

# 土壤有机碳研究进展

王发刚<sup>1</sup>,王启基<sup>2</sup>,王文颖<sup>3</sup>,景增春<sup>2</sup>

(1. 青海省畜牧兽医职业技术学院,青海 湟源 812000; 2. 中国科学院西北高原生物研究所,青海 西宁 810001;  
3. 青海师范大学生物与地理科学学院,青海 西宁 810008)

**摘要:**综述了土壤有机质特征、土壤腐殖质化学分组、土壤有机质物理分组,如土壤有机碳的密度分组和土壤有机碳颗粒大小分组,以及气候、时间、母质、植被和草地退化、土地利用变化等因子对土壤有机碳含量的影响,揭示了当前有关土壤有机碳研究进展和发展趋势。

**关键词:**土壤有机质;重组有机碳;轻组有机碳;研究进展

**中图分类号:** S153.6<sup>+</sup>21

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-0629(2008)02-0048-07

## 1 土壤有机质特征

土壤有机质 (Soil Organic Matter, SOM) 由一系列存在于土壤中、组成和结构不均一、主要成分为 C 和 N 的有机化合物组成<sup>[1]</sup>。土壤有机质的成分中既有化学结构单一、存在时间只有几分钟的单糖或多糖,也有结构复杂、存在时间可达几百到几千年的腐殖质类物质 (Humic Substance), 既包括主要成分为纤维素、半纤维素的正在腐解的植物残体,也包括与土壤矿质颗粒和团聚体结合的植物残体降解产物、根系分泌物和菌丝体<sup>[2]</sup>。土壤有机质中所含的 C 为土壤有机碳 (Soil Organic Carbon, SOC)。土壤有机质与养分供给、土壤物理性质的改善及防止土壤侵蚀有重要关系<sup>[3]</sup>。土壤有机质是农业生态系统中作物速效养分的来源,作物吸收的大部分 N、P、S 和一些微量元素来源于土壤有机质的矿化。有机质也对团聚体的构成有作用,从而可改善土壤的耕性、透气性和透水性。土壤有机质的吸水能力可达自身质量的几十倍,因此,它对保持土壤水分有积极作用。土壤矿质颗粒与有机质形成团聚体后可增强土壤的抗风蚀和水蚀能力。一部分水溶性有机质 (Water Soluble Organic Matter, WSOM) 可影响施入土壤中农药的效果和存留时间。土壤有机质在土壤质量的构成因素中占首要位置,而且一般认为土壤有机质含量与土壤质量存在正相关关系<sup>[4]</sup>。土壤有机质含量极易受环境条件和农业措施的影响。气候和地貌在较大范围内影响着土壤

有机质含量,可以说起主导作用。土壤耕作和轮作也会引起土壤有机质含量变化,如自然土壤开垦后,土壤有机质含量会迅速减少<sup>[4]</sup>。施肥虽然会减缓这一过程的速率,但无法阻止土壤有机质减少的进程<sup>[5,6]</sup>。土壤中以有机质形式存在的 C 是大气中的 3 倍,土壤中有有机质的分解将在极大程度上影响大气 CO<sub>2</sub> 浓度,与全球气温上升有直接关系<sup>[7]</sup>。因此,土壤中的有机质动态不但影响到了农业生态系统的可持续发展,也影响到了大气圈、生物圈的可持续发展<sup>[8]</sup>。

**1.1 土壤有机质的概念** 从 18 世纪 80 年代开始,土壤中的一类黑色物质引起了人们的广泛关注,随着对其化学组成和结构研究的深入,最后被定名为土壤腐殖质。土壤腐殖质是动、植物残体在微生物作用下分解并再合成的一类深色、难分解、大分子有机化合物。动植物残体及根系分泌物在微生物作用下生成土壤有机质的过程被称作腐殖化过程。土壤腐殖质可分为两类,一类是与已知的有机化合物具有相同结构的单一物质,被称作非腐殖质类物质,另一类是腐殖质类物质。前者包括:碳水化合物、碳氢化合物如石蜡、脂肪族有机酸和酯类、醇类、酯类、醛类、树脂类和含氮

