

# 大学生体质健康的灰色关联度综合评价与回归分析

毛 巍<sup>1a</sup>, 杜 晶<sup>1b</sup>, 兰桓友<sup>1a,2</sup>, 张 红<sup>1b</sup>

(1. 四川理工学院 a. 非线性科学与工程计算研究所; b. 建筑工程学院, 四川 自贡 643000;

2. 企业信息化与物联网测控技术四川省高校重点实验室, 四川 自贡 643000)

**摘 要:**针对大学生体质健康时效性问题,选取身高/标准体重、肺活量体重指数、台阶实验、立定跳远、握力体重系数五项指标作为评价指标,利用层次分析法合理地确定各指标权重,建立灰色关联度综合评价模型,比较了 10 名大学男生的体质健康水平,并就此五项评价指标做了多元回归和响应曲面分析。结果表明:灰色关联层次综合评价和回归分析客观地反映了个体之间的差异,并能准确地分出大学生体质健康水平。

**关键词:**大学生体质健康;层次分析法;灰色关联度综合评价模型;多元回归分析;响应曲面

**中图分类号:**TU8

**文献标志码:**A

## 引 言

近年来,大学生的体质健康水平呈下降趋势。中国大学生体质调查显示,2010 年国民体质监测结果与 1985 年相比,肺活量下降了近 10%;大学女生 800 米跑、男生 1000 米跑的成绩分别下降了 10.3% 和 10.9%,立定跳远成绩分别下降了 2.72 厘米和 1.29 厘米;学生体重过重或者过瘦<sup>[1-2]</sup>。影响大学生的体质健康水平的因素很多,对大学生体质健康的评价问题将为如何提高体质健康水平有现实指导意义。

学生体质健康状况已经纳入对学校整体工作的评价体系中,大学生的体质健康测试成为高等院校必须完成的任务。各高校每年都会对在校大学生做体质健康测试,将测试的结果反馈教育部,并及时公布。体质测试主要包括身体形态、身体机能、运动能力等方面。具体测试项目有:身高、体重、肺活量、立定跳远、握力、坐位体前屈、台阶试验。大学生体质健康问题越来越受到各界的关注,研究者已分析了影响大学生体质健康的影响因素,如杨静<sup>[3]</sup>研究了武汉音乐学院大学生

体质健康评价模型与干预对策,对影响因素进行了阐述和聚类分析,并采用主观赋权的直线式加权平均法对体质健康进行了分析。尹迈曼<sup>[4]</sup>对大学生体质健康测试的项目进行了研究和完善;石娟娟<sup>[5]</sup>通过对多种测试项目作为模型构建的指标体系,运用判别分析及数理统计的方法,对样本进行了多元判别,构建了分级模型。

目前,大多数的研究都针对大学生体质健康评价给予人为的赋权评价,再综合评价出各项目得分。对于体质健康的评价还仅局限于分数对体质健康的评价,而对于一套完善、科学的体质评价、评分体系的建立鲜有研究。本文从分析体质测试项目上入手,研究文献[6]和实际体育测试项目,寻找影响体质健康的 5 种测试指标,并通过层次分析法确定各测试项目的权重。然后计算学生各项测试成绩与标准模式的关联系数和关联度<sup>[7-10]</sup>,客观反映学生个体间的差异。最后,拟合五项评价指标对大学生体质健康结果的多元回归方程,并作响应曲面分析,实现对大学生体质健康水平的综合评价和科学分析。

收稿日期:2014-05-09

基金项目:企业信息化与物联网测控技术四川省高校重点实验室开放基金项目(2013WZJ01)

作者简介:毛 巍(1991-),女,四川眉山人,硕士生,主要从事最优化方法方面的研究,(E-mail)mwsuse@126.com

### 1 层次分析法

目前,各大院校对于体育测试项目的评分权重大部分都是人为确定的,这就使得对学生的体质健康情况的把握度不够。本文要确定各项指标对学生体质评分的权重,但是在不同评价指标下对大学生体质健康的评分影响的重要性不同,这就要求对各项指标下的得分进行线性加权。现行的《大学生体质健康标准》对测试项目的分类为:(1)身体形态(身高/标准体重);(2)身体机能(肺活量体重指数、台阶实验);(3)运动能力(立定跳远、握力体重系数)。本体质健康模型的指标因素共五个,分别为:身高/标准体重、肺活量体重指数、台阶实验、立定跳远、握力体重系数。

