

# 利用农田表层 (0 ~ 20 cm) 有机碳估算 1 m 土体有机碳的可靠性\*

马渝欣<sup>1,2</sup> 李德成<sup>2†</sup> 李徐生<sup>1</sup> 张甘霖<sup>2</sup> 韩志勇<sup>1</sup> 李贤胜<sup>3</sup> 杨平<sup>3</sup>  
何小卫<sup>3</sup> 赵燕洲<sup>4</sup> 李若清<sup>4</sup> 奎秀<sup>4</sup>

(1 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093)

(2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(3 宣城市土壤肥料工作站, 安徽宣城 242000)

(4 宣州区土壤肥料工作站, 安徽宣城 242000)

## STUDY ON RELIABILITY OF USING SURFACE SOC (0 ~ 0.2 m) IN ESTIMATING SOC (0 ~ 1 m) OF CULTIVATED SOIL

Ma Yuxin<sup>1,2</sup> Li Decheng<sup>2†</sup> Li Xusheng<sup>1</sup> Zhang Ganlin<sup>2</sup> Han Zhiyong<sup>1</sup> Li Xiansheng<sup>3</sup>  
Yang Ping<sup>3</sup> He Xiaowei<sup>3</sup> Zhao yanzhou<sup>4</sup> Li Ruoqing<sup>4</sup> Kui Xiu<sup>4</sup>

(1 School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

(2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(3 Soil and Fertilizer Station of Xuancheng City, Xuancheng, Anhui 242000, China)

(4 Soil and Fertilizer Station of Xuanzhou District, Xuancheng, Anhui 242000, China)

**关键词** 农田土壤; 表层(0 ~ 20 cm)有机碳密度( $SOCD_{0.2m}$ ); 1m 土体有机碳密度( $SOCD_{1m}$ )

**中图分类号** S153.6 **文献标识码** A

土壤有机碳(SOC)是近年来全球变化研究的热点之一,表层(0 ~ 20cm)和 1m 土体的 SOC 是评估农田 SOC 的两个重要指标<sup>[1]</sup>。很多研究利用第二次土壤普查资料来估算农田 SOC<sup>[2-6]</sup>,一些研究已表明近 20 年来我国耕作土壤,尤其是表层(一般为 0 ~ 20cm)的 SOC 基本呈增加的趋势<sup>[5-8]</sup>,这与秸秆还田、有机肥与化肥合理施用以及少(免)耕技术推广有关<sup>[9-10]</sup>。但由于农田 SOC,至少是表层 SOC,是处于变化状态,因此农田 1m 土体的 SOC 现状估算应采用最新获取的信息。设想如果能够利用农田表层 SOC 来估算对应的 1m 土体 SOC,无疑将大大降低研究成本和提高研究效率。这一设想成立的前提应主要包括以下三点:(1)表层 SOC 与 1m 土体 SOC 之间的关系或 SOC 与深度之间的关系可用

数学模型表达,这一点已得到很多研究结果的支持,如迟传德等<sup>[11]</sup>建立的安徽省升金湖湿地 SOC 含量与剖面深度( $H$ )之间的模型( $SOC = 33.853H^{-0.4002}$ ,  $R^2 = 0.91^{**}$ )以及孙维侠等<sup>[12]</sup>建立的东北地区暗棕壤、白浆土、风砂土、褐土、红黏土、火山灰土、栗钙土和棕壤等 8 种土类 SOC 含量( $y$ )与剖面深度( $t$ )之间的模型( $y = a \times t^b$ ,  $R^2 = 0.359 - 0.790^{**}$ )。(2) SOC 含量的垂直分布模式应具有时间上的稳定性,或(3)虽然表层 SOC 是变化的,但其下部土体的 SOC 是稳定的。(2)和(3)两点很难说是可靠的,因为农田土壤受人为因素的影响很大,而这一影响可能并不局限在表层。

但迄今一直缺乏具体的案例来验证这一设想。为此,本文以皖南低山丘陵区宣城市宣州区农田土

\* 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050503)和国家科技基础性工作专项(2008FY110600)资助

