

# 土壤健康的生物学监测与评价<sup>①</sup>

赵 吉

(内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021)

**摘要:** 土壤是维持陆地生态系统功能和持续性的至关重要的有限资源。土壤质量和土壤健康与农牧业的可持续发展和环境质量的改善息息相关。土壤健康可简单定义为：“土壤作为一个动态生命系统具有的维持其功能的持续能力”。土壤微生物是土壤生物区系的关键性功能要素，一些微生物学参数可以综合判断土壤健康状况。文中提出土壤健康评价的指标体系可区分为土壤中微生物的量、活性、多样性和功能性 4 个方面，其中与微生物生物量水平相关的基本指标和衍生参数可成为土壤健康的敏感性量化指标，并有潜力作为土壤生态系统受污染和胁迫的预警性监测指标。

**关键词:** 土壤健康；土壤生物学质量；生物指标；微生物生物量

**中图分类号:** S154.3

土壤圈是地球生物圈的重要组成部分，它将水圈、大气圈、和岩石圈有机地联系在一起，成为自然环境要素的中心环节。土壤是至关重要的和有限的自然资源，是农业和自然生态系统的基础要素<sup>[1-3]</sup>。就像没有水就没有生命一样，没有土壤也就没有人类的生存基础，因而土壤环境质量的保护与人类的生存及繁衍密不可分。近几十年来，随着人类活动引起的环境污染和生态破坏问题的日益突出，诸如土壤侵蚀、盐碱化、酸化、过度放牧、土地开垦、沙漠化、重金属污染等导致的土壤退化或污染现象严重<sup>[4]</sup>。土壤质量(soil quality)和土壤健康(soil health)与农牧业的可持续发展、水和空气环境质量的改善息息相关，并且深刻地影响植物、动物、和人类的健康<sup>[5]</sup>。因而，土壤质量或土壤健康成为可持续发展的重要内涵。

土壤中生活着丰富的生物类群，是一个重要的地下生物资源库。土壤生物在土壤的形成、发育、结构和肥力以及高等植物生长方面也起着主导的作用<sup>[6]</sup>。土壤质量评价体系中一般都包括土壤的物理、化学和生物学特性。多数研究强调以土壤理化特性作为土壤质量评价指标，而真正起关键作用的生物组分常被忽视。一些土壤生物学参数作为土壤质量评价指标已表现出很大的潜力<sup>[7]</sup>。土壤质量和土壤健康常与环境影响如污染因子、环境胁迫、人为扰

动等短期因素有关<sup>[8]</sup>。土壤生物活性降低、生物多样性下降、生物群落改变等问题逐步得到关注。

我国在土壤微生物及其活性方面的研究已有较好的基础，主要集中于对土壤肥力的评价，在土壤质量和土壤健康的监测和评价方面特别对土壤生物学质量的研究仍然薄弱。本文结合最新研究进展，探讨了土壤健康的内涵，综述了土壤健康的生物学评价体系，提出土壤健康的实用性量化监测指标，探讨了土壤健康的评价方法。为我国农业土壤环境质量的监测和土壤健康标准的制定提供科学参考。

## 1 土壤健康的内涵

土壤质量和土壤健康定义为：“在土壤生态系统内维持生物生产力、改善环境质量以及促进动植物健康的持续运行机能”。同时还认为有生物活力的和具有功能的土壤才可定义为健康的土壤<sup>[9]</sup>。一个具有多样性与活性的生物群落的土壤一定具有较为丰富的土壤养分，但反过来不成立。

土壤质量和土壤健康两者从时间尺度考虑，可以用土壤健康描述土壤短时期内的“潜在的”和“动态的”状况，用土壤质量描述长时间尺度上的“内在的”和“静态的”状况<sup>[10]</sup>。Anderson<sup>[6]</sup>指出，土壤健康应主要集中在土壤的生物成分上。一些低质量的土壤可以认为是健康的，例如：一类是处于演替初期