对于层次分析法,Saaty 等人用实验的方法比较了在不同的标度下人们判断结果的准确性,实验结果也表明采用 1~9 标度最为合适<sup>[11]</sup>。为求出五项指标的权重分配,本文根据 Saaty 提出的属性间相对重要性等级(表 1)构造比较判断矩阵,由经验确定同层各指标相对于上层总目标两两重要性的关系。

表 1 属性间相对重要性等级表

尺度 $a_{ij}$	含义
1	$c_i$ 与 $c_j$ 的影响相同
3	$c_i$ 比 $c_j$ 的影响稍强
5	$c_i$ 比 $c_j$ 的影响强
7	$c_i$ 比 $c_j$ 的影响明显的强
9	$c_i$ 比 $c_j$ 的影响绝对强
2,4,6,8	$c_i$ 比 $c_j$ 的影响之比在上述两个相邻等级之间
1,1/2, ..., 1/9	$c_i$ 与 $c_j$ 的影响之比为上面 $a_{ij}$ 的相反数

从心理学观点分析,分级太多会超越人们的判断能力,既增加了判断的难度,又容易因此而提供不准确数据,Saaty 等人建议采取对因子进行两两比较建立成比较矩阵的方法。设有  $m$  个目标方案或元素,根据重要性准则,将这  $m$  个目标两两进行比较,把第  $i$  个目标对第  $j$  个目标的相对重要性记为  $a_{ij}(i, j = 1, 2, 3 \dots, m)$ , 这样构造的  $m$  阶矩阵用于求解各个目标关于某准则的优先权重,成为权重解析判断矩阵,简称判断矩阵,记作  $A = (a_{ij})_{m \times m}$ 。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} \\ 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} \\ 2 & 2 & 1 & \frac{1}{3} & 1 \\ 4 & 4 & 3 & 1 & 3 \\ 2 & 2 & 1 & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

(1)首先,为了确定判断矩阵的合理性,需要对所构造矩阵进行一致性检验。通过 Matlab 求解<sup>[12]</sup>所建立的判断矩阵  $A$  的最大特征值  $\lambda_{\max} = 5.0264$ 。一致性指标和一致性比率分别为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

其中,  $RI$  为平均随机一致性指标, Saaty 给出了相应的  $RI$  值,相应的平均随机一致性指标  $RI$  见表 2。

表 2 平均随机一致性指标  $RI$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

经过计算发现所得矩阵的一致性指标  $CI = 0.0066$ , 一致性比率  $q_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^5 a_{kj}$ , 即认为所建立的判断矩阵可以接受。

(2)将判断矩阵  $A$  的元素按列作归一化处理,得矩阵  $q_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^5 a_{kj}$ , 则  $q_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^5 a_{kj}$  中各元素为:

$$q_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^5 a_{kj}$$

(3)将  $Q$  的元素按行相加,记  $a_1 = \sum_{j=1}^5 q_{ij}$ , 得向量  $a = (a_1, a_2, \dots, a_5)^T$ 。

(4)对向量  $a$  作归一化处理,得出权重向量  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_5)^T$ , 其中

$$\mu_i = a_i \div \sum_{k=1}^5 a_k = [0.1, 0.1, 0.175, 0.45, 0.175]^T$$

此权重的求解过程可以通过 Matlab 编程求解得出,归一化后可得身高/标准体重、肺活量体重指数、台阶实验、立定跳远、握力体重系数五项指标的权重分别为:0.1、0.1、0.175、0.45、0.175,其中立定跳远的权重最大,表明立定跳远在体质健康评价中对评价结果的影响最重,学校及其有关部门若想量化提高学生体质健康水平,可加强在此方面的训练,其体质健康水平综合评价层次结构及层次权重如图 1 所示。

