

高尔夫球场生态环境健康评价研究

濮阳雪华¹, 戴子云¹, 高晨浩¹, 宋峥², 韩烈保^{1*}, 孟建忠³

(1. 北京林业大学高尔夫教育与研究中心, 北京 100083; 2. 北京东方园林股份有限公司, 北京 100012; 3. 上海佘山国际高尔夫俱乐部, 上海 201602)

摘要:依据高尔夫球场生态环境的特点,采用层次分析法构建了高尔夫球场生态环境健康评价的指标体系并确立了各指标的权重值,运用模糊综合评价法对上海某高尔夫球场生态环境的健康状况进行了综合评价。结果表明,该高尔夫球场生态环境的健康指数为 0.751,总体处于健康的水平。大气环境、水环境、土壤环境及植被状况的健康指数依次为 0.920, 0.597, 0.843, 0.733, 分别处于非常健康、亚健康、非常健康、健康的水平。依据评价结果和实测值对该高尔夫球场生态环境存在的问题做出了进一步的分析,并对如何改善高尔夫球场的生态环境提出了建议。

关键词:高尔夫球场; 生态环境; 层次分析法; 模糊综合评价; 健康评价

中图分类号: S812.8; X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2013)04-0266-09

DOI: 10.11686/cyxb20130432

现代高尔夫运动诞生至今已有 500 多年的历史,自新中国第一家高尔夫球场 1984 年在广东建立以来,高尔夫运动在中国已经经历了近 30 年的发展^[1,2]。据 2011 年《朝向白皮书》统计,截至 2011 年底,我国已拥有 18 洞高尔夫球场 543 个。一个标准的 18 洞高尔夫球场通常由发球台、球道、果岭和高草区组成,占地面积 70~120 hm²^[3]。高尔夫球场建造过程需要整地造型,为了获得良好的草坪质量,在种植和养护过程中必然要进行施肥,使用杀虫剂、杀菌剂和除草剂,灌溉需要消耗水资源^[4-7],这随之而产生的生态环境问题一直受到社会各界的质疑和关注,尤其是其施用农药、化肥对环境的影响。

层次分析法(analytic hierarchy process, 简称为 AHP)是 20 世纪 70 年代中期由美国著名运筹学专家 Saaty 和 Bennett^[8]创立的一种能用来处理复杂的社会、政治、经济、科学技术等决策问题的新方法。该方法把复杂问题中的各种因素分解成为相互联系的、有序的、条理化的层次,由于其具有理论内容深刻而表现形式简单,可以将定性与定量因素相结合的特点而被广泛使用于许多领域。模糊综合评价法(fuzzy comprehensive evaluation method)^[9]是建立在模糊数学基础上的一种定量评价模式,它在模糊的环境中考虑了多种因素的影响,最终对研究对象做出一个总的评价。利用层次分析法确定相关指标的权重,然后结合模糊综合评价法对生态环境质量进行综合评价不但可行,而且简单、实用^[10-12]。目前国内未见利用层次分析法和模糊综合评价法对高尔夫球场生态环境进行相关评价的文献报道。

本研究通过对上海某高尔夫球场实地调查和取样,采用层次分析法和模糊综合评价法对该高尔夫球场的生态环境进行了综合评价,旨在寻找该高尔夫球场存在的主要环境问题,使得人们对高尔夫球场的生态环境有一个更加客观的认识,为高尔夫球场的日常管理提供科学的依据,也为日后的科学研究和相关法律法规的制定提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 球场概况

上海某高尔夫球场位于上海市松江区内,建于 2004 年 1 月,球场设计为一个 18 洞标准杆 72 杆国际锦标赛

收稿日期:2012-12-20; 改回日期:2013-03-05

基金项目:北京市教育委员会——北京市重点学科建设项目和奥林匹克基金项目资助。

作者简介:濮阳雪华(1987-),男,安徽广德人,在读博士。E-mail: puyangxuehua@163.com

* 通讯作者。E-mail: hanliebao@163.com

级别球场,占地面积约 147 hm²,其中发球台面积 11 950 m²,球道面积 100 765 m²,果岭面积 13 006 m²,高草区面积约 23 万 m²,水域面积 14 万 m²。球场草坪的草种类型主要为:球道草为海滨雀稗(*Paspalum vaginatum*),果岭草为匍匐翦股颖(*Agrostis stolonifera*)。

1.2 样品采集与分析

1.2.1 大气样品采集与分析 该实验于 2012 年 5 月在上海某高尔夫球场进行,在整个球场内均匀设置 3 个采样点,采样时间分别为 8:00、12:00、16:00,其中二氧化硫、氮氧化物、臭氧采用 TQ-1000 双气路大气采样器,吸收液体积 5 mL,采样体积为 15 L,总悬浮颗粒物采用 KB-120F 中流量大气采样器,设定流量 100 L/min,时间 60 min,空气负离子采用 AIC-1000 测定,采样的同时记录各样点的温度、湿度、大气压。