† 通讯作者, E-mail: dcli@issas.ac.cn

作者简介: 马渝欣(1989—),山西长治人,硕士研究生,第四纪地质学专业。E-mail: myx2007an@126.com

收稿日期: 2012-11-01; 收到修改稿日期: 2013-04-27

壤为研究对象,利用第二次土壤普查土壤剖面有机质含量,换算出表层(0~20cm)和1m土体的有机碳密度(分别用 $SOCD_{0.2m}$ 和 $SOCD_{1m}$ 表示),并结合2011年采样获取相应的典型土壤剖面的信息,来验证上述设想的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

宣城市宣州区位于安徽省东南部,地处皖南山区余脉与长江中下游冲积平原结合部,南部低山广布,中部丘陵起伏,北部以圩区为主。属亚热带季风气候,年降水量1294mm,年均气温15.9℃,土地总面积为2533km<sup>2</sup>,其中耕地面积9.9万hm<sup>2</sup>,水田8.0万hm<sup>2</sup>,其地形地貌及种植业特点决定了宣州区一直是皖南地区水稻产区的代表,种植制度主要为双季稻、油菜-晚稻、单季中稻,其水耕人为土土类型较多,根据有关资料<sup>1)</sup>全区共有5个土纲,9个土类,16个亚类,40个土属,73个土种,其中40个土种为农田耕作土壤。主要土壤类型为水稻土(水耕人为土)、潮土(潮湿锥形土)以及少量紫色土(紫色湿润锥形土或紫色正常新成土)和红壤(湿润淋溶土、湿润富铁土、湿润锥形土),其40个农田耕作土种共计146个土层包含了有机质测定结果,其中有19个土种共计69个土层(其中有19个为表层)具有容重的测定结果。

### 1.2 研究思路

研究思路大致为:(1)宣州区农田土壤剖面厚度大部分超过1m,对个别受成土母岩限制实际深度不到1m的剖面,将母岩(准石质接触面)以下至1m的 $SOCD$ 归零处理。(2)按文献[9,11-16]中的方法,将不是0~20cm的表层归一化为0~20cm从而获取 $SOCD_{0.2m}$ 。(3)利用69个具有实测容重的土层,建立容重与SOC之间的关系模型,推算出77个没有容重实测数据的土层容重。(4)计算出每个剖面的各土层土壤有机碳密度( $SOCD_i$ ),加和得到 $SOCD_{1m}$ ,建立 $SOCD_{0.2m}$ 和 $SOCD_{1m}$ 之间的数学模型。(5)根据模型,计算出19个具有实测表层容重的土种的 $SOCD_{1m}$ 模拟值,然后与其对应的实测值进行比较,验证模型的精度。

### 1.3 土壤有机碳密度计算方法

某一土层有机碳密度 $SOCD_i$ (kg m<sup>-2</sup>)和1m土

体有机碳密度 $SOCD_{1m}$ (kg m<sup>-2</sup>)的计算按文献[13-15]中的公式进行,计算公式涉及到的参数包括:每个土壤类型各土层的土壤有机碳含量(g kg<sup>-1</sup>)、土壤容重(g cm<sup>-3</sup>)、土层厚度(cm)、土层中大于2mm的石砾所占的体积百分比(%)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 容重与SOC含量之间的关系

有研究表明耕作土壤容重( $y$ )与SOC含量之间的关系模型为 $y = 1.3565 \times e^{-0.0046 \times SOC}$ [15],但通过比较不同的模型,发现宣州区69个具有实测容重 $y$ 与对应的SOC含量之间最佳关系模型为 $y = -0.023SOC + 1.674$ , $R^2 = 0.501^{**}$ (图1)。

