p_{gd} ——个体的历史最佳位置和全局的历史最佳位置;

w ——惯性常数;

v_{id} ——粒子速度,是随机变量。

本文采用选择最大速度在 $[-v_{\max}, v_{\max}]$ 范围的方法限制这种不确定的变动。考虑到 v_{\max} 过大时,粒子位置会进入无规则的变动, v_{\max} 过小时会使算法收敛性变差,所以 v_{\max} 确定为搜索空间的 20%。

b. 选择加速常数。式(9)中 c_1 用于控制粒子向个体最优位置的运动, c_2 用于控制粒子向邻域最优位置的运动。本文 c_1 和 c_2 的选择采用如下方法: c_1 由 2.5 线性减少到 0.5, c_2 由 0.5 线性增加到 2.5, 且 $c_1 + c_2 \leq 4.0$ 。

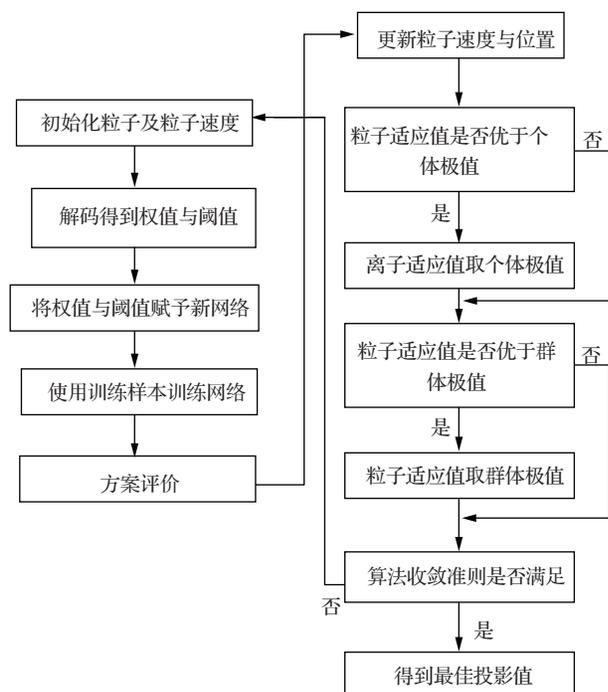
c. 选择收缩因子。利用式(9)计算时,粒子会跳出搜索空间,导致求解结果可能为无穷大,从而出现种群爆炸情况。鉴于此,本文采用收缩因子控制此种情况。

带收缩因子 λ 的 PSO 由 Kennedy 提出的速度更新公式进行求解,具体如下:

$$v_{id}(t+1) = \lambda v_{id}(t) + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}(t)) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}(t))$$

其中 $\lambda = \frac{2}{2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}}$, $\varphi = c_1 + c_2$

IPSO 优化投影寻踪模型计算流程见下图。



算法流程图

3 模型应用

3.1 研究区概况

库尔勒市位于新疆塔里木盆地北缘的天山支脉库鲁克塔格山和霍拉山山前冲积平原,全市总面积 7268km²,是新疆巴音郭楞蒙古自治州的州府所在地,也是当地政治、经济和文化中心。库尔勒市因盛产库尔勒香梨而有“梨城”美誉,这里光照充足,昼夜温差大,降水稀少,蒸发强烈,为典型的暖温带大陆性干旱气候,适宜种植瓜果,多年平均气温 11.5℃,降水量 55.6mm,蒸发量 2388.2mm(E20 小型蒸发器),年日照时数 2990h,无霜期 210 天。

库尔勒香梨具有皮薄肉细、汁多味甜、酥脆爽口、耐储存等特点,果实含水量 84%~86%,可溶性固形物 13%~15%,号称“果中之王”,远销中国香港、东南亚、欧美等国家和地区。截至 2012 年年底,库尔勒市香梨种植面积已达 3.6 万 hm²,占全州特色林果业面积的 38%;年产量超过 40 万 t,占全州林果业果品总产

量的 70% 以上,香梨产业已成为库尔勒市农业增产、农民增收的重要产业。由于库尔勒香梨的传统灌溉方式以大水漫灌为主,随着国家最严格水资源管理制度的实施,这种粗放型的灌溉方式亟待改进。鉴于此,本文从水分利用、作物生长、果品质量和工程投资 4 个方面对库尔勒香梨的适宜灌溉方式进行综合评价。

3.2 模型计算

a. 原始数据获取。依据参考文献[7]资料,本文选取环管地表灌溉、小管出流灌溉、微喷灌与普通灌溉(大水漫灌方式)4 种灌溉方式进行综合评价,各评价指标值见表 2。