<sup>①</sup>基金项目：国家自然科学基金重点项目(90102011)、国家重点基础研究发展规划项目(G2000018604)、国家自然科学基金项目(30060004)资助。

作者简介：赵吉（1962—），男，内蒙古呼和浩特人，博士，副教授，主要从事环境微生物学和土壤生态学研究。E-mail: ndzj@imu.edu.cn

的土壤或不利环境下如沙地、荒漠和极地的土壤，它们只有低的生物多样性和生物生产潜力，事实上它们处在自然的发展阶段；另一类是生态系统演替顶极的土壤，如热带雨林的高生物多样性和低肥力情况<sup>[11]</sup>。相反，受到生态破坏或环境污染的土壤如荒漠化土壤或石油烃类污染的土壤就不是处于健康状态的土壤。可见，在自然生态系统中土壤质量和土壤健康不完全等同，在受干扰的生态系统特别是污染环境条件下两者内涵不一致，在此意义上两者在研究中应加以区别。

“健康”一词是指机体或它的部分可正常执行其生命机能的状态。土壤健康应主要考虑土壤的生物学组分以及土壤生态系统功能性，特别是在系统中维持能量流动、物质循环和信息交换的功能。综合以上分析，土壤健康可概括为“土壤作为一个动态生命系统具有的维持其功能的持续能力”，具体可由“土壤的生物学质量”来描述。

## 2 土壤健康评价的指标体系

确定标志土壤健康的关键性指标并进行评价对全球范围的土地管理和农业生产具有重要意义。土壤是生态系统健康评价的重要指标，土壤生物指标能敏感地反映出土壤质量和土壤健康的变化，有可能成为土壤生态系统稳定性的早期预警和敏感指标<sup>[12-13]</sup>。

土壤微生物行使着许多对陆地生命至关重要的功能，其中包括：动植物残体的分解、生物地球化学循环、土壤结构形成、有机物转化、污染物的脱毒等，同时对环境起着天然的“过滤”和“净化”作用。

多数研究者指出，微生物生物量、生物多样性、土壤呼吸及其衍生指数、微生物群落结构及功能、土壤酶、微动物区系和植物生长等均可看作有潜力的生物指标。土壤微生物是土壤生物区系中关键的功能要素，对土壤微生物的评估可以综合反映土壤的生物学质量。Pankhurst 等<sup>[1]</sup>认为土壤生物指标应当满足下列标准：①反映土壤生态过程的结构或功能；②对土壤健康变化做出反应；③有可行的度量测定方法；④能够进行合理的解释。同时，还要注意该指标对人为干预和环境胁迫是否敏感，且存在一定定量关系。

土壤健康评价在生态系统健康评价中的现实性早已受到关注<sup>[14]</sup>。健康的生态系统应具有很强的对胁迫因子的负荷能力和系统的恢复能力，土壤生物指标在这方面有不可替代的作用<sup>[12, 17]</sup>。可见，土壤生物学质量是土壤健康监测和评价的主要内容，是确定和诊断土壤污染和退化程度的重要方面。根据以往研究，作者提出在土壤健康评价体系中包括生物的量、活性、多样性和功能性 4 个方面的土壤生物学质量内容（图 1 和表 1）。