二氧化硫、氮氧化物、臭氧、总悬浮颗粒物的测试分别采用甲醛吸收—副玫瑰苯胺分光光度法(HJ482-2009)、盐酸萘乙二胺分光光度法(HJ479-2009)、靛蓝二磺酸钠分光光度法(HJ504-2009)、重量法(GB/T 15432-1995),空气负离子分析采用森林空气离子评价指数(FCI)^[13]进行评定。

1.2.2 水样的采集与分析 地表水样选择球场内 3 号、4 号、5 号、6 号人工湖进行采样。在每个人工湖的各采集点将采样器放入水下 0.5 m 处采样,每个采集点采水 500 mL,将多个采集点的水样混合后,取 2 L 混合水样装入洗净的玻璃瓶中,用以测试农药。取 500 mL 混合水样装入洗净的塑料瓶中,用以测试常规指标和重金属。溶解氧使用溶解氧瓶单独取样,现场加入固定剂。同时现场测定水温和 pH 值,并做好相关记录,所有样品 4℃ 保存。

水样的常规指标和重金属分析测试参照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[14],设置 3 个重复。pH 值采用玻璃电极法,溶解氧采用碘量法,高锰酸盐指数采用酸性法,BOD₅ 采用稀释与接种法,氨氮采用纳氏试剂比色法,总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,总磷采用钼锑抗分光光度法,铬采用二苯碳酰二肼分光光度法,铜、锌、镉、镍、铅采用原子吸收法,农药的残留量委托北京市理化分析测试中心进行测定。

1.2.3 土样的采集与分析 土壤样品随机选取球场 3 号、7 号、11 号、14 号球道进行采样。取样时以每个样点作为采集单元,每个采集单元均选择 10~15 个采集点并按 S 型路线进行采集,采样时避免球道边缘等特殊位置及堆过肥料的地方,采样深度为 0~20 cm,采样后将每个样点土样分别混合均匀,每个样品约重 2 kg。采样后立即风干,风干场所力求干燥通风,并要防止酸蒸气、氨气和灰尘的污染。风干后每个采集单元依编号顺序分别装入自封袋,并贴好标签,做好相关记录。

土壤样品的测试依据《土壤农化分析》^[15]和《土壤农业化学常规分析方法》^[16]进行,设置 3 个重复。pH 值采用酸度计法,有机质含量采用高温外热重铬酸钾氧化—容量法,全氮采用凯氏法,速效磷采用钼锑抗分光光度法,速效钾采用火焰原子吸收分光光度法,重金属的测定采用王水回流消解原子吸收法(NY/T 1613-2008),农药的残留量委托北京市理化分析测试中心进行测定。

1.2.4 植被的调查与分析 在球场内随机选择 2 号、8 号、11 号、14 号、17 号球洞,对 5 个球洞的球道及果岭周围的植物种类、数量等进行调查、记录。

多样性指数计算公式为:

$$\text{香农—威纳指数(Shannon—Weiner index)}^{[17]}: H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中, S 为物种数目, H 为物种的多样性指数, P_i 是第 i 种比例多度(给定为 $P_i = N_i/N$, N_i 为第 i 种物种个体数, $i=1,2,3,\dots,S$, N 为个体总数)。

群落多样性是将所有乔、灌、草各物种一起直接纳入多样性计算,本研究采用群落分层多样性测度法^[18],即将群落中的乔、灌、草各层的多样性指数分别计算后,直接加权相加,公式如下:

$$D = Q_1 D_1 + Q_2 D_2 + Q_3 D_3 + Q_4 D_4$$

式中, D 为群落多样性指数; D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 分别为乔木层、灌木层、草本层和水生植物的多样性指数(H), Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 分别为给定乔木层、灌木层、草本层和水生植物的权重系数,这里采用 0.5,0.2,0.2,0.1。

1.3 层次分析法

层次分析法的原理和步骤^[19]是通过建立层次分析结构模型,构造判断矩阵,利用求特征值的方法,确定各环

境因子的权重值。

1.3.1 评价指标体系的构建 生态环境健康评价指标体系在选取构建时应当遵循科学性、代表性、综合性、可操作性、简练性等原则^[20]。因此,在遵循上述原则的基础上,经理论分析和专家咨询,结合高尔夫球场的特殊情况,本研究将高尔夫球场生态环境健康综合评价体系分为目标层、准则层和指标层 3 个层次。目标层为高尔夫球场生态环境健康状况,准则层为大气环境、地表水环境、土壤环境和植被概况 4 个层次,指标层为二氧化硫、氮氧化物等 38 项指标(表 1)。

表 1 高尔夫球场生态环境健康评价体系及权重值

Table 1 The system and weighted value of eco-environmental health assessment in golf course

