

# 不同种植年限苜蓿土壤熟化过程中腐殖质性质的研究

王鑫, 刘建新, 雷蕊霞, 来永福, 杨建霞, 张希彪

(陇东学院 生命科学系, 甘肃 庆阳 745000)

**摘要:** 综合研究了陇东黄土高原黄绵土不同苜蓿种植年限土壤的有机质含量、腐殖质组成、形态及胡敏酸的光学特征等。结果表明, 随苜蓿种植年限延长, 黄绵土土壤有机质含量逐步提高且品质得到改善, 开垦地和撂荒地则相反。10~20 a 苜蓿地土壤表层至下层松/紧比有升高的规律, 说明种植苜蓿主要对 20—40 cm 土层肥力影响较大。胡敏酸的色调系数 ( $\log K$ ) 和相对色度 (RF) 分析结果进一步表明, 苜蓿种植年限在 5~15 a 间, 土壤胡敏酸向着品质提高的方向演化, 种植苜蓿时间过长则腐殖质品质下降, 胡敏酸结构趋于老化, 耕地撂荒胡敏酸品质降低。

**关键词:** 苜蓿; 腐殖质; 胡敏酸; 色调系数; 相对色度

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2008)02—0098—05

中图分类号: S153

## Characteristics of Humus in Soil Maturity Process at Different Planting Ages of Alfalfa

WANG Xin, LIU Jian-xin, LEI Rui-xia, LAI Yong-fu, YANG Jian-xia, ZHANG Xi-biao

(Department of Life Science, Longdong University, Qingyang, Gansu 745000, China)

**Abstract:** This paper studies the optical characteristics of organic matter, humus composition and form, and humic acid at different planting ages of alfalfa in soils on the Longdong Loess Plateau. Results show that as the year of planting alfalfa goes by, soil organic matter content is gradually increased and its quality is improved. However, the situations of both reclaimed land and abandoned land are opposite to that of alfalfa field. From soil surface to underlying layers, ratio of looseness to tightness in alfalfa field planted for 10~20 years is increased, which means that planting alfalfa mainly affects soil fertility in the soil layer of 20—40 cm. The analyses of color tone coefficient ( $\log K$ ) and relative chromaticity (RF) of humic acid indicate that when the time of continuous cropping is between 5 and 15 years, the quality of humic acid tends to be improved. If the time of planting alfalfa is too long, the quality of humus acid may be reduced, the structure of humic acid may become aging, and the quality of humic acid on abandoned land may be reduced as well.

**Keywords:** alfalfa; humus; humic acid; color tone coefficient; relative chromaticity

土壤腐殖质与无机矿物结合而形成的有机无机复合体是构成土壤肥力的物质基础, 决定着土壤的抗逆性能与缓冲性能, 也是土壤肥力的核心物质<sup>[1-3]</sup>。但是, 过去对土壤的研究主要集中在肥力方面<sup>[1]</sup>, 对土壤腐殖质缺乏系统的研究。研究黄土高原沟壑区多年种植苜蓿对黄绵土熟化过程中腐殖质的组成、结合形态及其演化规律, 对黄绵土腐殖质的形成和更新以及熟化度的评价均有着重要的理论和现实意义。甘肃省陇东黄土高原沟壑区, 是全国典型水土流失区之一, 侵蚀面积 25 050.5 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 92.4%, 侵蚀模数 6 383~9 000 t/hm<sup>2</sup>。属暖温带半

干旱季风气候区, 光、热、水气候资源比较丰富, 可一年两熟。由于季风的强烈影响, 冬季寒冷干燥, 春季多风且干旱少雨, 夏季温暖多雨, 水热同期, 年降水量 400~600 mm, 雨量分布不均, 主要集中在 7—9 月份, 多年平均蒸发量 1 000 mm 以上, 地面蒸发量为 350~560 mm, 地下水位深, 属雨养农业区, 在黄绵土类区农业发展的主要限制因素是干旱, 土壤瘠薄, 水土流失严重<sup>[4]</sup>。随着国家退耕还林还草和生态环境重建政策的落实, 该地区近年来大量种植紫花苜蓿, 对保持水土, 提高土壤质量, 改善生态环境有着重要的影响。