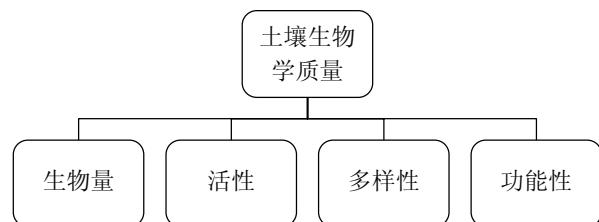


图 1 土壤健康的生物学评价体系

Fig. 1 Soil health biological assessment system

表 1 土壤健康评价的生物学监测一览表

Table 1 Biological monitoring schedule for soil health assessment

指标体系	评价类别	生物学质量 指标或参数	监测内容及说明	方法或意义	评价性
生物量	(库)	总生物量	MB, 土壤微生物/土壤动物/植物	绝对/相对量	中
		生物量 C	C <sub>bio</sub> , 有机组分直接测定(CFEM)	ISO-14240-2	高
		总有机 C	C <sub>org</sub> , 土壤有机物质含量	标准氧化法	高
		可溶性 C	C <sub>ext</sub> , 易被矿化的土壤有效态基质	标准浸提法	高
活性	(流)	原位呼吸量	C <sub>SR</sub> , 原位的群落总代谢活性	C 通量测定	中
		基础呼吸量	C <sub>BR</sub> , 无外源有机底物的呼吸速率	标准条件下	高
		潜在呼吸量	C <sub>PR</sub> , 添加有机底物的诱导呼吸速率	ISO-14240-1	高
		酶的活性	参与物质转化的不同酶类	酶活性指数	中
		基质利用性	生理学方法;潜在矿化 N	BIOLOG	低

续表1

多样性	群落结构	微生物类群 动物类群 系统演化 群落分析	细菌/放线菌/真菌/藻类/菌根菌 原生动物/线虫/节肢动物等 古菌、细菌和真核生物三域 FISH, PLFA, FAME, PCR-DGGE	生物鉴定 类群分离 系统分类 指纹图谱	中 中 低 中
功能性	生态生理或代谢功能	基础呼吸商	$C_{BR}/C_{bio}$ , 即代谢商 $qCO_2$ , 胁迫相关	评价参数	高
		潜在呼吸商	$C_{PR}/C_{bio}$ , 诱导的活性潜势	评价参数	高
		呼吸活化商	$C_{BR}/C_{BR}$ , 与系统恢复有关	评价参数	高
		基质矿化商	$C_{ext}/C_{bio}$ , 与矿化活性有关	评价参数	高
		腐殖化效率	$C_{ext}/C_{BR}$ , 与腐殖化有关	评价参数	高
		微生物商	$C_{bio}/C_{org}$ , 与土壤基质有关	评价参数	中
		生物功能群	硝化/反硝化/分解者/固氮菌	分类鉴定	中
		功能性基因	烃类等降解基因, 基于 PCR 的方法	AFDRA 等	低

### 3 土壤健康的微生物学评价方法

在生物指标的确认方面, 最重要的步骤应当是确认决定土壤健康的主要生物成分、功能和过程, 然后, 从中进一步选择监测指标。与土壤理化指标相比较, 土壤健康评价的生物指标应具有敏感性、综合性、功能性等生物特性。

对土壤中的每一过程均进行监测几乎不可能, 我们只能将精力集中到那些决定大多数土壤功能的主要过程上。专家建议评价土壤质量时采用土壤参数的最小数据集 (minimum data set, MDS) 和土壤质量的生物化学指数 (biochemical index of soil quality, BISQ) [6,19]。单一微生物参数并不能提供完整的和真实的土壤微生物学信息。

Schloter 等[20]分析了评价土壤质量的一些生物学指标, 认为含有丰富微生物种类的土壤具有高的代谢潜势。由于土壤中微生物常常处于限制性生长, 它们的能力并没有发挥。另一方面, 土壤微生物会通过调整它们的活性、生物量和群落结构对环境胁迫做出响应。结合近年相关研究分析, 土壤健康评价可着重土壤生态系统能流和碳流的不同侧面, 从土壤生物的量、活性、多样性和功能性 4 个方面选择评价性较高的监测指标 (图 2 和表 1)。

#### 3.1 微生物学监测指标

##### 3.1.1 微生物生物量

土壤生物量是土壤养分物质的一个重要的源和汇。微生物生物量是指土壤有机质中的有生命成分, 但不包括大型动物及植物根系。微生物生物量能敏感地反映土壤过程的变化, 因为它比土壤有机物质有更快的周转<sup>[21]</sup>。微生物生物量通常被用于估计土壤的生物状态。多数研究指出, 土壤微生物生物量可以作为土壤质量的生物指