表 2 库尔勒香梨不同灌溉方式评价指标

评价指标	灌溉方式			
	环管地表灌溉	小管出流	微喷灌	普通灌溉
耗水量/mm	751.3	764.2	783.3	1168.8
水分利用效率/[kg/(hm ² ·mm)]	36.9	41.9	15	17.7
茎粗/cm	17.7	17.8	14.5	13.3
叶面积/cm ²	45.07	44.21	35.6	40.78
产量/(kg/hm ²)	27700	32000	11700	20700
单果重量/g	154.42	149.38	144.93	149.94
可溶性糖/%	15.12	15.37	16.01	15.95
果皮硬度/(kg/cm ²)	4.2	3.72	3.66	3.87
可溶性固形物/%	13.58	13.7	13.72	14.53
单位面积投资/(元/hm ²)	6445.5	8784	20484	0

b. 数据归一化处理。根据表 2 数据,利用式(1)与式(2)进行归一化处理(见表 3)。

表 3 不同灌溉方式评价指标归一化值

评价指标	环管地表灌溉	小管出流	微喷灌	普通灌溉
耗水量	0.3572	0.3462	0.3298	0
水分利用效率	0.8807	1.0000	0.3580	0.4224
茎粗	0.9944	1.0000	0.8146	0.7472
叶面积	1.0000	0.9809	0.7899	0.9048
产量	0.8656	1.0000	0.3656	0.6469
单果重量	1.0000	0.9674	0.9385	0.9710
可溶性糖	0.9444	0.9600	1.0000	0.9963
果皮硬度	1.0000	0.8857	0.8714	0.9214
可溶性固形物	0.9346	0.9429	0.9443	1.0000
单位面积投资	0.6853	0.5712	0.0000	1.0000

c. 灌溉方式评价。利用 MATLAB 7.0 编制基于改进粒子群优化投影寻踪模型程序。参数设置为:种群规模 500,学习因子 $c_1 = c_2 = 2$,惯性权重 $w = 0.985$,最大迭代次数 1000 次。在 MATLAB 环境中运行上述程序,得到评价方案的最佳投影方向 $a^* = (0.3458, 0.4165, 0.2320, 0.2980, 0.3796, 0.3110, 0.2655, 0.2311, 0.2859, 0.3433)$ 。

根据式(3)计算得出方案集合的投影值以及排序(见表4)。

表4 不同模型评价结果对比

灌溉方式	本文模型		TOPSIS方法	
	投影值	排序	贴进度值	排序
环管地表灌溉	0.7124	1	0.8535	1
小管出流	0.6306	2	0.7966	2
微喷灌	0.2953	4	0.5923	4
普通灌溉	0.5560	3	0.7095	3

由表4可知,研究区香梨适宜灌溉方式评价结果排序为:环管地表灌溉 > 小管出流 > 普通灌溉 > 微喷灌(“>”表示优于)。故环管地表灌溉方式为研究区最佳灌溉方式。

3.3 评价结果对比

文献[7]研究结果表明:环管地表灌溉为最优灌溉方式。这与本文研究结果完全一致,但该文未对小管出流、微喷灌、普通灌溉3种方式综合排序,故为验证本文计算结果的准确性,将本文计算结果与 TOPSIS 模型计算结果进行对比(见表4)。

由表4可知,通过与 TOPSIS 方法计算结果对比,两者结论完全一致,这充分验证了本模型的计算准确性,也实现了方法对方法的检验。

4 结语

本文构建了基于改进粒子群算法优化投影寻踪模型的干旱区香梨适宜灌溉方式综合评价模型,主要结论如下:

a. 采用改进粒子群算法优化投影寻踪模型可以客观、合理地评价方案指标赋权,避免了主观赋权存在的偏差,使评价结果客观、可信。

b. 耗水量、水分利用效率、产量与单位面积投资4项指标对灌溉方式综合评价的影响最大,其投影值分别为0.3458、0.4165、0.3796和0.3433。

c. 综合考虑灌溉方式对香梨生长性状、水分利用、果品质量和工程投资的影响,环管地表灌溉 > 小管出流 > 普通灌溉 > 微喷灌。故环管地表灌溉方式为研究区最佳灌溉方式。

d. 在林果种植中,采用合理的灌溉方式能提高林果水分利用效率,实现节水、提质、高效用水的目的,这对西北干旱缺水地区林果种植业的发展具有重要意义。下一步应当重点研究亏缺灌溉对香梨品质的影响以及水分调控与品质的响应机理,探寻香梨节水、高产与优质的灌溉制度与模式。

参考文献

- [1] 程静,苏孝敏,张晨辰. 干旱地区膜下滴灌技术甜瓜种植模式试验研究[J]. 水资源开发与管理,2015(1):57-63.
- [2] 王海军. 新疆干旱区节水灌溉工程技术的探讨[J]. 水资源开发与管理,2015(2):56-58.
- [3] 卢玉邦,郭龙珠,郎静波. 综合评价方法在节水灌溉方式选择中的应用[J]. 农业工程学报,2006,22(2):33-36.
- [4] 任玉忠,王水献,谢蕾. 干旱区不同灌溉方式对枣树水分利用效率和果实品质的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(22):95-102.
- [5] 张旭东,孙仕军,迟道才. 二级模糊综合评判法在区域节水灌溉方式优选中的应用[J]. 节水灌溉,2013,(12):15-18.
- [6] 邱林,晏阳,刘婧然. 基于极大极小法灌溉方式的选择[J]. 华北水利水电学院学报,2013,34(2):17-19.
- [7] 张志川. 节水灌溉工程技术适宜性模糊评价[J]. 中国农村水利水电,2004(11):23-27.
- [8] 刘玉甫,张明,王蓓. 塔里木盆地节水灌溉综合效益评价及灌溉方式优化筛选[J]. 南水北调与水利科技,2009,7(2):70-72.