

基于组合赋权的 Dtopsis 法在土壤肥力评价中的应用

杨禹伟¹, 陈 华¹, 杨 宇², 姜 波¹, 左惠文¹, 刘晓坤¹

(1. 新疆大学 电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 石河子大学 经济与管理学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要:以新疆加工番茄某主产区试验田的 15 个土壤样本为试材, 利用层次分析法 (Analytic hierarchy process, AHP) 和熵权法分别得到主、客观权重, 再运用博弈论思想将权重组合, 进而采用组合权重赋权的 Dtopsis (Dynamic technique for order preference by similarity to ideal solution) 法对试验区不同地块土壤肥力进行评价。结果表明: 得到 15 个样本直观的优劣排序结果, 符合生产实际, 为精准施肥及作物种植规划提供指导。

关键词: 博弈论; 层次分析法; 熵权法; Dtopsis 法; 土壤肥力评价

中图分类号: S 158 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)21-0129-05

新疆地处西北, 大部分地区土壤属于沙土或灰漠土, 属于典型的大陆性干旱气候, 非常适合加

工番茄的生长。加工番茄产业作为新疆“红色”支柱产业^[1]已具规模, 但是传统粗放种植管理模式一定程度上阻碍了产业的健康持续发展, 随着当今全球精准农业的发展, 精准施肥可以有效提高种植效益, 减少浪费, 而土壤肥力的评定是精准施肥的前提。因此, 建立合理科学的土壤评价体系对新疆加工番茄产业具有重要意义。

目前, 国内外学者对土壤肥力进行了较为广泛的研究^[2-11], 各类评价体系的差异主要集中在以下 2 个方面: 一是评价指标的权重确定方法, 分

第一作者简介: 杨禹伟 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向为智能控制系统研究与应用。E-mail: yangyuweigod@163.com.

责任作者: 陈华 (1964-), 女, 本科, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为智能控制系统研究与应用。E-mail: xj-chenhua@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61064005)。

收稿日期: 2017-05-10

growth of *Caragana* spp. seedlings were tested by inoculating experiment with strain Fe11. The results showed that total of 14 strains of siderophore-producing were isolated from rhizosphere soil of *Caragana* spp., and 6 of them had strong ability to produce siderophore. The 16S rDNA sequences of all strains had 99%—100% similarity with that of *Pseudomonas*, which was dominant siderophore-producing rhizobacteria of *Caragana* spp. Most of the strains had more than two kinds of growth-promoting characteristics. Among them, strains Fe9, Fe11 and Fe13 showed a diverse growth-promoting potential. The results of inoculation experiment demonstrated that strain Fe11 had obvious growth-promoting effect on *Caragana* spp. seedlings. The plant height, root length, leaf number, fresh weight and dry weight were increased by 17.25%, 6.68%, 17.75%, 42.51% and 20.67%, respectively.

Keywords: *Caragana* spp.; siderophore; plant growth-promoting rhizobacteria; growth-promoting effects

为主观和客观 2 种。主观方法是根据专家经验和决策者偏好出发评价指标的权重,包括 AHP、德尔菲、环比评分等。客观方法权衡数据的离散性和对比强度,包括熵权、主成分分析、均方差、变异系数等。二是土壤肥力评价的数学分析方法的选择。目前广泛使用的有综合指数、模糊综合评价等。

主客观赋权法都具有一定的局限性,主观赋权具有主观随意性,计算结果往往因人而异,客观赋权数据依赖性高,易受数据波动影响,而评价指标的权重直接影响评价结果,因此,权重既需要反映决策者的主观意愿,又能客观反映指标本身的属性。为了兼顾决策者的偏好,减少赋权的主观性,该研究采用博弈论对 AHP 和熵权法确定的土壤肥力指标权重进行组合,得到土壤肥力评价体系的总权重。Dtopsis^[12-14]是综合评价区域经济发展的方法,现在又广泛地应用于农林科技研究等领域,但应用于土壤肥力评价的研究较少。为此,现以新疆加工番茄某主产区试验田取得的 15 个土壤样本为试材,利用层次分析法和熵权法

分别得到主、客观权重,再运用博弈论思想将权重组合,进而采用组合权重赋权的 Dtopsis 法对试验区不同地块土壤肥力进行评价,以期得到加工番茄土壤肥力的直观量化的评价结果,为精准施肥及作物种植规划提供决策参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