标<sup>[9,21]</sup>。微生物生物量-C ( $C_{bio}$ ) 在区别长期与短期土壤处理方面也非常敏感, 其同时还不受无机 N 的直接影响, 这是微生物生物量用作土壤生物指标的一大优势。土壤微生物生物量周转率是反映土壤养分资源的生物有效性的一个重要指标。重要的是, 土壤微生物生物量-C 已有标准的分析方法<sup>[22-24]</sup>。

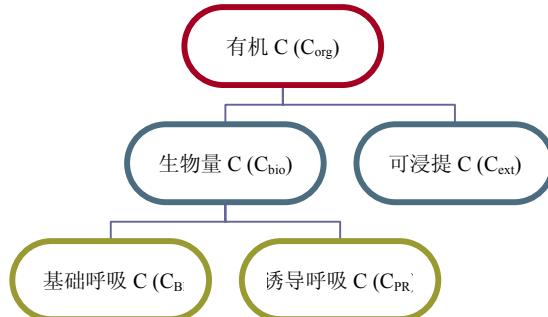


图 2 土壤生态系统的 C 素转化

Fig. 2 Carbon exchange of the soil ecosystem

土壤有机质是土壤的最重要组成部分之一, 多数人认为它是土壤质量衡量指标中最重要的指标<sup>[25]</sup>。可浸提有机 C (extractable extracellular carbon,  $C_{ext}$ ) 指微生物生物量测定的氯仿熏蒸法中未熏蒸土样的可浸提 C 量<sup>[22,26]</sup>。它是土壤有机 C 的动态组分, 这些可利用态 C 与微生物活性直接有关<sup>[15]</sup>。

##### 3.1.2 微生物呼吸作用

在土壤新陈代谢过程中, 产生大量的  $CO_2$ , 并向大气中释放的过程称之为土壤呼吸作用。它严格意义上讲是指未受扰动的土壤中产生  $CO_2$  的所有代谢作用, 主要包括土壤微生物呼吸、植物根系呼吸和土壤动物呼吸 3 个生物过程。作为生态系统功能的一个重要过程, 土壤呼

吸往往作为土壤生物活性和土壤肥力乃至透气性的指标，并且指示着生态系统演替的过程与方向。土壤生物能够降解某些污染物质，土壤呼吸强度与某些污染物的分解速率呈正相关。

微生物呼吸是土壤呼吸的主要过程，单独测定这一生物过程在技术上仍有难度，原位呼吸在监测群落活性方面也是一个较好的参数，但其易受基质、水分、温度等因素的影响，易变性较强<sup>[27]</sup>。较强的易变性意味着该项指标的单一度量很难对土壤的持续性做出解释。因此，标准条件下测定微生物的基础呼吸(basal respiration, BR)和诱导呼吸(potential respiration, PR)显得十分有意义。由于缺乏C源，土壤中的微生物的基础呼吸较弱，如果向土壤中加入易分解的有机物(如葡萄糖)，则微生物的呼吸量在极短的时间内迅速增加，并且可维持4~6 h没有多大的变化。这种呼吸量就称为诱导呼吸。

### 3.1.3 微生物多样性

微生物多样性可反映土壤生态系统的稳定性，也反映土壤生态机制和土壤胁迫对群落的影响。土壤是一个复杂的和动态的生物系统，土壤微生物群落包括细菌、真菌和放线菌等，它们在土壤的功能和过程中起重要作用<sup>[29]</sup>。对土壤生物多样性及其与植物群落相互作用的研究一直以来是生态学研究中的薄弱环节。微生物群落结构和功能的变化与土壤有机质的含量和构成紧密相关，土壤微生物群落有潜力成为土壤生物指标<sup>[20, 27]</sup>。

许多研究已经证实，通过传统的分离方法鉴定的微生物在土壤中只占总数的1%~10%，远远不能满足微生物多样性的需要。阐述土壤学与生物学、分子生物学的交叉与融合，将是土壤科学发展的必然趋势<sup>[28]</sup>。近年来发展了一些新的研究微生物多样性方法，大体上分为生物化学、生理学和分子生物学3类(表1)。目前它们作为监测指标尚有不确定因素。