收稿日期:2007-02-12

基金项目:“十五”国家科技攻关计划重大项目(2004BA606A-02);青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划科研课题及应用推广项目(2005-SN-2);国家自然科学基金(30660120)

作者简介:王发刚(1955-),男,青海湟源人,高级讲师,从事草原生态教学和科研工作。

通讯作者:王启基 E-mail:wqj@nwipb.ac.cn

化合物。这一类物质可占腐殖质总量的 5% ~ 15%;腐殖质类物质是土壤中所特有的,根据颜色和溶解性一般被分为富非酸、胡敏酸、胡敏素。腐殖质类物质占腐殖质总量的 85% ~ 95%。土壤中未分解的动植物残体和活的有机体被称作有机残体,在国内被称作土壤有机物。活的有机体一部分是土壤动物和作物根系,另一部分是土壤微生物体占土壤有机质总量的 2% ~ 12%。在现行的大部分研究工作中,通过微生物作用所形成的腐殖质、动植物残体和微生物体被合称为土壤有机质(SOM)<sup>[9]</sup>。这也是目前国际上通用的土壤有机质概念。

**1.2 土壤腐殖质化学分组** 通过腐殖质在酸碱中的溶解性进行土壤腐殖质 C 化学分组,该方法首先由 Konoova<sup>[10,11]</sup>提出,后来有许多人对分组过程进行了修正。用这一方法分离得到富非酸、胡敏酸和胡敏素。富非酸主要是多糖、氨基酸和腐殖化程度低的腐殖质,胡敏酸和胡敏素是腐殖化程度较高的腐殖质<sup>[12]</sup>。胡敏酸/富非酸被用来衡量土壤有机质的腐殖化程度<sup>[13]</sup>。对腐殖质的光学性质、化学性质、功能团结构的研究也是在各化学分组产物中进行的<sup>[10]</sup>。

各种提取剂对土壤腐殖质的提取能力变化很大,但没有一种提取剂可以将土壤腐殖质全部从土壤中提取出来,所以土壤腐殖质的性质不能完全代表土壤有机碳的性质。另外土壤腐殖质的年龄为几百到几千年,用它的变化反映土壤退化或草地恢复重建措施对土壤有机碳的影响显然是不合适的。

**1.3 土壤有机质物理分组** 在 1960 年以前,由于有机-无机(矿质)复合体的复杂性及缺少成熟的方法,土壤中的有机成分和矿质成分都是在分开的研究中进行的,如矿质学家仅研究去除 SOM 后的矿质部分,而有机工作者研究多种 SOM 的提取物,很少有人能从全土中自然的分离出初级有机-矿质复合体,并进一步研究 SOM 与土壤矿质的相互作用。在初级有机-矿质复合体的研究进展主要体现在多种土壤分散技术的应用上,这些技术是在不破坏 SOM 的生物特性的情况下对土壤进行密度分组或大小分组,如超声

波振荡在土壤分散中的应用,这些技术导致自然土壤有机-无机复合体的研究大量增加。

土壤物理分组的概念,后面强调了土壤矿质在 SOM 稳定和周转中的作用,物理分组技术对土壤的化学破坏应该是最小的,从物理分组中获得的结果能更直接的将 SOM 的结构和功能联系起来<sup>[2]</sup>。在有机质周转研究中应用物理分级法的研究者日渐增多,因为人们意识到周转是土壤结构调节下的一个生物过程,并且微生物对底物的可利用性不仅依赖于底物本身的化学特征,而且依赖于底物与土壤矿质的联系特征<sup>[14]</sup>。有关土壤物理分组与 SOM 的研究主要包括在以下几个人的研究中<sup>[2,15-19]</sup>。