收稿日期: 2007-08-27

修回日期: 2007-09-17

资助项目: 陇东学院自然科学研究项目 (XYZK0508)

作者简介: 王鑫 (1956—), 男 (汉族), 甘肃省镇原县人, 硕士, 副教授, 从事土壤与植物营养教学和科研。E-mail: qywangxin@126.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地的概况及样品的采集方法

供分析的土壤样品采集于黄土高原腹地的甘肃省庆阳市西峰区温泉乡,土壤类型为黄绵土。采样区位于同一山地,海拔高度、坡向、坡度及地理位置等立地条件基本一致。1980年在实行农村联产承包责任制后,将这块山地划分为若干小块,由权属不同的农户经营。样地种植苜蓿前均为农田,由于粮食产量低,距离农户较远,经营方式和管理水平也基本一致,即均施用少量化肥,不施有机肥,属于粗放型管理,但将农田改种植苜蓿的时间却不统一。我们在对住户详细调查的基础上,分别选择有代表性的采样区,即种植年限为5,10,15,20 a紫花苜蓿土壤,以种植紫花苜蓿16 a后,又将苜蓿开垦5 a后的地块和农田撂荒8 a(黄绵土,坡度为0°~5°,阴坡,地理位置不同,其它立地条件与苜蓿地一致)土壤为对照,采用网格随机取样方法,以5 m的网格间隔选择15个点,用土钻在每个采样区采取0—20,20—40,40—60 cm,3个层次的土样,混合后装入塑料袋,带回室内,将采集的样品除去植物根系、石块等,然后在常温下晾干、研磨、全部过2 mm筛,袋装密闭备用(表1)。

表1 供试土样基本状况

种植时间	土样编号	土层/cm	利用模式
1986 种植	F20-1	0-20	紫花苜蓿
	F20-2	20-40	
	F20-3	40-60	
1991 种植	F15-1	0-20	紫花苜蓿
	F15-2	20-40	
	F15-3	40-60	
1996 种植	F10-1	0-20	紫花苜蓿
	F10-2	20-40	
	F10-3	40-60	
2001 种植	F5-1	0-20	紫花苜蓿
	F5-2	20-40	
	F5-3	40-60	
2001 开垦	K5-1	0-20	苜蓿16 a 后垦为农田
	K5-2	20-40	
	K5-3	40-60	
1998 撂荒	L8-1	0-20	农田撂荒
	L8-2	20-40	
	L8-3	40-60	

测定所需的样品采用“均匀取样法”取样<sup>[8]</sup>,先全部通过1 mm孔径筛,再从过1 mm孔径筛的土样中均匀取出1/4,通过0.25 mm孔径筛。

### 1.2 分析方法

土壤有机质测定用重铬酸钾容量法<sup>[5]</sup>,各腐殖质

结合形态采用熊毅—傅积平改进法<sup>[6-7]</sup>,腐殖质组分测定用科诺诺娃法<sup>[8]</sup>。胡敏酸的光学性质用 Sugahara(1981)<sup>[9-10]</sup>法测定,log K为色调系数,是胡敏酸溶液在波长400 nm和600 nm处的吸光值对数的差值。RF为相对色度,系指胡敏酸溶液在波长600 nm处的吸光值除以30 ml该溶液所消耗的0.02 mol/L KMnO<sub>4</sub>的毫升数再乘以1 000<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 苜蓿不同种植年限土壤熟化过程中有机质变化