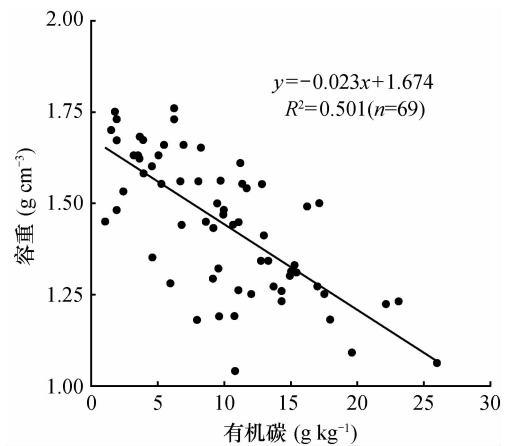


图1 容重与有机碳的关系

### 2.2 $SOCD_{0.2m}$ 与 $SOCD_{1m}$ 之间的关系

首先,应用19个具有实测的表层和其他各层的厚度、土壤容重、有机碳数据,计算出每类土种的 $SOCD_{0.2m}$ 和 $SOCD_{1m}$ (C t hm<sup>-2</sup>),其次建立 $SOCD_{0.2m}$ ( $x$ )和 $SOCD_{1m}$ ( $y$ )之间的数学模型(图2: $y = 0.474x^2 - 12.46x + 125.4$ , $R^2 = 0.462^*$ ),再次根据模型模拟出 $SOCD_{1m}$ (图1),最后比较模拟值与实测值之间的绝对误差。结果表明绝对误差范围为4.3%~252.3%,平均为51.0%(图3),这一精度显然不能接受。

如果再进一步考虑将建立模型的数据分为“建模”和“验证”两个数据集,由于“建模”点的减少得到的模型精度只会更低。当然模型精度会随着剖面点数量的增加而提高,但对县区级行政单位,第二次土壤普查中可用于建模和验证的农田土壤剖面

1)宣州市土壤普查办公室和宣州市土壤肥料工作站. 宣州土壤, 1987

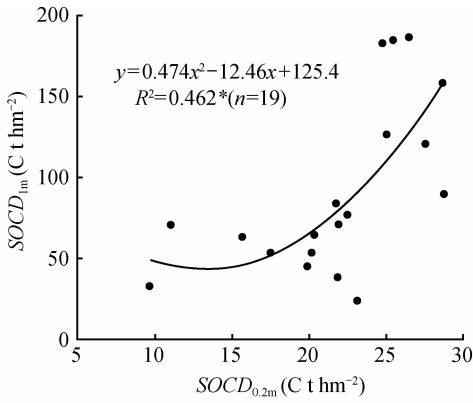


图 2  $SOC D_{0.2m}$  与  $SOC D_{1m}$  之间的关系

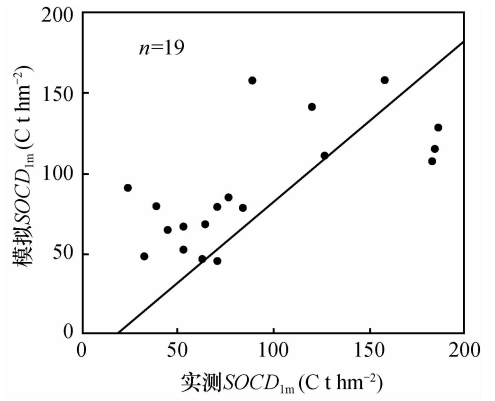


图 3 实测与模拟的  $SOC D_{1m}$  之间的差异

的数量往往不多,因此本文认为至少在地势起伏的低山丘陵地区县区级行政单位,利用  $SOC D_{0.2m}$  推算  $SOC D_{1m}$  应该慎重。

造成这一不理想结果的原因在于,虽然农田 SOC 含量垂直分布规律一般均呈现“两段式”特征,即随深度的增加快速降低,至某个深度后趋于稳定<sup>[18-19]</sup>。但不同的农田土壤类型由于地貌、地形坡度、母质、土地利用方式以及轮作制度等方面存在一定的差异,其 SOC 含量的垂直分布规律是不尽相同的,如图 4 和表 1 给出的案例<sup>1)</sup>。