### 3.1.4 微生物的功能性

能够正常维持土壤生态系统功能的土壤可以判断是健康的。评价时选择一些商值，它能够避免在使用绝对量或对不同有机质含量的土壤进行比较时出现的一些问题。即便没有一个参照值，也可以比较不同土壤的健康状况。以下一些与微生物生物量相关的商值在监测土壤健康时也赋予了各自的含义。

呼吸商(respiration quotient, qCO<sub>2</sub>)，传统上称代谢商(metabolic quotient)，是基础呼吸与微生物生物量-C间的比率(C<sub>BR</sub>/C<sub>bio</sub>)，即每单位微生物生

物量-C的基础呼吸率<sup>[29-30]</sup>。它将微生物生物量的大小与微生物的生物活性和功能有机地联系起来，是对二者的一种有效调和。qCO<sub>2</sub>值大，意味着微生物呼吸消耗的基质C比例相对较大，构造微生物细胞的C比例相对较小；反过来理解亦成立。呼吸商是反映环境因素、管理措施变化和重金属污染对微生物活性影响的一个敏感指标<sup>[31-32]</sup>。土壤水分匮乏、除草剂应用、土壤酸化等将使qCO<sub>2</sub>增大，在此意义上可将其看作一个微生物胁迫指标。著名生态学家Odum P.E.指出，环境胁迫条件下，微生物必须从维持生长和繁殖的能量中分流出一部分去补偿由于胁迫所需要付出的额外能量，因此胁迫必然会提高微生物生长所需要的维持能。

潜在呼吸商(potential respiration quotient, qPR)是诱导呼吸量与微生物生物量-C的比值(C<sub>BR</sub>/C<sub>bio</sub>)。该值代表了准确添加葡萄糖后无限制情况下的呼吸商。与微生物对能量的需求及矿化潜能有关。

呼吸活化商(respiratory activation quotient, qR)，基础呼吸与诱导呼吸比值(C<sub>BR</sub>/C<sub>PR</sub>)。反映土壤中基质与呼吸活性相互关系的信息，与系统潜在恢复力或土壤自净作用潜力有关。

微生物商(microbial quotient)是指微生物生物量-C与土壤有机C的比值(C<sub>bio</sub>/C<sub>org</sub>)。在标示土壤过程或土壤健康变化时，微生物商要比C<sub>bio</sub>或全C单独应用有效。

基质矿化商(mineralization quotient, Q<sub>ext</sub>)，指可浸提有机C与微生物生物量-C的比值(C<sub>ext</sub>/C<sub>bio</sub>)，与微生物的矿化作用强度和基质利用率有关。

腐殖化效率(humic efficiency, E<sub>ext</sub>)，指可浸提有机C与基础呼吸C之比(C<sub>ext</sub>/C<sub>BR</sub>)，标示呼吸的腐殖化效率高低。

## 3.2 土壤健康评价方法

对土壤微生物的评估可以反映土壤的生物学质量。从表1中选择多数研究确认的评价性较高的指标和参数。

Hofman等人<sup>[33]</sup>提出土壤生物学质量评价的新方法。具体采用基本量值指标，包括了评价体系中代表量的基本指标微生物生物量-C和可浸提有机C；代表活性的基本指标基础呼吸和诱导呼吸。评价参数采用衍生商值指标，如代表生物量水平功能性的基础呼吸商(C<sub>BR</sub>/C<sub>bio</sub>)、诱导呼吸商(C<sub>PR</sub>/C<sub>bio</sub>)、基质矿化商(C<sub>ext</sub>/C<sub>bio</sub>)，以及呼吸活化商(C<sub>BR</sub>/C<sub>PR</sub>)。

等8~10个评价指标(表1)。这些指标具有敏感性、变异性和平实性的特点,可以提供土壤生物学质量足够的信息,同时考虑检测方法的省钱、简便、省时,已有标准的测定方法<sup>[18-19]</sup>,总共仅需要3个简单测定方法即可完成监测工作。