将新疆加工番茄某主产区试验田进行网格划分,取得 15 个样本^[10],分别用代号 P_1, P_2, \dots, P_{15} 表示。有机质、有效磷、碱解氮、速效钾对作物生长以及品质起着重要的作用,是地力情况的直接反映,因此,该研究选取上述 4 种元素作为土壤肥力评价的指标,采用基于组合赋权的 Dtopsis 法,通过 Matlab. R2013a 软件编程对样本数据(表 1)进行处理。在实际应用中,可根据种植作物的需要挑选特定的元素作为土壤肥力的评价指标,进而为精准施肥提供有效指导。

表 1
Table 1

样本数据

The sample data

样本代号 Sample code	碱解氮 Available nitrogen/(mg · kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus/(mg · kg ⁻¹)	速效钾 Available K/(mg · kg ⁻¹)	有机质 Organic matter/(g · kg ⁻¹)
P_1	72	18.4	123	17.6
P_2	66	17.3	119	18.5
P_3	72	14.0	126	15.3
P_4	65	24.3	183	16.5
P_5	77	18.0	156	20.0
P_6	85	10.3	112	19.9
P_7	89	20.1	132	21.6
P_8	68	10.8	136	19.7
P_9	83	16.3	139	20.7
P_{10}	69	17.5	128	17.7
P_{11}	71	19.1	134	18.9
P_{12}	84	18.4	142	19.4
P_{13}	77	22.0	156	17.6
P_{14}	82	15.0	142	19.1
P_{15}	69	18.4	123	20.5

1.2 研究方法

分别采用层次分析法和熵权法求出各指标的权重,通过博弈论的思想将 2 个权重进行组合,得

到组合权重,再利用组合赋权的 Dtopsis 法对土壤样本肥力进行排序。

1.2.1 层次分析法

AHP 是对复杂问题中的多个因素进行分析,并分解为若干有序层次,然后根据专家意见对每一层次的重要程度进行判断,给出定量关系。该研究主要利用 AHP 的层次单排序,以期获得 4 个指标的权重,故不对层次进行总体排序。

对每个指标进行两两比较,建立判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$, a_{ij} 表示为第 i 个元素相对于第 j 个元素的重要程度,由专家的专业知识和经验对元素间的相对关系进行判定,数量标度取 1~9,其中 $a_{ij}=1/a_{ji}$ 。该研究根据专家经验,构造判断矩阵:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 0.5 & 2 \\ 0.333 & 1 & 0.167 & 0.667 \\ 2 & 6 & 1 & 4 \\ 0.5 & 1.5 & 0.25 & 1 \end{bmatrix} \quad (1),$$

计算 $AW=\lambda_{\max}W$,进行层次单排序,其中, A 为判断矩阵; λ_{\max} 为 A 的最大特征根; W 是 λ_{\max} 与对应的特征向量。 W 的每一个分量即所对应因素的相对重要性权值。为防止判断矩阵出现自相矛盾的现象,还需要对判断矩阵进行一次性检验:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} (n > 1) \quad (2),$$

$$CR = CI/RI \quad (3).$$

式中: CI 为判断矩阵一般一致性指标; RI 为判断矩阵平均随机一致性指标; CR 为判断矩阵随机一致性比率。若 $CR < 0.1$,一致性检验通过,否则修改判断矩阵。

由式(1)~(3)及表 1 数据,计算得 AHP 法确定的各指标主观权重分别为 0.260 9、0.087 0、0.521 7、0.130 4。

1.2.2 熵权法

熵用于测定系统的无序程度,例如系统可能处于 m 种不同的状态,每种状态出现概率为 $P_j (j=1, 2, \dots, m)$,则该系统的熵为:

$$E = - \sum_{j=1}^m P_j \ln P_j \quad (0 \leq P_j \leq 1; \sum_{j=1}^m P_j = 1) \quad (4).$$

当概率相等时取得最大熵,此时提供的信息最少,由此可知,若某特征的熵值越小,表示该特征的差异越大,可为评价系统提供更多的信息,其作用也就越大,因此,被赋予的权重也应越大。采

用熵值法可度量数据提供的有效信息,使评价结果更加科学合理。计算得熵权法确定的各指标客观权重为 0.125 0、0.580 1、0.197 2、0.097 7。

1.2.3 基于博弈论的组合权重

博弈论是研究具有竞争性事物的方法,是运筹学的重要学科。博弈论中,假定每个方案都是理性决策的结果,是各决策主体为了实现自身利益而进行的决策。在决策过程中,博弈主体协调寻找最大化利益,在该研究中就是将主客观权重组合得到新的权重,以实现共同利益最大化。其步骤为:

1)构造一个基本的权重集: $u_k = \{u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{km}\}, k=1, 2, \dots, L$ 。 L 个向量的任意线性组合为

$$u = \sum_{k=1}^L a_k \cdot u_k^T, a_k > 0 \quad (5).$$

式中: u 为 L 种权重集的综合权重向量, a_k 为权重系数。

2)为了得到最合理的权值,要对 L 个权值向量 a_k 进行优化,最终使 u 与 u_k 的离差极小化,即

$$\min \left\| \sum_{j=1}^L a_j u_j^T - u_i \right\|_2, \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (6).$$

(3)式最优化的一阶导数条件可转化为:

$$\begin{bmatrix} u_1 \cdot u_1^T & u_1 \cdot u_2^T & \cdots & u_1 \cdot u_L^T \\ u_2 \cdot u_1^T & u_2 \cdot u_2^T & \cdots & u_2 \cdot u_L^T \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_L \cdot u_1^T & u_L \cdot u_2^T & \cdots & u_L \cdot u_L^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \cdots \\ a_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \cdot u_1^T \\ u_2 \cdot u_2^T \\ \cdots \\ u_L \cdot u_L^T \end{bmatrix} \quad (7),$$

运用 Matlab 计算 (a_1, a_2, \dots, a_L) 然后归一化处理,可得

$$a_k^* = a_k / \sum_{k=1}^L a_k \quad (8),$$

得出综合权重为

$$u^* = \sum_{k=1}^L a_k^* \cdot u_k^T \quad (9).$$

由公式(5)~(9)计算得,土壤肥力的主客观综合权重为 0.189 5、0.346 0、0.351 2、0.113 2。

1.2.4 Dtopsis 法评价

Dtopsis 法借助多目标决策问题中的“理想解”和“负理想解”,每个评价指标均被量化为可比较的标准形式,通过比较各指标间的差异,使土壤肥力这一模糊指标转化为对理想解的相对接近

度,从而获得对样本的评价。Dtopsis 法步骤如下:

1)根据表 1 中样本数据,建立矩阵 \mathbf{B} :

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{m1} & Y_{m2} & \cdots & Y_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)。$$

2)将矩阵 \mathbf{B} 进行量纲化处理,使其成为可比较的规范化矩阵 Z ,可根据作物要求设定选定的营养元素为正向、逆向、固定的期望指标,该研究中选取的指标均设定为正向指标,其中 Z_{ij} 为:

$$Z_{ij} = Y_{ij} / Y_{j\max} \quad (11)。$$

式中, $Y_{j\max} = \max(Y_{ij}) (i=1,2,\cdots,m)$ 。

3)建立加权的规范化决策矩阵 R ,其中 $R_{ij} = W_j Z_{ij} (i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n)$, W_j 是第 j 个性状的权重,即上述博弈论确定的组合权重。

4)求土壤肥力的理想解和负理想解:

$$X^+ = \{(\max R_{ij} / j) / i\} = \{X_1^+, X_2^+, \cdots, X_n^+\} \quad (12),$$

$$X^- = \{(\min R_{ij} / j) / i\} = \{X_1^-, X_2^-, \cdots, X_n^-\} \quad (13)。$$

5)采用欧几里德范数测定距离,得到各样本与理想解的距离。

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (R_{ij} - X_j^+)^2}, i = 1, 2, \cdots, m \quad (14),$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (R_{ij} - X_j^-)^2}, i = 1, 2, \cdots, m \quad (15)。$$

6)求各样本对理想解的相对接近度:

$$C_i = S_i^- / (S_i^- + S_i^+) C_i \in [0, 1], \quad i = 1, 2, 3, \cdots, m \quad (16)。$$

2 结果与分析

根据表 1 样本数据,在采用组合赋权的 Dtopsis 法,通过 Matlab. R2013a 软件编程,计算样本的评价结果如表 2 所示,分别列出了 15 个样本的与理想解距离、与负理想解距离以及相对接近度。可知, P_6 与理想解距离值最大为 0.241 8, P_4 最小,为 0.057 7。与负理想解距离最大是 P_4 ,为 0.241 5,最小是 P_6 ,为 0.048 9。 P_4 综合表现最好, P_6 最差,因此在制定种植加工番茄的播种计划时,可以优先考虑与排名前列的土壤样本一致的土地进行种植。

表 2 组合赋权的 Dtopsis 法土壤肥力评价结果

Table 2 Results of soil fertility evaluation by Dtopsis method combined weighting method