在土壤熟化过程中,有机质含量是衡量土壤肥力水平及土壤持续利用的重要指标<sup>[12]</sup>。研究结果表明,多年种植苜蓿的黄绵土土壤有机质演化随种植年限表现出增加的特征。尤以10~15 a期间有机质的积累过程较为明显,含量呈显著的增加趋势,20 a后有机质的积累速率缓慢。有机质以表层增加较明显,底层最缓慢。苜蓿地开垦为农田后,因人为扰动,土壤通气性得到改善,有机质的矿化加强,使各层有机质有明显的下降趋势;将农田弃置为荒地8 a后,由于表层枯枝残叶的积累,有机质含量较高,与种植5 a的苜蓿表层土壤有机质含量相近,但20 cm以下土层则明显低于5 a苜蓿地,说明农田撂荒不利于提高下层土壤肥力(表2)。

表2 土壤有机质含量的变化 g/kg

层次/ cm	种植苜蓿年限/a				开垦地	撂荒地
	5	10	15	20		
0-20	6.22	10.56	11.42	8.74	9.27	9.44
20-40	5.72	6.91	6.88	6.61	7.84	7.30
40-60	5.57	6.18	6.18	6.95	6.11	4.80

### 2.2 土壤腐殖质组分的变化

土壤腐殖质的组成和性质反映了土壤形成条件及形成过程的特点。不同类型土壤的腐殖质组成及性质各不相同<sup>[13-14]</sup>。在黄绵土上种植苜蓿的土壤在熟化过程中,随着种植年限的不同及开垦条件变化,有机碳和腐殖质组分(胡敏酸(HA)、富啡酸(FA)、胡敏素(HM))也呈现出阶段性的变化。从表3可以看出,苜蓿种植5~15 a的3个阶段有机碳、腐殖质总量及各组分含量逐渐呈递增趋势,20 a时则呈降低趋势,种植苜蓿16 a开垦为农田后,胡敏酸则呈明显的降低趋势,其原因是农田受人施肥的影响。撂荒地有机碳和胡敏酸含量明显低于种植10 a以上的苜蓿地。从不同土层分析,腐殖质各组分含量由表层至下层基本呈降低趋势,但撂荒地胡敏酸含量无规律性变

化。各阶段腐殖质总量及各组分含量与有机质含量相吻合,腐殖质总量与 HA,FA 呈极显著或显著正相关。其相关函数分别为

$$\begin{aligned} \text{HA}: y &= 0.3482 + 0.2001x, \\ R &= 0.708^{**}, n = 18, r_{0.01} = 0.561; \\ \text{FA}: y &= 0.3051 + 0.2346x, \end{aligned}$$

$$R = 0.448^*, n = 18, r_{0.05} = 0.444$$

进一步研究表明,种植苜蓿的土壤 HA/FA 比值大于 1,开垦地、撂荒地比值则显著小于 1。5~10 a 苜蓿地 HA/FA 呈增高趋势,15 a 后呈降低趋势,但以 10 a 最高,说明在黄绵土上种植苜蓿可提高胡敏酸含量。

表 3 供试土壤腐殖质组成

土样号	层次/cm	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	腐殖质组分/(g·kg <sup>-1</sup> )			占有机碳百分数/%			HA/FA
			HA	FA	HM	HA	FA	HM	
F20—1	0—20	5.07	1.36	1.35	2.36	26.8	26.6	46.6	1.01
F20—2	20—40	3.83	1.08	0.82	1.93	28.2	21.4	50.4	1.32
F20—3	40—60	4.03	1.21	1.15	1.67	30.0	28.5	41.4	1.05
F15—1	0—20	6.62	1.58	1.17	3.87	23.9	17.7	58.4	1.35
F15—2	20—40	3.99	1.17	1.06	1.76	29.3	26.6	44.1	1.10
F15—3	40—60	3.58	1.08	0.98	1.52	30.2	27.8	42.4	1.10
F10—1	0—20	6.13	2.14	1.06	2.93	34.9	17.3	47.8	2.02
F10—2	20—40	4.01	1.41	0.99	1.61	35.2	24.7	40.1	1.42
F10—3	40—60	3.58	1.03	0.95	1.60	28.8	26.5	44.7	1.08
F5—1	0—20	3.61	1.23	1.14	1.24	34.1	31.6	34.3	1.14
F5—2	20—40	3.32	1.21	0.88	1.23	36.5	26.5	37.0	1.72
F5—3	40—60	3.23	1.10	0.81	1.32	34.0	25.1	40.9	1.34
K5—1	0—20	5.38	1.21	2.73	1.44	22.5	50.7	26.8	0.44
K5—2	20—40	4.55	1.02	1.77	1.76	22.4	38.9	38.7	0.58
K5—3	40—60	3.54	0.87	1.64	1.03	24.6	46.3	29.1	0.53
L8—1	0—20	5.48	1.10	2.18	2.20	20.1	39.8	40.1	0.29
L8—2	20—40	4.23	1.18	2.08	0.97	27.9	38.9	38.7	0.57
L8—3	40—60	2.79	0.75	0.76	1.28	26.9	46.3	29.1	0.99