目标层 Target layer	权重值 Weighted value	准则层 Criteria layer	权重值 Weighted value	指标层 Indicator layer	权重值 Weighted value
高尔夫球场生态环境健康状况 Health situation of golf course eco-environment (A)	1.000	大气环境 Atmospheric environment (B ₁)	0.151	二氧化硫 SO ₂ (C ₁)	0.272
				氮氧化物 NO _x (C ₂)	0.272
				总悬浮颗粒物 TSP (C ₃)	0.272
				臭氧 O ₃ (C ₄)	0.104
				负离子 Negative ions(FCI 值 Value) (C ₅)	0.080
		地表水环境 Surface water environment (B ₂)	0.391	pH (C ₆)	0.011
				溶解氧 Dissolved oxygen (C ₇)	0.017
				高锰酸盐 COD _{Mn} (C ₈)	0.017
				五日生化需氧量 BOD ₅ (C ₉)	0.017
				氨氮 NH ₃ -N (C ₁₀)	0.026
				总氮 Total nitrogen (C ₁₁)	0.039
				总磷 Total phosphorus (C ₁₂)	0.039
				铜 Cu (C ₁₃)	0.057
				锌 Zn (C ₁₄)	0.057
				镍 Ni (C ₁₅)	0.057
				镉 Cd (C ₁₆)	0.057
				铬 Cr (C ₁₇)	0.057
				铅 Pb (C ₁₈)	0.057
		土壤环境 Soil environment (B ₃)	0.391	pH (C ₂₃)	0.011
				有机质 Organic matter (C ₂₄)	0.021
				全氮 Total nitrogen (C ₂₅)	0.021
				速效磷 Available phosphorus (C ₂₆)	0.021
				速效钾 Available kalium (C ₂₇)	0.021
		植被概况 Vegetation situation (B ₄)	0.067	铜 Cu (C ₂₈)	0.061
				锌 Zn (C ₂₉)	0.061
				镍 Ni (C ₃₀)	0.061
				镉 Cd (C ₃₁)	0.061
				铬 Cr (C ₃₂)	0.061
				铅 Pb (C ₃₃)	0.061
				群多样性指数 Community diversity index (C ₃₈)	1.000
				毒死蜱 Chlorpyrifos (C ₁₉)	0.123
				百菌清 Chlorothalonil (C ₂₀)	0.123
				甲霜灵 Metalaxyl (C ₂₁)	0.123
				氯氟菊酯 Cypermethrin (C ₂₂)	0.123
				毒死蜱 Chlorpyrifos (C ₃₄)	0.135
				百菌清 Chlorothalonil (C ₃₅)	0.135
				甲霜灵 Metalaxyl (C ₃₆)	0.135
				氯氟菊酯 Cypermethrin (C ₃₇)	0.135

1.3.2 评价指标权重的确定 采用层次分析法(AHP),确定各评价指标的权重值。首先,建立高尔夫球场生态环境健康评价指标体系的递阶层次分析结构模型;然后,根据构建的评价指标体系及各层次指标之间的相互关系,通过咨询相关专家,利用 Saaty 和 Bennett^[8]的 1~9 及倒数的标度法,对各层次因素进行两两比较并构建判断矩阵。最后,求解判断矩阵的特征值和特征向量,对判断矩阵进行一致性检验,当检验系数 $CR < 0.1$ 时,认为该判断矩阵具有很好的一致性,否则需重新调整矩阵。经归一化处理后的特征向量即为下一层相对于上一层的相对重要性的权重值(表 1)。

1.4 生态环境健康状况的模糊综合评价

1.4.1 等级评分标准的建立 本研究采用模糊综合评价法,对高尔夫球场的生态环境质量进行综合评价。首先,依据健康指数将生态环境健康划分为 5 个等级,即生态环境非常健康(0.8~1.0)、健康(0.6~0.8)、亚健康(0.4~0.6)、病态(0.2~0.4)、重度病态(0~0.2);然后,依据《环境空气质量标准》(GB 3095-1996)、《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)、《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)、《食品中农药最大残留限量》(GB 2763-2005)等相关国家标准,参考已有的研究成果^[13,21-24],结合高尔夫球场生态环境的实际情况,得出各指标的评价等级标准(表 2)。

1.4.2 构建评价模型 选取评价指标体系的评价因子做为模糊综合评价的因素集 $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_m\}$ (表 1),确定相应的评价标准集合 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$,即 $V = \{\text{非常健康, 健康, 亚健康, 病态, 重度病态}\}$ (表 2)。然后,确定评价因素的权重集 $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_m\}$ (表 1),对因素集合 C 中的单因素 $c_i (i=1, 2, 3, \dots, m)$ 进行单因素评判,逐一确定单因素 c_i 对评价标准等级 $v_j (j=1, 2, \dots, n)$ 的隶属度 r_{ij} ,得出了第 i 个因素 c_i 的单因素评判模糊子集: $r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) (i=1, 2, \dots, m)$,接下来,将 m 个单因素评判模糊子集组合起来,便可构造出一个总的模糊评判矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