不同土壤类型的 SOC 含量垂直分布规律通常不同,为提高 SOC 与剖面深度之间数学模型的精度,应尽可能以较低的土壤分类单元来建立模型,如

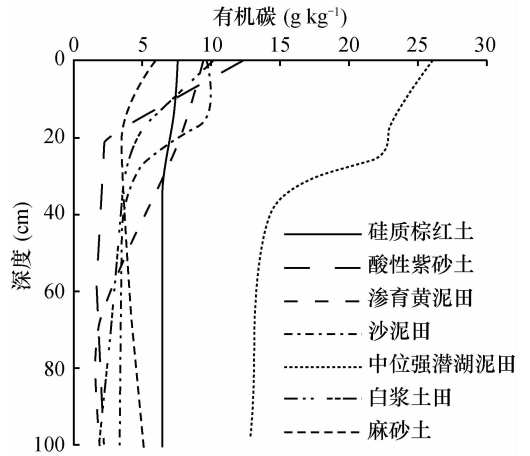


图 4 宣州区典型农田土种类型 SOC 含量垂直分布规律

表 1 宣州区代表性农田土壤类型基本信息

| 土种      | 系统分类(土纲或亚类) | 利用及轮作方式             | 地形       | 母质                |
|---------|-------------|---------------------|----------|-------------------|
| 硅质棕红土   | 湿润淋溶土       | 旱地<br>麦-山芋/花生等      | 低山丘陵坡地   | 石英砂岩<br>风化坡积-残积物  |
| 酸性紫砂土   | 湿润锥形土       | 旱地<br>蔬菜,麦-山芋/花生等   | 丘岗坡地     | 紫色砂页岩<br>风化坡积-残积物 |
| 麻砂土     | 潮湿锥形土       | 旱地<br>麦-油/棉等        | 河漫滩/一级阶地 | 河流冲积物             |
| 渗育黄泥田   | 渗育或筒育水耕人为土  | 水田<br>双季稻,中稻,麦/油-晚稻 | 岗丘缓坡     | 第四纪红土             |
| 沙泥田     | 铁聚水耕人为土     | 水田<br>双季稻,中稻,麦/油-稻  | 沿河冲积平原   | 河流冲积物             |
| 中位强潜湖泥田 | 潜育水耕人为土     | 水田<br>双季稻,中稻,麦/油-稻  | 圩区低洼地    | 湖相沉积物             |
| 白浆土田    | 漂白或渗育水耕人为土  | 水田<br>双季稻,中稻,麦/油-稻  | 丘岗冲谷中下部  | 第四纪红土             |

1)宣州市土壤普查办公室和宣州市土壤肥料工作站. 宣州土壤, 1987

孙维侠等<sup>[12]</sup>对东北地区土壤的研究也表明,草甸土、黑钙土、黑土、滨海盐土、潮土、粗骨土、碱土、水稻土、新积土、盐土、沼泽土、棕色针叶林土等 12 种土类的 SOC 含量在土体中分布比较离散,应采用较土类更低级别的分类单元如亚类或土属来建立模型方能保证模型的精度<sup>[12]</sup>。采用什么级别的分类单元取决于研究的区域尺度,但对县区级别的尺度,由于同一个土种(发生学分类最基层单元)或土系(系统分类最基层单元)的剖面数量非常有限,很难满足这一要求。而如果利用土属或其以上分类单元, SOC 垂直分布规律之间的差异会更大,因此可以认为得到的数学模型精度将会进一步降低。

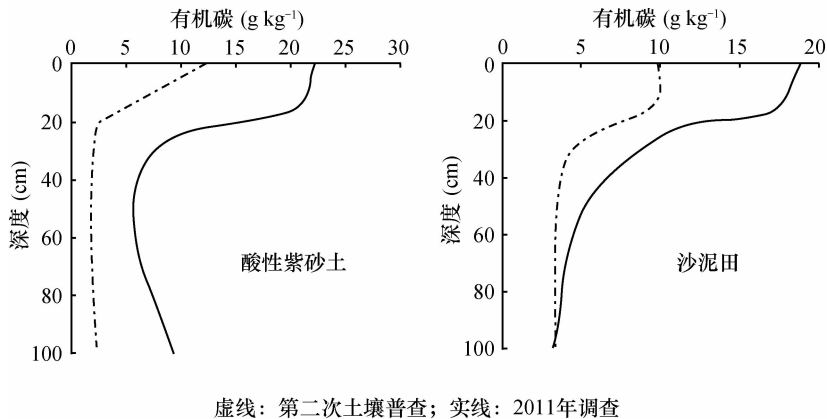


图 5 农田土壤有机碳垂直分布规律随时间的变化

由图 5 可以看出,酸性紫砂土和沙泥田 2011 年的各层次 SOC 含量较二次普查均有了不同程度的增加,只是  $SOC_{0.2m}$  增幅更大,增加原因经咨询农户获知:酸性紫砂土是由于种植蔬菜而大量使用了人畜粪便等有机肥,沙泥田是由于长期秸秆还田、留茬和地下根系积累以及种植冬季绿肥。