**1.3.1 土壤有机碳的密度分组** 重组(Heavy Fraction, HF)和轻组(Light Fraction, LF)有机碳是对土壤有机碳进行密度分组的结果。轻组的主要成分为正在分解中的动植物残体、菌丝体、孢子、单糖、多糖和半木质素等,具有较高的 C/N 比,周转较快,相对密度比土壤矿质低<sup>[2]</sup>。重组中包括有机-矿质复合的 SOM,这部分有机质分解程度更深,也可以称为真正的土壤腐殖质, C/N 比较低,周转较慢,因结合的土壤矿质颗粒多,且牢固而比重较大。试验中一般将土壤加入比重为 1.7 ~ 2.0 g/cm<sup>3</sup> 的有机或无机溶液中,分散土壤后离心就可以将土壤分成 2 组:漂浮在溶液中的为轻组,沉降到下部的为重组。轻组和重组中的有机碳分别为轻组有机碳(LFOC)和重组有机碳(HFOC)<sup>[2,18]</sup>。

轻组有机碳的数量很可能受土地利用,植被类型,及影响枯枝落叶生产和分解平衡的其它因素如气候,土壤特征,微生物活性的影响,轻组有机质更多的积累在干冷气候条件,低 pH 值的土壤及植被连续分布有较高的枯枝落叶归还量的土壤中<sup>[14]</sup>。

很多研究认为耕作会导致轻组迅速减少,但重组减少不显著。Dalal 和 Mayer<sup>[16]</sup>研究表明,与全量有机质相比,耕作使轻组有机质下降较快。在粘土上,轻组有机质的损失率是重组有机质的 2 ~ 11 倍;土壤粘性越大,则轻组有机质(LFOM)与重组有机质(HFOM)之间损失率的差距越大。

同样,Blair 等<sup>[21]</sup> 在新南威尔士北部的 3 块土地上,分别在耕作土壤和未耕作土壤上成对的采集土壤研究活性有机质,结果表明,耕作土壤的轻组有机质下降显著高于重组有机质及全土有机质,3 块地的 LFOM、HFOM 和 TOM 平均下降值依次为 63.3%、39.3% 和 44.9%。将苜蓿施入土壤后 2 年,LFOM 增加了 58.8%,是 HFOM (增加 15.7%) 和 TOM (增加 21.6%) 增加量的 3~4 倍。说明耕作能导致有机碳的损失,其中 LFOM 下降较快,重新储存也快,因此 LFOM 成为土壤系统碳动态更精确的指示物。秸秆还田对土壤有机质含量有显著的影响。在巴西的试验,秸秆还田 12 个月后,LFOM、HFOM、TOM 分别增加了 39.7%、2.4% 和 8.5%。秸秆还田使土壤有机质含量增加,而以 LFOM 增长比较快。所以 LFOM 比土壤总有机质含量对耕作、施肥等农业生产措施的响应更快<sup>[22,23]</sup>,这样就给判断这些措施对土壤质量的影响提供了一个非常快速而有效的手段。

段。Six 等<sup>[24]</sup> 提出将 LFOM 作为反应土壤有机质短期变化的一个指标。

重组有机碳受土壤矿物不同程度的物理和化学保护,所以分解速度较慢,在土壤中较为稳定<sup>[24-27]</sup>。重组有机质对维持团聚体的结构具有非常重要的作用,但很难被微生物利用。目前国内外对重组有机质的研究较少。

**1.3.2 土壤有机碳颗粒大小分组** 大部分土壤有机碳与土壤颗粒结合形成有机-无机复合体。按复合体颗粒大小,一般将其分为 5 组:沙粒(> 50 μm),粗粉粒(50~20 μm),细粉粒(20~2 μm),粗粘粒(2~0.2 μm),细粘粒(<0.2 μm)。土壤颗粒大小不同,其表面化学性质就不同,它们结合的有机碳的量、组成、化学性质、抗分解能力也存在本质的区别<sup>[12]</sup>。所以,与各级土壤颗粒结合的有机碳对不同的土地利用方式,耕作措施,施肥的反应不同<sup>[28,29,14]</sup>。与各级土壤颗粒结合的有机碳的性质见表 1。