于是,便可以得到高尔夫球场生态环境健康综合评价的模型: $A = W \times R$ 。

2 结果与分析

2.1 综合评价

依据评价等级标准(表 2)、实测值(表 3)和模糊综合评价的方法,分别构建准则层不同因素的模糊评判矩阵 R_i ,结合准则层不同因素所对应的各个指标的权重值(表 1)构成的权向量 W_i ,根据公式 $B_i = W_i \times R_i$,分别计算得出准则层不同因素的评判向量 B_i ,即:

$$B_1 = W_1 \times R_1 = [0.920 \quad 0.029 \quad 0.051 \quad 0 \quad 0]$$

$$B_2 = W_2 \times R_2 = [0.597 \quad 0.033 \quad 0.097 \quad 0.162 \quad 0.111]$$

$$B_3 = W_3 \times R_3 = [0.843 \quad 0.076 \quad 0.053 \quad 0.029 \quad 0]$$

$$B_4 = W_4 \times R_4 = [0.733 \quad 0.267 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

通过上述准则层不同因素评判向量构成的总的模糊评判矩阵 R 及与其对应的权向量 $W = [0.151 \quad 0.391 \quad 0.391 \quad 0.067]$ 进行模糊矩阵复合运算,即可得到高尔夫球场生态环境的综合评判向量 A ,即:

$$A = W \times R = W(B_1, B_2, B_3, B_4) = [0.751 \quad 0.065 \quad 0.067 \quad 0.074 \quad 0.043]$$

根据最大隶属度原则,判断高尔夫球场生态环境的健康指数为 0.751,按照评分等级,该高尔夫球场的生态环境状况为健康,这表明该球场日常养护管理比较合理,球场施用农药化肥及灌溉等措施不会对周边环境产生较大污染。按照准则层的不同因素划分,健康指数的大小依次为大气环境、土壤环境、植被概况、地表水环境(图 1)。

表 2 高尔夫球场生态环境健康评价等级标准

Table 2 The grade standard of eco-environmental health assessment in golf course

准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	非常健康 Extraordinary health (0.8~1.0)	健康 Health (0.6~0.8)	亚健康 Sub-health (0.4~0.6)	病态 Morbidty (0.2~0.4)	重度病态 Severe modbidity (0~0.2)
大气环境 Atmos- pheric environ- ment (B ₁)	二氧化硫 SO ₂ (C ₁) (mg/m ³)	<0.050	0.100	0.150	0.200	0.250
	氮氧化物 NO _x (C ₂) (mg/m ³)	<0.100	0.100	0.100	0.130	0.150
	总悬浮颗粒物 TSP (C ₃) (mg/m ³)	<0.120	0.200	0.300	0.400	0.500
	臭氧 O ₃ (C ₄) (mg/m ³)	<0.120	0.140	0.160	0.180	0.200
	负离子 Negative ions (FCI 值 Value) (C ₅)	>1.000	0.800	0.500	0.300	0.100
地表水环境 Sur- face water envi- ronment (B ₂)	pH (C ₆)	6.000~9.000	—	—	—	>9.000; <6.000
	溶解氧 Dissolved oxygen (C ₇) (mg/L)	>7.500	6.000	5.000	3.000	2.000
	高锰酸盐 COD _{Mn} (C ₈) (mg/L)	<2.000	4.000	6.000	10.000	15.000
	五日生化需氧量 BOD ₅ (C ₉) (mg/L)	<3.000	3.000	4.000	6.000	10.000
	氨氮 NH ₃ -N (C ₁₀) (mg/L)	<0.150	0.500	1.000	1.500	2.000
	总氮 Total nitrogen (C ₁₁) (mg/L)	<0.200	0.500	1.000	1.500	2.000
	总磷 Total phosphorus (C ₁₂) (mg/L)	<0.010	0.025	0.050	0.100	0.200
	铜 Cu (C ₁₃) (mg/L)	<0.010	1.000	1.000	1.000	1.000
	锌 Zn (C ₁₄) (mg/L)	<0.050	1.000	1.000	2.000	2.000
	镍 Ni (C ₁₅) (mg/L)	<0.050	0.050	0.050	0.100	0.100
	镉 Cd (C ₁₆) (mg/L)	<0.001	0.005	0.005	0.005	0.010
	铬 Cr (C ₁₇) (mg/L)	<0.010	0.050	0.050	0.050	0.100
	铅 Pb (C ₁₈) (mg/L)	<0.010	0.010	0.050	0.050	0.100
	毒死蜱 Chlorpyrifos (C ₁₉) (μg/L)	<0.400	10.000	20.000	30.000	40.000
	百菌清 Chlorothalonil (C ₂₀) (μg/L)	<0.400	2.800	5.200	7.600	10.000
	甲霜灵 Metalaxyl (C ₂₁) (μg/L)	<0.400	25.000	50.000	75.000	100.000
氯氰菊酯 Cypermethrin (C ₂₂) (μg/L)	<0.400	5.000	10.000	15.000	20.000	
土壤环境 Soil en- vironment (B ₃)	pH (C ₂₃)	5.500~7.000	>7.500	>8.000	>8.500	>9.000; <5.500
	有机质 Organic matter (C ₂₄) (g/kg)	>40.000	30.000	20.000	10.000	6.000
	全氮 Total nitrogen (C ₂₅) (g/kg)	>2.000	1.500	1.000	0.750	0.500
	速效磷 Available phosphorus (C ₂₆) (mg/kg)	>40.000	20.000	10.000	5.000	3.000
	速效钾 Available kalium (C ₂₇) (mg/kg)	>200.000	150.000	100.000	50.000	30.000
	铜 Cu (C ₂₈) (mg/kg)	<35.000	65.000	100.000	250.000	400.000
	锌 Zn (C ₂₉) (mg/kg)	<100.000	175.000	250.000	375.000	500.000
	镍 Ni (C ₃₀) (mg/kg)	<40.000	45.000	50.000	125.000	200.000
	镉 Cd (C ₃₁) (mg/kg)	<0.200	0.400	0.600	0.600	0.600
	铬 Cr (C ₃₂) (mg/kg)	<90.000	145.000	200.000	250.000	300.000
	铅 Pb (C ₃₃) (mg/kg)	<35.000	165.000	300.000	400.000	500.000
	毒死蜱 Chlorpyrifos (C ₃₄) (μg/kg)	<5.000	30.000	55.000	80.000	100.000
	百菌清 Chlorothalonil (C ₃₅) (μg/kg)	<0.500	50.000	100.000	150.000	200.000
	甲霜灵 Metalaxyl (C ₃₆) (μg/kg)	<5.000	30.000	55.000	80.000	100.000
	氯氰菊酯 Cypermethrin (C ₃₇) (μg/kg)	<0.500	50.000	100.000	150.000	200.000