上述量值指标,即 $C_{org}/C_{ext}/C_{bio}/C_{BR}$ ( $C_{PR}$ )(图2),结合与微生物生物量水平的衍生参数作为生态功能性的商值指标,可以很好地反映某个土壤生态系统的基本能流和碳流过程,揭示土壤微生物最根本的生理生存状态,成为评价土壤健康和土壤生物学质量状况的有力工具。

#### 4 讨论

评价土壤健康如同对人进行医疗诊断一样,采取的方法是选择量值和商值指标评价土壤生态系统的生命特征。其中有机C、生物量、呼吸量以及微生物商、呼吸商、矿化商就好比人的体格、心脏、肺活量以及血压、呼吸速率和脉搏,是土壤健康的生物学监测工具中最具潜力的敏感指标。一般来讲,高的基本量值,如高微生物量和呼吸量表明微生物处于良好的状态,因为这样微生物可以储存和循环更多的养分;低的商值,如呼吸商和矿化商相对不高,反映土壤具有高的微生物量和活性,适度的能量需求,可维持土壤生态系统正常的生态功能,这样的土壤可以判断是健康的。但如果是商值很高,呼吸速率相对微生物生物量来讲呈现非比例增强,表明微生物的能量需求增加,则预示土壤环境胁迫的存在。

在实际研究中选择无污染和破坏的背景土壤(如原生草原土壤)作为某区域的生物学参比土壤不失为一个好的实用方式。作者在草原地区分析了土壤生物学质量评价的可行性,并初步确定了典型草原土壤健康分级标准(待发表)。综上所述,可以通过量值和商值的综合方法有效地评价土壤健康状况。无论如何,土壤健康评价研究开展不久,存在大量需要解决的问题:例如土壤生物指标和土壤功能之间关系的深入认识;土壤健康综合评价的数学方法;土壤健康和土壤生物学质量评价需要发展一系列的监测指标、分级标准、阈值;定量化的评价方法;对土壤健康的动态变化进行监测和预警等。

#### 参考文献:

- [1] Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR. Biological Indicators of Soil Health. New York: CAB International, 1997: 1-28
- [2] 张华,张甘霖.土壤质量指标和评价方法.土壤,2001,33(6): 326-330
- [3] Zhao QG, Xu MJ. Sustainable agriculture evaluation for red soil hill region of southeast China. Pedosphere, 2004, 14 (3): 313-321
- [4] 陈晶中,陈杰,谢学俭,张学雷.土壤污染及其环境效应.土壤,2003,35 (4): 298-303
- [5] Doran JW, Safley M. Defining and assessing soil health and sustainable productivity//Doran JW. Soil Health as an Indicator of Sustainable Management. Agriculture Ecosystems & Environment, 2002, 88: 107-110
- [6] Anderson TH. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 98: 285-293
- [7] 任天志.持续农业中的土壤生物指标研究.中国农业科学,2000,33 (1): 68-75
- [8] Brookes PC. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biology and Fertility of Soils, 1995, 19: 269-279
- [9] Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality//Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA special publication no. 35. Madison: Soil Science Society of America, 1994: 3-21
- [10] Carter MR, Gregorich EG, Anderson DW, Doran JW, Janzen HH, Pierce FJ. Concepts of soil, quality and their significance//Gregorich EG, Carter MR. Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Amsterdam: Elsevier, 1997: 1-19
- [11] Sparling GP. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health//Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR. Biological Indicators of Soil Health. New York: CAB International, 1997: 97-120
- [12] He ZL, Yang XE, Baligar VC, Calvert DV. Microbiological and biochemical indexing system for assessing quality of acid soils. Advances of Agronomy, 2003, 78: 89-138
- [13] 孙波,赵其国,张桃林,俞慎.土壤质量与持续环境 III. 土壤质量评价的生物学指标.土壤,1997, 29 (5): 225-234
- [14] Schaeffer DJ, Henricks EE, Kerster HW. Ecosystem