表 1 各级土壤颗粒结合的有机碳的性质

| 粒级  | 土壤中的比例 (%) | 土壤 TOC 的比例 (%) | 有机碳浓度    | 有机碳的成分             | 分解速率      | 年龄    |
|-----|------------|----------------|----------|--------------------|-----------|-------|
| 沙粒  | < 10~50    | 10             |          | 纤维素(FA),半纤维素(HA)   | 快         | +     |
| 粗粉粒 | 19~43      | 20~25          | 很低       | FA 占 13%,HA40%     | 较快        | +++   |
| 细粉粒 | 3~6        | 16~19          | 10 倍于粗粉粒 | 芳香族结构比例高,HA/FA 最高  | 慢,属惰性库    | ++++  |
| 粗粘粒 | 15~48      | 35             | 接近细粉粒    | 链状结构为主,HA/FA 次于细粉粒 | 很难分解,属惰性库 | +++++ |
| 细粘粒 | 5~17       | 17~23          | 浓度高      | FA 比例高             | 较慢        | ++    |

## 2 影响土壤有机碳含量的因素

从宏观尺度上看,土壤的有机碳含量依赖于气候、时间、母质、植被、地形等因子<sup>[30]</sup>。

**2.1 气候** 气候是最重要的因子,因为它决定了植被种类的分布、光合物质生成量和土壤中微生物的活动强度,因此对土壤有机碳的固定和矿化分解过程有极大的影响。从整体上讲,潮湿的气候导致森林植被地形成和灰土、淋溶土的发育,而半干旱气候导致草原植被地形成和软土的发育,草原土壤的腐殖质含量通常较高,超过其它通气良好的土壤,荒漠、半荒漠和某些热带土壤的腐殖质含量最低<sup>[22]</sup>。

**2.2 时间** 在其它因素稳定的情况下,土壤从形成的那一刻起,有机碳数量逐渐增加,并最终达到一个平衡值<sup>[31]</sup>。Stevenson<sup>[11,32]</sup> 认为,土壤有机碳的积累在头几年很迅速,以后逐渐变慢,并最终达到平衡。细母质土壤中这一过程需要 110 年,而粗母质土壤中则需要 1500 年。

**2.3 植被** 植被类型可直接影响土壤有机碳含量,因为植被的根系分泌物和残落物是土壤有机碳的主要来源。另外,气候对土壤有机碳的影响主要是通过影响植被而起作用的。

**2.4 母质** 母质通过影响土壤的通气性、透水性甚至土壤温度,影响土壤中有有机物的腐殖化过程

及矿化过程,最终影响土壤有机碳含量。尤其是土壤粘粒对土壤有机质含量具有重要影响,一方面表现在提高土壤有效水含量,促进植物生长,从而增加有机物的输入量;另一方面粘粒具有比表面积和电荷密度很大等特性,能够较强的吸附土壤中的有机物质,并与之形成有机-无机复合体,降低微生物对土壤有机质的分解,这种作用被称作粘粒对土壤有机质的物理保护作用,这一作用得到较多的试验验证。一般而言,土壤中的颗粒越细,与之相结合的土壤有机碳越多<sup>[28]</sup>,Dalal和Mayer<sup>[33]</sup>发现土壤有机碳含量与土壤粘粒含量之间有很好的正相关性。Hassink<sup>[34]</sup>的研究表明土壤中 $<20\mu\text{m}$ 矿质颗粒含量与土壤可保护的最大有机碳含量间存在线性关系。