很多研究表明了我国农田土壤表层(耕作层) SOC 基本呈增加趋势<sup>[6-8]</sup>,由于施肥、灌溉、秸秆还田、根系下扎与长期积累以及土壤中物质向下迁移,可以推测农田土壤表层之下土体的 SOC 也不是稳定的。据马力等<sup>[20]</sup>基于太湖地区水稻土的持续 26a 的长期施肥定位研究结果,长期施肥不仅使水稻土表层(0~25 cm)有机碳含量显著升高,而且也影响到了 0~50 cm 土层的有机碳,不同的施肥处理 0~25 cm 和 0~50 cm 土层的有机碳密度也是不同的,这也说明人为因素也会影响到表层以下土体的有机碳的变化。

如果采用更深的上部土体  $SOCD$  (如  $SOCD_{0.4m}$ ) 来推算  $SOCD_{1m}$ ,肯定较  $SOCD_{0.2m}$  得到的结果更精确,这一点也可以从图 4 中 6 个典型土种剖面 40cm 以下的有机碳随深度增加其变幅明显降低的趋势可

## 2.3 农田土壤 SOC 含量垂直分布规律随时间的变化

选择宣州区的酸性紫砂土(旱地)和沙泥田(水田)两个土种类型,比较第二次土壤普查和 2011 年实测的典型剖面有机碳含量垂直分布规律。2011 年的剖面位置确定方法为:(1) 根据第二次普查典型剖面的地点信息,在土壤图上大致标记出准备调查采样点的位置;(2) 在野外实地找到属于同一土种同一图斑内的村庄,通过咨询年长的农户尽可能找到第二次普查典型剖面所在的田块,然后挖掘剖面,按第二次土壤普查中的层次进行采样。

以看出。但从图 5 中也可以看出,与第二次土壤普查时相比,2011 年酸性紫砂土和沙泥田两个土种各层次 SOC 含量均增加了,但不同层次 SOC 含量增加的程度是不同的,表层 SOC 含量增加程度最大,这导致同一土种的 SOC 含量垂直分布规律也发生了变化,这可能导致 SOC 与剖面深度之间回归模型的类型或模型的参数也会发生变化,本文就不再验证了。

## 3 结 论

总体上来看,农田表层(0~20 cm)有机碳与 1 m 土体有机碳之间关系较为复杂,其受母质类型、土地利用、施肥等影响较大。因此,利用农田表层(0~20 cm)有机碳来估算 1 m 土体有机碳,需要慎重考虑其尺度上或区域上的可靠性。在多数情形下,为了获取更精确的估算结果,获取不同层次土样可能仍然是必要的。