续表 2 Continued

准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	非常健康 Extraordinary health (0.8~1.0)	健康 Health (0.6~0.8)	亚健康 Sub-health (0.4~0.6)	病态 Morbidty (0.4~0.2)	重度病态 Severe morbidity (0~0.2)
植被概况 Vegeta- tion situation	群落多样性指数 (C ₃₈) Community diver- sity index	I	II	III	IV	V

I: 乔木 20 种以上, 乔、灌、草、水生植物 50 种以上, 或群落多样性指数 $D > 2.5$, 球场有多种鸟类、松鼠、兔子等小动物 More than 20 trees and 50 trees, shrubbery, grass and aquatic plants, or community diversity index $D > 2.5$, many kinds of birds, squirrels, rabbits and other small animals;

II: 乔木 15 种以上, 乔、灌、草、水生植物 40 种以上, 或群落多样性指数 $D > 2.2$, 球场有一些鸟类等小动物 More than 15 trees and 40 trees, shrubbery, grass and aquatic plants, or community diversity index $D > 2.2$, some birds and other small animals; III: 乔木 10 种以上, 乔、灌、草、水生植物 30 种

以上, 或群落多样性指数 $D > 2.0$, 球场有少数小动物 More than 10 trees and 30 trees shrubbery, grass and aquatic plants, or community diversity index $D > 2.0$, some small animals; IV: 乔木 5 种以上, 乔、灌、草、水生植物 20 种以上, 或群落多样性指数 $D > 1.4$ More than 5 trees and 20 trees, shrubbery, grass and aquatic plants, or community diversity index $D > 1.4$; V: 乔、灌、草、水生植物 20 种以下, 或群落多样性指数 $D < 1.4$ Less than 20 trees, shrubbery, grass and aquatic plants, or community diversity index $D < 1.4$.

2.2 大气环境健康评价

通过对该球场大气环境健康状况的评价及实测值, 可以看出该球场的空气质量状况良好, 各种污染物的浓度均很低, 达到了国家对风景名胜区规定的 I 类标准, 负离子 FCI 指数表明空气清洁程度达到中等偏上水平^[13], 非常适宜从事户外休闲运动及日常管理工作, 这些与该球场地处国家旅游度假区, 球场内外拥有大量的植被密不可分。

2.3 地表水环境健康评价

人工湖的水资源在球场中发挥着重要的作用, 不仅是构成球场景观的重要元素, 也承担着球场灌排水的重任, 因此, 地表水的健康与否对球场的发展至关重要。地表水的健康评价表明该球场的地表水处于亚健康状态, 存在一定的安全隐患, 总氮含量超过了《地表水环境质量标准》中景观用水的 V 类标准, 总磷含量也相对偏高, 这极易导致水体富营养化, 进而影响球场品质。球场水体中重金属含量都低于国家标准中对于一般景观用水的要求, 其中铬含量偏高可能与球场土壤中铬含量偏高具有相关性。水体农药残留除百菌清外均未检出, 百菌清在 5 号和 6 号人工湖虽有检出, 但并未超过《地表水环境质量标准》规定的 $10 \mu\text{g/L}$ 的限定值。