**2.5 草地退化** 在草原,植被的覆盖率和植物群落的种类成分对保持水土最为重要。植被覆盖是自然因素中对防止水土流失起积极作用的主导因素,几乎在任何条件下都有阻止水蚀和风蚀的作用。国内外科学家对植被特别是牧草在保持水土,改善生态环境方面的作用进行了大量的研究和报道,归纳起来有以下功能:1) 拦截雨滴,缓和雨滴的冲击作用。2) 阻挡水的流动,减缓径流速度。在植物生长良好的草地,一般都有一层枯枝落叶,它对保护土壤起着重要的作用。3) 固结土壤,防止土壤冲刷和吹蚀。植物的根系对土体有良好的穿插、缠绕、网络、固结作用。4) 增加土壤有机质,改良土壤的结构。土壤有机质的多少和土壤结构的好坏都会影响到土壤侵蚀的程度。良好结构的土壤,更有利于水的渗透,从而减少径流的形成<sup>[35]</sup>。

草地退化最明显的特征是:草地的种类成分发生变化,丛生禾草和蒿草数量减少;草地的覆盖度变小,地面裸露面积大。草地退化为土壤侵蚀的发生提供了内部条件,此外,我国的牧区是多风地区,雨量虽少但比较集中,这是引起土壤侵蚀的外部条件。Trimble和Mendel<sup>[36]</sup>报道,在密苏里州,裸地的土壤损失量比有草皮的土壤多132倍,而有草皮的土壤损失量少于 $0.1\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ;在犹他州和蒙大拿州,由于地表覆盖从100%减少为1%以下,侵蚀速率增加200倍。我国的许

多研究也表明,黄土高原种草的坡地比不种草的坡地地面径流减少47%,冲刷量减少77%。王根绪等<sup>[37]</sup>研究了土地覆盖变化对高山草甸土壤特征的影响,结果表明,植被盖度从90%下降到30%以下时,高山草甸土有机质流失将显著增加。Wang等<sup>[38]</sup>的研究认为,高寒草地的退化使土壤、植物C和N的储量减少。

**2.6 土地利用变化** 研究土地利用/土地覆盖及土地管理对温室气体和陆地生态系统碳通量的影响是当前全球碳循环和全球变化研究的热点内容。土地利用/土地覆盖变化对气候、生物地球化学过程和陆地生物物种的组成和多样性有重要影响,这是由于不同的土地覆盖类型具有不同的生态系统结构、群落组成和生物量。它们以不同的速率甚至方式吸收和固定养分(如碳和氮),这对营养元素在土壤、大气和水中的分布有很大的作用<sup>[39]</sup>。大量研究表明,不同土地利用方式和管理措施影响着土壤环境变化的方向和幅度<sup>[40]</sup>。

Houghton<sup>[41]</sup>曾指出,有7种土地利用变化类型可影响系统碳存贮。它们是:自然生态系统向永久性耕地的转变、自然生态系统向轮垦的转变、自然生态系统向牧场的转变、弃耕、弃牧、森林采伐、人工林的建立。Guo<sup>[42]</sup>综合了土地利用变化对土壤碳库的文献,将74篇文献的数据进行了分析,结果表明:牧场改为人工种植园、天然林改为人工种植园、天然林开垦为农田、牧场开垦为农田时,土壤碳库衰减,平均减少量分别为10%、13%、42%、59%;当天然林转为牧场、农田转为牧场、农田转为种植园及农田转为次生林时,土壤碳库增加,平均增加比例分别为8%、19%、18%和53%。如果一种土地利用方式减少土壤碳,则相反的过程通常会增加土壤碳。作者同时认为,由于可用的数据有限,且所用方法多种多样,该结论仅可以作为将来相关研究的假设条件,希望进一步扩充该类数据库,并注意种植针叶树和阔叶树对土壤碳库的影响。

已经有大量的研究探讨了各类森林系统开垦为农田后土壤碳的变化趋势及数量,一般认为,森林开垦为农田后,平均损失22%~30%的土壤碳。Danuse等<sup>[43]</sup>汇总了以往的研究,认为森林开