- Health: 1. Measuring ecosystem health. *Environ. Man.*, 1988, 12: 445–455
- [15] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云. 可浸提有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系. *土壤学报*, 2004, 41 (4): 544–552
- [16] 章家恩, 蔡燕飞, 高爱霞, 朱丽霞. 土壤微生物多样性实验研究方法概述. *土壤*, 2004, 36 (3) : 346–350
- [17] Chen GS, Yang YS, Xie JS, Li L, Gao R. Soil biological changes for a natural forest and two plantations in subtropical China. *Pedosphere*, 2004, 14 (3): 297–304
- [18] Daniel L, Peter DS, Jeffrey SB. Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation. *Applied Soil Ecology*, 2002, 21 (3): 251–259
- [19] Trasar-Cepeda C, Leiros MC, Gil SF. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Boil. Fertil. Soils*, 1997, 26: 100–106
- [20] Schloter M, Dilly O, Munch JC. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2003, 98: 255–262
- [21] Powelson DS, Brookes PC, Christensen BT. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Boil. Biochem.*, 1987, 19: 159–164
- [22] Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Boil. Biochem.*, 1987, 19: 703–707
- [23] ISO 14240-1. Soil quality: Determination of soil microbial biomass—part 1: Substrate-induced respiration method. Geneva: International Organization for Standardization, 1997
- [24] ISO 14240-2. Soil quality: Determination of soil microbial biomass—part 2: Fumigation-extraction method. Geneva: International Organization for Standardization, 1997
- [25] 刘晓冰, 刑宝山, Herbert SJ. 土壤质量及评价指标. *农业系统科学与综合研究*, 2002, 18 (2): 109–112
- [26] Anderson TH, Domsch KH. The metabolic quotient for  $\text{CO}_2$  ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Boil. Biochem.*, 1993, 25: 393–395
- [27] 易志刚, 蚁伟民, 周丽霞. 土壤各组分呼吸区分方法研究进展. *生态学杂志*, 2003, 22 (2): 65–69
- [28] Cheng WX, Zhang QL, Coleman DC, Caroroll CR, Hoffmman CA. Is available carbon limiting microbial respiration in the rhizosphere? *Soil Boil. Biochem.*, 1996, 28: 1283–1288
- [29] Nannipieri P, Ascher J, Ceccherini MT, Landi L, Pietramellera G, Renella G. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 2003, 54: 655–670
- [30] Itziar A. Molecular microbial biological indicator of soil health. *Review on Environmental Health*, 2003, 18 (2): 131–151
- [31] Dilly O, Winter K, Lang A, Munch JC. Energetic eco-physiology of the soil microbiota in two landscapes of southern and northern Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2001, 164: 407–413
- [32] 滕应, 黄昌勇, 骆永明, 龙健, 姚槐应. 铅锌银尾矿区土壤微生物活性及其群落功能多样性研究. *土壤学报*, 2004, 41 (1): 113–119
- [33] Hofman J, Bezchllebova J, Dusek L, Dolezal L, Holoubek I, Andel P, Ansorgova A, Maly S. Novel approach to monitoring of the soil biological quality. *Environment International*, 2003, 28: 771–778

## Biological Monitoring and Assessment of Soil Health

ZHAO Ji

(College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

**Abstract:** Soil is a vital and finite resource on earth critical to maintenance of the functions and sustainability of the terrestrial ecosystem. Soil quality and health is closely related to sustainable development of the agriculture and animal husbandry and quality of the environment. Soil health can be briefly defined as: “the enduring capacity of a soil of functioning as a vital living system”. Soil microbe is a key functional factor in soil biota, some microbiological parameters can be cited as general biological indicators for assessing soil health. The index system for assessing soil health can be divided into four aspects, i.e. quantity, activity, diversity and functionality of soil microbe. Especially some basic indexes and derived parameters related to microbial biomass can be used as sensitive and quantitative bioindicators in monitoring and evaluating soil health, and as potential indicators for early warning of contamination and stresses of a soils ecosystem.

**Key word:** Soil health, Soil biological quality, Biological indicators, Microbial biomass