## 参 考 文 献

[1] 任军,郭金瑞,边秀芝,等. 土壤有机碳研究进展. 中国土

- 壤与肥料, 2009(6):1—8
- [ 2 ] 潘根兴. 中国土壤有机碳和无机碳库量研究. 科技通报, 1999, 15(5):330—332
- [ 3 ] 王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析. 地理学报, 2000, 55(5):533—544
- [ 4 ] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析. 土壤学报, 2004, 41(1): 35—42
- [ 5 ] 田玉强, 欧阳华, 徐兴良, 等. 青藏高原土壤有机碳储量与密度分布. 土壤学报, 2008, 45(5): 933—942
- [ 6 ] 梁二, 蔡典雄, 代快, 等. 中国农田土壤有机碳变化: I 驱动因素分析. 中国土壤与肥料, 2010(6): 80—86
- [ 7 ] 于严严, 郭正堂, 吴海斌. 中国耕作土壤有机碳的动态变化. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(6): 123—130
- [ 8 ] 邵继承, 闫明, 程琨, 等. 中国农田表土有机碳含量变化探讨——基于中文期刊网论文资料的统计分析. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1816—1821
- [ 9 ] Piao S L, Fang J Y, Philippe C, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. Nature, 2009, 458: 1009—1013
- [ 10 ] 金琳, 李玉娥, 高清竹, 等. 中国农田管理土壤碳汇估算. 中国农业科学, 2008, 41(3): 734—743
- [ 11 ] 迟传德, 许信旺, 吴新民, 等. 安徽省升金湖湿地土壤有机碳储存及分布. 地球与环境, 2006, 34(3): 59—64
- [ 12 ] 孙维侠, 史学正, 于东升. 土壤有机碳的剖面分布特征及其密度的估算方法研究——以我国东北地区为例. 土壤, 2003, 35(3): 236—241
- [ 13 ] Post W M, Emanuel W R, Zinke P, et al. Soil carbon pools and world life zones. Nature, 1982, 298: 156—159
- [ 14 ] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European Journal of Soil Science, 1996, 47: 151—163
- [ 15 ] Schwartz D, Namri M. Mapping the total organic carbon in the soils of the Congo. Global and Planetary Change, 2002, 33: 77—93
- [ 16 ] 徐艳, 张凤荣, 段增强, 等. 区域土壤有机碳密度及碳储量计算方法探讨. 土壤通报, 2005, 36(6): 836—839
- [ 17 ] Song G H, Li L Q, Pan G X, et al. Topsoil organic storage of China and its loss by cultivation. Biogeochemistry, 2005, 74: 47—62
- [ 18 ] 李恋卿, 潘根兴, 龚伟, 等. 太湖地区几种水稻土的有机碳储存及其分布特性. 科技通报, 2000, 16(6): 421—426
- [ 19 ] 周萍, 张旭辉, 潘根兴. 长期不同施肥对太湖地区黄泥土总有机碳及颗粒有机碳的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 765—771
- [ 20 ] 马力, 杨林章, 慈恩, 等. 长期不同施肥处理对水稻土有机碳分布变异及其矿化动态的影响. 土壤学报, 2009, 46(6): 1050—1058

(责任编辑:檀满枝)

## 《土壤学报》获 1994 种中国科技核心期刊综合评价第 11 名

根据中国科学技术信息研究所最新发布的《2013 年中国科技期刊引证报告(核心版)》,《土壤学报》2012 年的核心影响因子为 1.211, 核心总被引频次为 3 860。《土壤学报》2012 年的综合评价总分为 93.2, 在全部 1994 种中国科技核心期刊中排名第 11 名。

2012 年中国科技核心期刊综合评价总分前 20 位排名

| 刊名       | 综合评价总分 | 排名 | 刊名        | 综合评价总分 | 排名 |
|----------|--------|----|-----------|--------|----|
| 中国公路学报   | 100.0  | 1  | 土壤学报      | 93.2   | 11 |
| 通信学报     | 99.2   | 2  | 中国科学:地球科学 | 93.2   | 11 |
| 交通运输工程学报 | 98.6   | 3  | 中华妇产科杂志   | 93.2   | 11 |
| 作物学报     | 97.7   | 4  | 中国农业科学    | 92.9   | 14 |
| 地理学报     | 97.4   | 5  | 林业科学      | 92.8   | 15 |
| 中华护理杂志   | 97.3   | 6  | 中华儿科杂志    | 92.8   | 15 |
| 岩土工程学报   | 95.5   | 7  | 中国铁道科学    | 92.7   | 17 |
| 科学通报     | 95.3   | 8  | 中华结核和呼吸杂志 | 92.4   | 18 |
| 煤炭学报     | 93.8   | 9  | 中华检验医学杂志  | 92.1   | 19 |
| 航空学报     | 93.7   | 10 | 中国矿业大学学报  | 91.9   | 20 |

数据来源:中国科学技术信息研究所. 2013 年中国科技期刊引证报告(核心版). 北京: 科学技术文献出版社, 2013

综合评价总分是根据科学计量学原理, 系统性地综合考虑被评价期刊的各影响力指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等)在其所在学科中的相对位置, 并按照一定的权重系数将这些指标进行综合集成。综合评价总分在 0~100 之间, 综合评价总分越高, 说明该期刊的综合学术质量和影响力越高。根据综合评价指标体系的设计原理, 综合评价总分已经屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异, 可以进行跨学科比较。