垦为农田后土壤碳和氮分别损失了 24 % 和 15 % , 表明平均 C : N 比在减少。森林开垦为牧场后, 不同研究得出的结论不同, 土壤碳变化幅度为 -50 % ~ +160 % , 但多个研究汇总后, 平均土壤碳氮的变化不显著。据 Houghton<sup>[44]</sup> 推算, 在皆伐之后, 热带、温带和极地森林枯落物和土壤碳分别减少 35 %、50 % 和 15 % , 随着土地的进一步耕种, 有机碳含量降低到原来的 50 % 。但 Detwiler<sup>[45]</sup> 认为, 森林的砍伐和燃烧不会导致土壤碳损失, 有时候还会使之增加。砍伐后变为农田和草地以及农田的耕种才会引起土壤碳损失, 所以土壤碳减少的主要原因不是森林的砍伐, 是砍伐后土地の利用。

农田退耕恢复为自然植被或常绿植被, SOC 能够得到汇集。但碳在土壤中汇集的时间和速率差别很大, 这与恢复植被的生产力、土壤物理、生物学状况、SOC 输入及物理干扰历史有关。在常绿植被恢复早期, 碳汇集的最高速率往往低于 100 g / (m<sup>2</sup> · a) 。Post<sup>[46]</sup> 等综合了大量相关研究后认为, 农田恢复为森林和草地后土壤碳的平均汇集速率分别为 33.8 和 33.2 g / (m<sup>2</sup> · a) 。从碳的分布格局看, 农田弃耕恢复为森林后碳主要汇集在生物量、地被层和土壤表层。Richter<sup>[47]</sup> 认为: 美国南卡罗来那州耕种 100 多年的土地恢复为森林 40 年后, 生物量、地被层和 7.5 cm 土壤表层碳汇集的比例分别为 80 %、20 % 和 1 % 。土壤碳的汇集主要发生在 0 ~ 7.5 cm 表层, 占总汇集量的 96 % , 而 7.5 cm 以下土层仅占 4 % 。

综上所述与草地土壤有机碳相比, 有关不同土地利用与管理措施条件下森林与农田土壤有机碳的变化研究较为深入和广泛。已有的研究表明: 草地覆盖变化和森林覆盖变化相似, 这些过程对土壤有机质、养分迁移和土壤水分循环具有显著影响。如 Tiessen 等<sup>[48, 49]</sup> 和 Davidson 等<sup>[50]</sup> 的研究表明, 草地开垦成农田后土壤中 30 % ~ 50 % 的碳素会损失掉, 大量碳损失发生在开垦后的最初几年, 20 年后趋于稳定。内蒙古羊草草原经 40 年的过度放牧后, 草地表层土壤 (0 ~ 20 cm) 的碳储量降低了 12.4 % 。但是有关青藏高原高寒草甸植被退化及其恢复重建措施对土壤有机碳影响

的研究较少, 相关信息十分缺乏。

## 参考文献

- [1] Kononova M M. Soil organic matter, its nature, its role in soil formation and in fertility [M]. 2nd. London: Pergamon Press, 1964. 5-20.
- [2] Christensen B T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates [J]. *Advance in Soil Science*, 1992, 20: 2-90.
- [3] Gregorich E G, Carter M R, Doran J W, *et al.* Biological attributes of soil quality [A]. *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Development in Soil Science 25 [C]*. The Netherlands: Elsevier, 1997. 81-113.
- [4] Janzen H H, Campbell C A, Ellert B H, *et al.* Soil organic matter dynamics and their relationship to soil quality [A]. *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Development in Soil Science 25 [C]*. The Netherlands: Elsevier, 1997. 277-291.
- [5] Campbell C A, Lafond G P, Moulin A P, *et al.* Crop production and soil organic matter in long-term crop rotations in the sub-humid northern Great Plains of Canada [A]. *Soil Organic Matter in Temperate Agro-ecosystems [C]*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1997. 297-315.
- [6] Janzen H H, Campbell C A, Izaurralde R C, *et al.* Management effects on soil C storage on the Canadian prairies [J]. *Soil Tillage Research*, 1998, 47: 181-195.
- [7] Schlesinger W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils [J]. *Nature*, 1990, 348: 232-234.
- [8] Ellert B H, Clapperton M J, Anderson D W. An ecosystem perspective of soil quality [A]. *Soil quality for Crop Production and Ecosystem Health. Development in Soil Science 25 [C]*. The Netherlands: Elsevier, 1997. 115-141.
- [9] 武天云, Schoenau J J, 李凤民, 等. 土壤有机质概念和分组技术研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15 (4): 717-722.
- [10] Anderson D W, Schoenau J J. Soil humus fractions [A]. *Soil Sampling and Methods of Analysis [C]*. Raton, FL: Lewis Publishers, 1993. 391-395.