2.4 土壤环境健康评价

草坪是高尔夫球场的生命线, 而土壤的健康状况又决定了草坪的质量。该球场的土壤环境总体处于非常健康的水平, 但是个别指标的含量存在一定的不合理性^[25]。土壤 pH 值中性偏碱, 有机质含量偏低, N、P、K 含量偏高。由于草坪草适宜中性偏酸的土壤^[22], 因此, 在日常管理中应适当调节土壤的 pH 值, 增加有机质的含量, 适当减少 N、P、K 肥的施用量和施用比例, 以改善土壤环境, 这样即可节约成本, 又能减少氮、磷的淋溶以降低污染。土壤重金属含量均达到《土壤环境质量标准》中关于一般农田的二级标准, 部分球道甚至达到了自然保护区的一级标准, 各球道间重金属含量差异不显著。土壤中百菌清的残留在 7 号和 11 号球道有检出, 但其含量较低, 符合相关国家标准。这可能是由于百菌清土壤吸收系数较大^[26], 在土壤中不容易发生迁移, 长期施用导致其在土壤中有少量残留。

2.5 植被健康评价

高尔夫球场植被主要以草坪为主, 结合高大乔木、灌木、地被、花卉组成了具有一定规模的栽培植物群落^[21]。实地调查发现该高尔夫球场共有乔木 17 种, 灌木 15 种, 草本 26 种, 水生植物 10 种, 存在大量的鸟类及少量的松鼠、野兔等野生动物。通过计算得出该高尔夫球场群落多样性指数 D 为 2.42。通过调查发现, 目前球场隔离片林种植结构简单, 野生灌木、草本稀少, 没有充分利用空间资源, 这无疑削弱了片林的生态效益及球场的整体景观效果。

表 3 高尔夫球场生态环境健康评价各指标检测结果

Table 3 The result of each index for eco-environmental health assessment in golf course

准则层 Criteria layer	指标层 Indicator layer	实测值 Measured value
大气环境 Atmospheric environment (B ₁)	二氧化硫 SO ₂ (C ₁) (mg/m ³)	0.021±0.001
	氮氧化物 NO _x (C ₂) (mg/m ³)	0.076±0.003
	总悬浮颗粒物 TSP (C ₃) (mg/m ³)	0.034±0.002
	臭氧 O ₃ (C ₄) (mg/m ³)	0.060±0.002
	负离子 Negative ions(FCI 值 Value) (C ₅)	0.607±0.014
地表水环境 Surface water environment (B ₂)	pH (C ₆)	7.76±0.08
	溶解氧 Dissolved oxygen (C ₇) (mg/L)	5.24±0.48
	高锰酸盐 COD _{Mn} (C ₈) (mg/L)	7.01±0.29
	五日生化需氧量 BOD ₅ (C ₉) (mg/L)	4.63±0.27
	氨氮 NH ₃ -N (C ₁₀) (mg/L)	0.65±0.24
	总氮 Total nitrogen (C ₁₁) (mg/L)	2.05±0.69
	总磷 Total phosphorus (C ₁₂) (mg/L)	0.11±0.04
	铜 Cu (C ₁₃) (mg/L)	0.20±0.02
	锌 Zn (C ₁₄) (mg/L)	N. D.
	镍 Ni (C ₁₅) (mg/L)	N. D.
	镉 Cd (C ₁₆) (mg/L)	N. D.
	铬 Cr (C ₁₇) (mg/L)	0.09±0.02
	铅 Pb (C ₁₈) (mg/L)	0.06±0.01
	毒死蜱 Chlorpyrifos (C ₁₉) (μg/L)	N. D.
	百菌清 Chlorothalonil (C ₂₀) (μg/L)	6.60*
	甲霜灵 Metalaxyl (C ₂₁) (μg/L)	N. D.
氯氰菊酯 Cypermethrin (C ₂₂) (μg/L)	N. D.	
土壤环境 Soil environment (B ₃)	pH (C ₂₃)	7.46±0.06
	有机质 Organic matter (C ₂₄) (g/kg)	15.62±0.75
	全氮 Total nitrogen (C ₂₅) (g/kg)	1.71±0.19
	速效磷 Available phosphorus (C ₂₆) (mg/kg)	28.38±2.21
	速效钾 Available kalium (C ₂₇) (mg/kg)	149.17±11.45
	铜 Cu (C ₂₈) (mg/kg)	9.35±0.63
	锌 Zn (C ₂₉) (mg/kg)	105.08±4.72
	镍 Ni (C ₃₀) (mg/kg)	18.25±2.36
	镉 Cd (C ₃₁) (mg/kg)	N. D.
	铬 Cr (C ₃₂) (mg/kg)	216.70±40.54
	铅 Pb (C ₃₃) (mg/kg)	58.75±5.28
	毒死蜱 Chlorpyrifos (C ₃₄) (μg/kg)	N. D.
	百菌清 Chlorothalonil (C ₃₅) (μg/kg)	2.41**
	甲霜灵 Metalaxyl (C ₃₆) (μg/kg)	N. D.
	氯氰菊酯 Cypermethrin (C ₃₇) (μg/kg)	N. D.
	植被概况 Vegetation situation (B ₄)	群落多样性指数 Community diversity index (C ₃₈)

N. D. :表示未检出 Not detect; * :5 号和 6 号人工湖水样的均值 The average value of lake water in No. 5 and No. 6; ** :7 号和 11 号球道土样的均值 The average value of fairway soil in No. 7 and No. 11.