### 2 灰色关联度综合评价模型

#### 2.1 确定标准模式的指标集

实际中,经常需要对系统相关的因素进行分析研究,即分析各相关因素哪些对系统是主要的,哪些是次要;哪些是直接的,哪些是间接的等。统计分析中的相关分析是分析研究各因素之间关联程度的一种有效方法,但它往往是需要有大量的统计数据,计算量大,而且

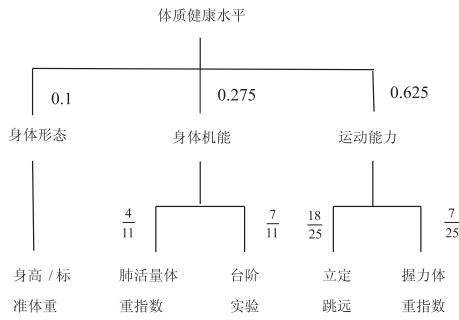


图1 体质健康水平综合评价层次结构及各层次权重

可能会出现反常情况,为此,针对灰色系统采用关联度分析的方法研究相应的问题。

针对于本文大学生体质健康的评价问题,首先寻找到一个各测试项目标准模式值,将各个学生的测试项目成绩与标准模式值进行灰色关联度分析,再通过加权得到综合关联度,通过比较关联度的大小,达到对大学生体质健康的科学评价。

根据现行《大学生体质健康标准》,用身体形态,身

表3 10名大学男生的各指标测试原始成绩

学号	身高(cm)	体重(kg)	身高/标准体重	肺活量	肺活量体重指数	台阶测试	立定跳远	握力体重指数
$x_1$	183.50	65.20	1.0240	3670.00	56.29	74.00	2.30	49.00
$x_2$	167.50	56.10	0.9652	2704.00	48.20	47.00	2.00	38.40
$x_3$	169.30	61.40	1.0452	4602.00	74.95	52.00	2.11	46.60
$x_4$	173.50	58.50	0.9717	4685.00	80.09	32.00	2.21	38.40
$x_5$	169.60	63.00	1.0705	2950.00	46.83	48.00	2.34	58.30
$x_6$	167.50	57.00	0.9807	4037.00	70.82	56.00	1.92	36.80
$x_7$	168.10	58.90	1.0098	4176.00	70.90	55.00	2.16	59.50
$x_8$	172.70	85.80	1.4317	4058.00	47.30	99.00	2.61	39.10
$x_9$	179.20	56.80	0.9134	5411.00	95.26	50.00	2.18	38.30
$x_{10}$	175.00	72.20	1.1890	4107.00	56.88	51.00	2.42	44.50
标准模式 $w_0$			1		105	100	2.9	100

### 2.2 评价模型的建立与求解

(1) 对表3的数据进行规范化处理

为保证建立模型的质量和系统分析的正确性,对采集来的原始数据一般需进行预处理,使其消除量纲和具有可比性,即在关联度计算之前,对各要素的原始数据作初值变换或均值变换等,然后利用变换后所得数据作关联度计算。本文采用原始数据与标准数据之比消除量纲。其标准模式为:

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), x_0(3), x_0(4), x_0(5)) = (1, 105, 100, 2.9, 100)$$

对数据进行无量纲化处理

$$x_i(k) = \frac{\min\{x_i(k), x_0(k)\}}{\max\{x_i(k), x_0(k)\}}$$

其中,  $i = 0, 1, 2, \dots, 10$ ,  $k = 1, 2, \dots, 5$ 。

(2) 计算各指标与标准模式指标的关联系数

体机能,运动能力三个方面对大学生的体质健康进行评价,身体形态用克托莱指数<sup>[13]</sup>(体重  $W$ /身高  $H \times 1000$ ),克托莱指数是反映人身体形态发育水平和匀称程度的有效指标,为了建立一个简便、直观又能客观反应学生形态匀称度的指数标准,本文采用个体克托莱指数与同龄同性别的平均指数的比值作为新的指数,用这个新的指数评价大学生的身体形态,所以标准模式指标数设为1,即个体  $W/H$  与平均  $W/H$  (19岁以上克托莱指数趋于稳定,其值为347)的比值越趋近于1表示此个体身体形态越匀称。身体机能用肺活量体重指数和台阶指数表示,这两个指标越趋近于极值表示身体机能越好,所以采用同龄同性别的测试极值作为其标准模式值。本文选择立定跳远和握力体重指数两个指标表示运动能力,这两个指标都是越趋近于极值就越能体现其运动能力越强,他们的标准模式值也采用同龄同性别的测试极值表示。本文随机抽取了2013年大学生数学建模竞赛试题中10名大学男生体质健康测试数据为例(表3)。