- [11] Stevenson F J. 腐殖质化学[M]. 夏荣基译. 北京: 北京农业大学出版社, 1982. 1-5.
- [12] Anderson D W, Saggar S, Bettany J R, *et al.* Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. I the nature and distribution of forms of carbon, nitrogen, and sulfur[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1981, 45: 767-772.
- [13] Anderson D W, Paul E A. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48: 298-301.
- [14] Christensen B T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover[J]. *European Journal of Soil Science*, 2001, 52: 345-353.
- [15] Tiessen H, Stewart J W B, Hunt H W. Concepts of soil organic matter transformations in relation to organic-mineral particle size fractions [J]. *Plant Soil*, 1984, 76: 287-295.
- [16] Oades J M. An introduction to organic matter in mineral soil[A]. *Minerals in Soil Environments*[C]. Madison, WI: SSSA Publication Incorporation, 1989.
- [17] Elliott E T, Cambardella C A. Physical separation of soil organic matter [J]. *Agriculture Ecosystem Environment*, 1991, 34: 407-419.
- [18] 武天云. 黄土高原和北美大平原主要农业土壤的有机碳现状和动态对比研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2003.
- [19] Wang G, Wang C Y, Wang W Y, *et al.* Capacity of soil to protect organic carbon and biochemical characteristics of density fractions in Ziulin Haplic Greyxems soil[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(1): 27-32.
- [20] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland, VI. Loss of total nitrogen from different particle size and density fractions [J]. *Australia Journal of Soil Research*, 1987, 25: 83-93.
- [21] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agriculture systems [J]. *Australia Journal of Agriculture Research*, 1995, 46: 1459-1466.
- [22] Bremer E, Janzen H H, Johnston A M. Sensitivity of total, light fraction and mineralizable organic matter to management practices in a Lethbridge soil [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1994, 74: 131-138.
- [23] Bremer E, Eller B H, Janzen H H. Total and light fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1995, 59: 1398-1403.
- [24] Six J, Elliott E T, Paustian K, *et al.* Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 62: 1367-1377.
- [25] Barrios E, Kwasiga F, Sprent J I. Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 826-831.
- [26] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 777-783.
- [27] Hassink J. Decomposition rate constants of size and density fraction of soil organic matter [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1995, 59: 1631-1635.
- [28] Tiessen H, Stewart J W B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: II Cultivation effects on organic matter composition in size fractions [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1983, 47: 509-514.
- [29] Randall E W, Mahieu N, Powlson D S, *et al.* Fertilization effects on organic matter in physically fractionated soils as studied by <sup>13</sup>C NMR: Results from two long-term field experiments [J]. *European Journal of Soil Science*, 1995, 46: 557-565.
- [30] Jenny H. *The soil resource: origin and behavior* [M]. New York: Springer, 1980. 325-390.
- [31] Janzen H H, Johnston A M, Carefoot J M, *et al.* Soil organic matter dynamics in long-term experiment in southern Alberta [A]. *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems* [C]. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997. 273-281.
- [32] Stevenson F J. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction* [M]. New York: John Wiley &