3 讨论

本研究对上海某高尔夫球场的生态环境健康状况做出了综合评价。结果表明该高尔夫球场生态环境存在的主要问题有水体富营养化、土壤肥力不合理、少数重金属含量偏高、存在个别农药低浓度残留的现象, 植被多样性和层次结构有待进一步丰富。目前, 高尔夫球场生态环境的相关研究多是从土壤环境^[27-29], 地表水环境^[29-31]及植物配置^[32]等方面做出的单一评价, 与之相比, 本研究的评价方法能够更加客观、全面、准确的反映高尔夫球场的生态环境的现状, 但是, 由于在评价等级标准的制定过程中借鉴了农业等其他方面的评价标准, 并且目前对高尔夫球场相关研究较少, 评价指标的选择可能存在一定的局限性, 这些都可能会影响评价结果的准确性, 今后有待于通过相关研究进一步完善。

总体上看, 地表水环境是影响该高尔夫球场健康的主要问题, 而水体的富营养化也是我国高尔夫球场普遍存在的问题^[30,31]。一方面, 这是由于球场管理的不合理性所造成的, 例如, 漫无目的的大量施肥, 施肥后过量灌溉或是遭遇大雨天气, 均会导致 N、P 元素的流失。另一方面, 我国高尔夫球场的水体多是死水, 这又会进一步加速富营养化。因而, 在合理施肥的基础上, 在球场的设计和改造过程中应该让整个球场的水体循环起来, 同时栽植吸附能力较强的水生植物, 以达到净化水体的目的。对于研究中发现的少数农药存在低浓度残留以及土壤铬含量偏高的现象, 可能与喷药施肥的不合理性有关, 也可能与周边环境有关。由于周边存在生活区和企业工厂, 球场灌溉使用的地表水来自于周边水网, 存在交叉污染的潜在可能。因此, 需要进一步规范球场农药和化肥的施用, 加强对球场及周边农药残留和重金属含量的监测, 以期尽快摸清污染来源, 提出预防治理措施。为了提高球场群落的生物多样性和生态效益, 增加片林景观的层次、厚度, 正确的途径是在现有单层乔木层结构中适当加入中、下层植物, 组成相对稳定的乔灌草多种复层混交种植结构的植物栽培群落, 丰富片林群落层次结构^[21]。

依据我国高尔夫球场管理的整体现状, 为了进一步完善球场的生态环境, 首先, 相关部门和科研机构应当联合制定相关的标准, 规范高尔夫球场的发展; 其次, 球场的管理人员必须经过专业培训机构的培训, 考核合格后方可持证上岗。再者, 球场应该建立灌溉用水自净措施, 杜绝污水使用和排放, 加强对灌溉用水水质的监测。最后, 环保部门要严格监督球场化肥与农药的使用情况, 严禁使用重金属等有毒、有害物质含量超标的劣质化肥和高毒农药, 提倡使用有机化肥和农药。同时, 球场还应实行使用化肥农药登记备案制度, 对化肥、农药的种类、购买量、使用量及施用方法建立完整的档案记录, 定期向环保部门备案。

参考文献:

- [1] 曹雅琴. 论高尔夫球的起源与发展[J]. 体育文化导刊, 2006, (6): 80-82.
- [2] 韩烈保. 高尔夫概论[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [3] 阳承胜, 马宗仁. 高尔夫球场树木设计及选择[J]. 北方园艺, 2002, (3): 32-33.
- [4] 贾良清, 欧阳志云, 蒋宗豪, 等. 高尔夫球场建设对生态系统影响分析及环境管理对策[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(4): 43-45.
- [5] 朱文转, 李传红, 黄细花. 高尔夫球场的生态环境影响及防治对策[J]. 广州环境科学, 2004, 19(1): 45-48.
- [6] Wheeler K, Nauright J. A global perspective on the environmental impact of golf[J]. Sport in Society, 2006, 9(3): 427-443.
- [7] 赖苏玉. 高尔夫球场建设对生态环境的影响及对策[J]. 福建农业科技, 2007, 3: 73-74.
- [8] Saaty T L, Bennett J P. A theory of analytical hierarchies applied to political candidacy[J]. Behavioral Science, 1997, 22(4):

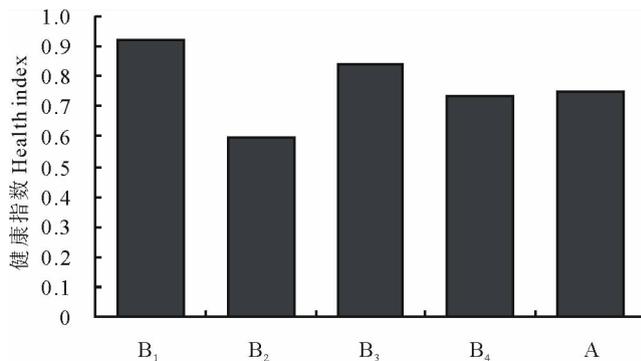


图 1 高尔夫球场生态环境健康评价

Fig. 1 The health evaluation of eco-environment in golf course

B₁: 大气环境 Atmospheric environment; B₂: 地表水环境 Surface water environment; B₃: 土壤环境 Soil environment; B₄: 植被概况 Vegetation situation; A: 高尔夫球场生态环境 Golf course eco-environment.