样本代号 Sample code	与理想解距离 S_i^+ Distance from ideal solution S_i^+	与负理想解距离 S_i^- Distance from negative ideal solution S_i^-	相对接近度 C_i Relative approach degree C_i	C_i 值排序 C_i ranking
P_1	0.148 5	0.118 8	0.444 4	8
P_2	0.166 4	0.102 0	0.380 0	12
P_3	0.189 4	0.061 0	0.243 6	13
P_4	0.057 7	0.241 5	0.807 3	1
P_5	0.107 0	0.142 9	0.571 7	4
P_6	0.241 8	0.048 9	0.168 3	15
P_7	0.114 7	0.157 0	0.577 8	3
P_8	0.217 2	0.052 4	0.194 3	14
P_9	0.142 4	0.110 7	0.437 3	9
P_{10}	0.150 8	0.108 1	0.417 5	10
P_{11}	0.126 5	0.134 2	0.514 8	6
P_{12}	0.116 2	0.136 8	0.540 8	5
P_{13}	0.069 6	0.188 9	0.730 6	2
P_{14}	0.155 3	0.097 5	0.385 6	11
P_{15}	0.148 9	0.120 7	0.447 7	7

3 结论

单一指标无法完成对土壤肥力的综合评价,该研究采用 Dtopsis 法对影响土壤肥力的多个营养成分的含量水平进行评价,得到直观的排序结果,由表 2 可知,相对接近度差异最大达到 79.2%,具有较大区分度,能够较好区分土壤肥力优劣。针对直接影响评价结果的权重,该研究引进博弈论组合权重的思想,利用 AHP 与熵权法相结合得到最终组合权重,既避免主观赋权方法的主观随意性,又降低样本数据精度、测量误差、数据波动等因素导致评价结果的不合理性。

参考文献

- [1] 刘益星. 从品牌管理角度谈我国番茄制品的出口竞争力问题[J]. 经济论坛, 2017(4): 126-127.
- [2] ROMERO-ALVARADO Y, OTO-PINTO L, GARCÍABARRIOS L, et al. Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico[J]. Agroforestry Systems, 2002, 54(3): 215-224.
- [3] 陈欢, 曹承富, 张存岭, 等. 基于主成分-聚类分析评价长期施肥对砂姜黑土肥力的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 609-617.
- [4] 郑敏娜, 梁秀芝, 李荫藩, 等. 紫花苜蓿人工草地土壤肥力的灰色关联度分析[J]. 中国草地学报, 2017, 39(2): 111-116.
- [5] 叶回春, 张世文, 黄元仿, 等. 北京延庆盆地农田表层土壤肥力评价及其空间变异[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3151-3160.
- [6] 杜宜霞. 模糊聚类分析在土壤肥力分类中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2012, 40(2): 8-10.
- [7] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
- [8] 王小云, 蓝少华. 档案信息质量评价之指标权重分析及运用: 基于层次分析法[J]. 档案学通讯, 2010(1): 41-45.
- [9] 江福英, 吴志丹, 尤志明, 等. 闽东地区茶园土壤养分肥力质量评价[J]. 福建农业学报, 2012(4): 379-384.
- [10] 赵方华, 姜波, 陈华. 基于层次和模糊聚类分析法的土壤肥力评价[J]. 湖北农业科学, 2016(9): 2214-2217.
- [11] 马乔玲. 钾肥管理对加工番茄养分吸收、分配和产量品质的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013.
- [12] 姜盈雪. 基于灰色赋权法与 DTOPSIS 决策法的川南烤烟质量综合评价[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- [13] 宋羽, 李卫军, 张宏, 等. DTOPSIS 法综合评价新疆日光温室番茄新品种的初步研究[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(3): 457-460.
- [14] ZHAO P F, LIU J Y, YANG K, et al. Impact of staling on cane quality and sprouting, and the possibility of selecting for staling-resistant ability[J]. International Sugar Journal, 2012, 114(2): 101-106.

Application of Dtopsis Method Based on Combination Weighting Method in Soil Fertility Evaluation

YANG Yuwei¹, CHEN Hua¹, YANG Yu², JIANG Bo¹, ZUO Huiwen¹, LIU Xiaokun¹

(1. College of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830047; 2. School of Economics and Management, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003)

Abstract: The Dtopsis(Dynamic technique for order preference by similarity to ideal solution) based on combination weighting was used to valuate soil fertility for processing tomato in Xinjiang region according the 15 soil samples from a testing field. The analytic hierarchy process and entropy method were respectively used to get the subjective and objective weights combined by the game theory. The intuitive results reflect the actual situation. This method was feasible and scientific, which could provide reference for precision fertilization and crop planting.

Keywords: game theory; analytic hierarchy process; entropy method; Dtopsis method; soil fertility evaluation