- Sons Ltd. ,1994. 1-24.
- [33] Dalal R C ,Mayer R J. Long-term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern queensland , IV. Loss of organic carbon from different density fractions[J]. Australia Journal of soil Research ,1986 ,24 :301-309.
- [34] Hasink J. Preservation of plant residues in soils differing in unsaturated protective capacity [J]. Soil Science Society of America Journal ,1996 ,60 :487-491.
- [35] 许志信,李永强. 草地退化对水土流失的影响[J]. 干旱区资源与环境 ,2003 ,17(1) :65-68.
- [36] Trimble S W ,Mendel A C. The cow as a geomorphic agent a critical review [J]. Geomorphology , 1995 ,13 :1-4 .
- [37] 王根绪,陈国栋,沈永平等. 土地覆盖变化对高山草甸土壤特征的影响 [J]. 科学通报 ,2002 ,47(23) :1771-1777.
- [38] Wang W Y ,Wang Q J ,Wang C Y ,*et al.* The Effect of Land Management on Carbon and Nitrogen Status in Plants and Soils of Alpine Meadows on The Tibetan Plateau[J]. Land Degrad. Develop. ,2005 ,16 :405-415.
- [39] Turner II BL ,Skole D ,Sanderson S. Land use and land cover change (LUCC) [R]. Switzerland: Science Research Plan ,1995.
- [40] Lai R. Soil erosion and land degradation: The global risks[J]. Advance in Soil Science ,1990 ,(11) :169-172.
- [41] Houghton R A. The worldwide extent of land use change[J]. Bioscience ,1994 ,44 :305-313.
- [42] Guo L B ,Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change :a meta analysis[J]. Global Change Biology ,2002 ,8(4) :345-354.
- [43] Danuse M. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen ? A review of the literature [J]. Global Change Biology 2002. 8(2) :105-112.
- [44] Houghton R A. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980 :a net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere[J]. Ecological Monographs ,1983 ,53(3) :235-262.
- [45] Detwiler R P ,Hall C S. Tropical forests and the global carbon cycle[J]. Science ,1988 ,239 :42-471.
- [46] Post W M ,Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change :processes and potential [J]. Global Change Biology ,2000 ,(6) :317-327.
- [47] Richter D D ,Markewitz D ,Trumbore S E ,*et al.* Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest[J]. Nature ,1999 ,400 :56-58.
- [48] Tiessen H J ,Steward W B ,Bettany J R. Cultivation effects on the amount and concentration of carbon , nitrogen and phosphorus in grassland soil [J]. Agronomy Journal ,1982 ,74 :831.
- [49] Davidson E A ,Ackerman I L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils [J]. Biogeochemistry , 1993 ,20 :161-193.
- [50] Li L ,Chen Z. Changes in soil carbon storage due to over-grazing in *Leymus chinensis* steppe in the Xilin river basin of Inner Mongolia[J]. Journal of Environmental Science ,1997 ,9(4) :486-490.

### Research progress on soil organic matter

WANG Fa-gang<sup>1</sup> , WANG Qi-ji<sup>2</sup> , WANG Wen-ying<sup>3</sup>

(1. Qinghai Animal Husbandry & Veterinary College , Huangyuan 812100 , China ;

2. Northwest Plateau Institute of Biology , Chinese Academy of Sciences , Xining 810001 , China ;

3. College of Biology and Geography Sciences , Qinghai Normal University , Xining 810001 , China)

**Abstract :** The paper reviewed the research progress on soil organic matter characteristics , chemical fractionation of soil humus , physical fractionation of soil organic matter such as density fractionation and particle size fractionation and effects of climate , time , texture , vegetation , land degradation and land use change on soil organic carbon content.

**Key words :** soil organic matter (SOM) ; heavy fraction organic carbon (HFOC) ; light fraction organic carbon (LFOC) ; research progress