237-245.

- [9] 韩立岩, 汪培庄. 应用模糊数学[M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 1998.
- [10] 万里强, 侯向阳, 李向林. 层次分析法在西部草业发展中的应用[J]. 草业学报, 2003, 12(5): 1-7.
- [11] 庞振凌, 常红军, 李玉英, 等. 层次分析法对南水北调中线水源区的水质评价[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1810-1818.
- [12] 李艳利, 李东艳, 李艳粉. 层次分析法与模糊综合评价法在城市生态系统健康评价中的应用[J]. 广东环境科学, 2009, 24(3): 39-44.
- [13] 石强, 舒惠芳, 钟林生, 等. 森林游憩区空气负离子评价研究[J]. 林业科学, 2004, 40(1): 36-40.
- [14] 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [16] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [17] 孙儒泳. 动物生态学原理(第3版)[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001.
- [18] 张峰, 张金屯, 上官铁梁. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(S1): 46-51.
- [19] 万年峰, 蒋杰贤, 徐建祥, 等. 层次分析法在上海市农田有害生物治理中的应用[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2998-3002.
- [20] 张丽, 林联盛, 刘木生, 等. AHP法在江西脆弱生态环境评价指标体系中的应用[J]. 江西科学, 2009, 27(2): 240-246.
- [21] 王亚静. 北京叠泉乡村高尔夫俱乐部环境质量评价研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [22] Robert D, Emmons. Turfgrass Science and Management[M]. New York: Tim O'Leary, 1995: 86-98.
- [23] Dal Maso M, Kulmala M, Riipinen I, *et al.* Formation and growth of fresh atmospheric aerosols: eight years of aerosol size distribution data from SMEAR II, Hyyti, Finland[J]. Boreal Environment Research, 2005, 10: 323-336.
- [24] 李庆逵. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [25] 翁凌飞, 韩烈保, 常智慧, 等. 重庆庆隆高尔夫球场果岭土壤理化性状测试与分析[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 108-114.
- [26] Haith D A, Lee P C, Clark J M, *et al.* Modeling pesticide volatilization from turf[J]. Journal of Environmental Quality, 2002, 31: 724-729.
- [27] 姜军平, 李敏, 张福锁, 等. 高尔夫球场土壤养分测试与诊断[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 497-500.
- [28] 萧洪东, 王惠珍, 苏易藩, 等. 高尔夫球场土壤理化性状分析与施肥建议[J]. 土壤肥料, 2005, (3): 20-22.
- [29] 金克林, 马宗仁, 连家伟, 等. 高尔夫球场土壤和水中有机磷农药残留的测定[J]. 草业科学, 2008, 25(11): 111-116.
- [30] 常智慧. 北京七家高尔夫球场地表水水环境状况调查[J]. 草地学报, 2007, 15(5): 473-478.
- [31] 张敏, 常智慧, 周云龙, 等. 北京鸿华高尔夫球场人工湖富营养化及其成因[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(1): 124-129.
- [32] 程思楠, 韩烈保. 高尔夫球场植物配置群落综合评价[J]. 草业科学, 2010, 27(9): 31-37.

A study on the eco-environment health assessment in golf course

PUYANG Xue-hua¹, DAI Zi-yun¹, GAO Chen-hao¹, SONG Zheng², HAN Lie-bao¹, MENG Jian-zhong³

(1. Golf Education and Research Center of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Orient Landscape CO., LTD, Beijing 100012, China; 3. Shanghai Sheshan

International Golf Club, Shanghai 201602, China)

Abstract: Based on the characteristics of ecological environment in golf course, the index system of eco-environment health assessment was established and the weighted value of every index was confirmed by using analytical hierarchy process, then the health of eco-environment was evaluated by using fuzzy comprehensive evaluation method. The health index of eco-environment in Shanghai one golf course was 0.751, it was at a healthy level. The health index of atmospheric environment, water environment, soil environment and vegetation conditions was 0.920, 0.597, 0.843, 0.733, respectively. They were extraordinary health, sub-health, extraordinary health and health, respectively. Problems of eco-environment in this golf course were analyzed further according the evaluation results and measured number. Finally, some recommendations about how to improve the eco-environment of golf course were presented.

Key words: golf course; ecological environment; analytical hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation; health assessment