本系统只有一个因子  $x_0$ , 属于单因子情况,  $x_0$  受到多种因素  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$  的影响,一种利用因素  $x_i$  对因子  $x_0$  的灰关联度来表示  $x_i$  对  $x_0$  影响大小的方法即称为灰关联分析。系统行为因子  $x_0$  的参考数列为:

$$x_0 = \{x_0(k) \mid k = 1, 2, \dots, 5\} = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(5))$$

相关因素为  $x_i (i = 1, 2, \dots, 10)$ , 即比较数列为:

$$x_i = \{x_i(k) \mid k = 1, 2, \dots, 5\} = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(5))$$

则参考数列对于各比较数列间的绝对差为:

$$\Delta_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)| (k = 1, 2, \dots, 5; 1 \leq i \leq 10)$$

记  $\Delta_i = (\Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(5))$ , 称之为差数列。于是定义比较数列  $x_i$  对参考数列  $x_0$  在第  $k$  点的灰关联系数为:

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_k \Delta_i(k) + \alpha \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \alpha \max_k \Delta_i(k)}$$

其中,常数  $\alpha \in [0,1]$ ,称为分辨率系数。显然,当  $\alpha$  越大时,分辨率越大;当  $\alpha$  越小时,分辨率越小,一般情况取  $\alpha = 0.5$ 。对已规范化、量纲化后的体质项目测试数据与标准模式进行灰色关联计算,结果见表 4。

表 4 各项目的关联系数

学号 $x_i$	身高/标准体重 $R_{11}$	肺活量体重指数 $R_{21}$	台阶测试 $R_{22}$	立定跳远 $R_{31}$	握力体重指数 $R_{32}$
$x_1$	0.8617	0.4279	0.5844	0.6460	0.4035
$x_2$	0.9804	0.3886	0.3938	0.5361	0.3567
$x_3$	0.8160	0.5582	0.4191	0.5717	0.3919
$x_4$	1.0000	0.6094	0.3333	0.6086	0.3567
$x_5$	0.7673	0.3827	0.3986	0.6641	0.4560
$x_6$	0.9731	0.5230	0.4418	0.5128	0.3505
$x_7$	0.8953	0.5236	0.4359	0.5895	0.4638
$x_8$	0.4146	0.3847	0.9468	0.8196	0.3594
$x_9$	0.8482	0.8348	0.4086	0.5970	0.3563
$x_{10}$	0.5999	0.4311	0.4138	0.7037	0.3822

(3) 计算综合关联系数  $R$

计算“身体形态/身体机能/运动能力”各指标的关联系数  $R_i(l = 1,2,3)$  及综合关联度  $R$ (表 5)。

$$R_i = (R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im})(\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{im})^T$$

其中,  $m$  为“身体形态/身体机能/运动能力”各指标下层指标的个数,  $(\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{im})^T$  为  $m$  个指标的权重。

“身体形态”指标的关联系数  $R_1 = R_{11}$ 。

“身体机能”指标的加权关联系数为:

$$R_2 = (R_{21} \ R_{22}) \left( \frac{4}{11} \ \frac{7}{11} \right)^T$$

“运动能力”指标的加权关联系数为:

$$R_3 = (R_{31} \ R_{32}) \left( \frac{18}{25} \ \frac{7}{25} \right)^T$$

“身体形态、身体机能、运动能力”综合关联系数为:

$$R = (R_1 \ R_2 \ R_3) (0.1 \ 0.275 \ 0.625)^T$$

表 5 各指标关联系数及综合关联度

学号 $x_i$	身体形态 $R_1$	身体机能 $R_2$	运动能力 $R_3$	综合关联度 $R$
$x_1$	0.8617	0.5275	0.5781	0.5925
$x_2$	0.9804	0.3919	0.4859	0.5095
$x_3$	0.8160	0.4697	0.5214	0.5366
$x_4$	1.0000	0.4337	0.5381	0.5556
$x_5$	0.7673	0.3928	0.6058	0.5634
$x_6$	0.9731	0.4713	0.4674	0.519
$x_7$	0.8953	0.4678	0.5543	0.5646
$x_8$	0.4146	0.7424	0.6907	0.6773
$x_9$	0.8482	0.5636	0.5296	0.5708
$x_{10}$	0.5999	0.4201	0.6137	0.5591

按照综合关联度的大小得到 10 名学生的体质健康水平由优到劣的排名:  $x_8, x_1, x_9, x_7, x_5, x_{10}, x_4, x_3, x_6, x_2$ 。该方法还可以将划分优、良、中、及格各评价等级的原始分

数加入到学生成绩中,一起进行综合关联系数的计算,最后可以利用其关联系数作为各评价等级划分的标准。

3 回归分析和响应曲面

进一步分析得到,身高/标准体重、肺活量体重指数、台阶实验、立定跳远、握力体重系数五项与综合关联度的关系,由此可以建立多元回归模型作进一步判断。

首先通过 MATLAB 拟合工具箱简单拟合,发现拟合曲线中二次拟合效果较好,基于回归分析,设综合关联度为  $S$ ,身高/标准体重为  $p$ ,肺活量体重指数  $q$ ,台阶实验为  $m$ ,立定跳远为  $n$ ,握力体重系数为  $a$ ,则回归模型为:

$$S = c_1 + c_2 n + c_3 a + c_4 p^2 + c_5 q^2 + c_6 m^2 + c_7 n^2 + c_8 a^2 + \varepsilon$$

其中,  $c_1, c_2, \dots, c_8$  为未知参数,  $\varepsilon$  服从正态分  $(0, \mu^2)$ 。

根据  $p, q, m, n, a, s$  的数据,利用 MATLAB 编程得到回归模型的各系数,即求得多元回归模型为:

$$S = -0.1884 + 1.2887n + 0.5727a + 0.468p^2 + 0.0743q^2 + 0.1648m^2 - 0.7447n^2 - 0.034814a^2$$

观察 MATLAB 中的检验统计量为:0.9977, 124.2540, 0.0080, 0.0000,分析可知,  $R^2 = 0.9977$ ,说明因变量  $S$  的 99.77% 可以用模型确定,  $F = 124.2540$  远超过它的临界值,  $P = 0.0080$  数值较小,说明该回归模型是合理的。

就 2 个特别重要的因素对得分  $S$  作响应曲面,取  $p = 0.8156, q = 0.5064, m = 0.4776$ ,则对  $n, a$  作对  $S$  的响应曲面(图 2)。

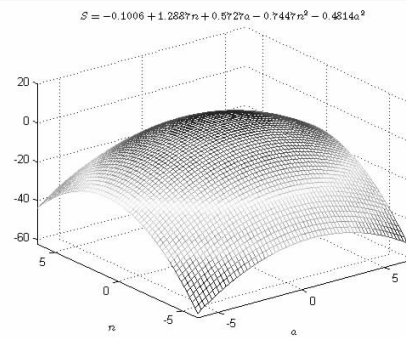


图 2 立定跳远和握力体重指数对综合关联度的响应曲面

由图 2 可知,综合关联度和立定跳远以及握力体重指数都有密切的联系,就立定跳远和握力体重指数都大于零分析,在立定跳远指标不变的情况下,增加握力体重指数会使综合关联度增加;同理,在握力体重指数指标不变的情况下,增加立定跳远的指数<sup>[14-15]</sup>,也会使综合关联度增加,且由计算可得,该问题的最优点为  $(n, a) = (0.8652, 0.5948)$ ,最优解为  $S = 0.6273$ 。

#### 4 结束语

在大学生体质健康水平评价过程中存在着标准区分度不够,综合评价中原始测试数据信息丢失的问题,本文通过确定测试项目权重、建立灰色关联评价模型,计算学生各项目成绩与标准模式的关联系数和关联度,对学生的体质健康水平进行了科学、准确的综合评价,并对此评价指标做了多元回归和响应曲面分析,客观的反映了个体学生的差异。亦可以通过模糊综合评判法确定学生各测试项目的动态加权函数,再通过综合指标函数对学生的体质健康进行评价。灰色关联层次分析法和响应曲面的分析也可以用于对水质、风险评估等评价类问题中。

该问题的解决有利于广大大学生以及家长客观、准确的了解学生的健康水平,督促学生积极参加体育锻炼,并为决策者提供更准确的学生的体质健康信息,具有重要的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 李静芳.2008-2011年大学生体质健康状况的动态分析[D].山西:山西师范大学,2012.
- [2] 秦中梅.大学生体质健康与对策[J].西南师范大学学报:自然科学版,2009,34(2):177-180.
- [3] 杨进.武汉音乐学院大学生体质健康评价模型与干预对策研究[D].武汉:武汉体育学院,2009.
- [4] 尹迈曼,张繁荣,喻祝仙.大学生体质健康测试项目的完善与研究[J].沈阳体育学院学报,2006,25(3):76-77.
- [5] 石娟娟.大学生体质健康综合评价分级模型构建的研究[D].湖北:华中科技大学,2009.
- [6] 王林,彭军武,陶武建.《学生体质健康标准(试行标准)》测试指标的可行性分析[J].北京体育大学学报,2006,29(2):256-258.
- [7] 武娇,顾兴全.灰关联模式评估模型在大学生体质健康水平综合评价中的应用[J].数学的实践与认识,2006,36(3):63-69.
- [8] 陈国华,韦程东,蒋建初,等.数学模型与数学建模方法[M].天津:南开大学出版社,2012.
- [9] 严于鲜.层次分析法在线性回归方程中的应用[J].四川理工学院学报:自然科学版,2006,19(5):99-101.
- [10] Hsu L, Ken M. The evaluation of the supplier's competencies for product innovation based on grey relational analysis a case for centrifugal pumps [J]. Journal of Grey System, 2008, 11(1):1-11.
- [11] Saaty T L, Ozdemir M. Negative priorities in the analytic hierarchy process [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2003, 37(9):1063-1076.
- [12] 丁毓峰. MATLAB 从入门到精通[M]. 北京:化学工业出版社, 2011.
- [13] 徐玉娥.大学生身高体重测评结果比较研究[J].陕西理工学院学报:自然科学版,2013,29(4):71-74.
- [14] 杨德香,袁龙飞,杨继生,等.响应曲面法优化银阳极泥氯化提金工艺[J].矿冶,2014,23(1):61-63.
- [15] 王火印,杨金富,毕向光.微波干燥 MgO 涂层响应曲面法优化工艺研究[J].涂料工业,2014,44(1):65-69.

## Gray Correlation Degree Comprehensive Evaluation and Regression Analysis for Undergraduates' Physical Health

MAO Wei<sup>1a</sup>, DU Jing<sup>1b</sup>, LAN Hengyou<sup>1a,2</sup>, ZHANG Hong<sup>1b</sup>

(1a. Institute of Nonlinear Science and Engineering Computing; 1b. School of Architecture and Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China; 2. Sichuan Provincial Key Laboratory of University Enterprise Information and Network Measurement and Control Technology, Zigong 643000, China)

**Abstract:** In order to solve the timeliness problem of undergraduates' physical health, five evaluation indexes, that is, height/weight, vital capacity weight index, step test, standing long jump, grip strength and weight coefficient, are chosen. By using analytic hierarchy process, the reasonable weight of all factors are determined. Then the gray correlation degree comprehensive evaluation models is constructed for comparing the physical health of 10 male undergraduates, and five evaluation indexes are made to multiple regression and response surface analysis. The results presented in this paper show that the gray relational comprehensive evaluation and regression analysis can objectively reflect the difference between individuals and can be applied to distinguish the physical health accurately.

**Key words:** physical health of undergraduate; analytic hierarchy process; gray correlation degree comprehensive evaluation model; multiple regression analysis; response surface