HA/FA 比值由表层至下层基本呈下降趋势,随苜蓿种植年限各层均有增高的趋势,HA/FA 比值越高,说明胡敏酸含量越高,分子量增大,分子结构越复杂,反之亦然<sup>[12]</sup>。在肥力水平低下的黄绵土上种植苜蓿豆科植物,有机质积累明显提高,导致土壤腐殖质含量增加,腐殖化程度和芳化度提高,显示了土壤由低肥力向高肥力的方向演变。仅从腐殖质组成和性质而言,苜蓿最长种植年限不应高于 15 a。

### 2.3 土壤腐殖质结合形态的变化

许多研究者认为,土壤肥力的高低在很大程度上取决于腐殖质的“质的组成”<sup>[16]</sup>,松结合态碳对土壤有效养分的供应起着重要作用,而紧结合态碳在全量养分的保贮及稳定结构方面起着重要作用<sup>[18]</sup>。土壤的肥力水平更主要受松结合态腐殖质比例的影响<sup>[17]</sup>。表 4 结果表明,黄绵土腐殖质以紧结合态含量最高,种植苜蓿无论年限长短如何,各层含量均以松结合态>稳结合态,但以 15 a 苜蓿松结合态、稳结合态腐殖质含量最

高,15 a 以后有降低趋势。

撂荒地和开垦地表层为松结合态高于稳结合态,20—60 cm 则以稳结合态高于松结合态。各结合形态由表层至下层基本呈降低趋势。松/紧比值高,则土壤的腐殖化度高,对形成良好土壤结构的能力增强,反之亦然<sup>[18]</sup>。松/紧比以撂荒地和开垦地为最低,且表层>下层>中层;苜蓿地随种植年限延长有增高的趋势,15 a 苜蓿地土壤松/紧最大,由表层至下层显著升高,规律性最强;10~20 a 表层至下层松/紧有升高的规律,种植 5 a,10 a 和 20 a 的苜蓿土壤松/稳比值为:中层>表层>下层,也有较强的规律性。说明种植苜蓿主要对 20—40 cm 土层肥力影响较大。其原因是苜蓿为深根系的豆科植物,具有增加土壤氮素和提高土壤肥力的作用。而撂荒地和开垦地为最低,表明将苜蓿地开垦后土壤肥力退化,将耕地撂荒虽然表层土壤有机质含量有所提高,但松/稳比值与种植苜蓿比较有下降趋势(表 4)。

表 4 土壤腐殖质的结合形态

土样号	层次/cm	结合形态/(g·kg <sup>-1</sup> )				松/稳比	松/紧比	(松+稳)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	胡敏酯+富啡酯 (g·kg <sup>-1</sup> )
		有机碳	松结态	稳结态	紧结态				
F20—1	0—20	5.07	0.72	0.61	3.74	1.18	0.19	1.33	2.71
F20—2	20—40	3.83	0.72	0.49	2.62	1.47	0.27	1.21	1.90
F20—3	40—60	4.03	0.52	0.28	3.23	1.86	0.16	0.80	2.56
F15—1	0—20	6.62	0.87	0.79	4.96	1.10	0.18	1.66	2.55
F15—2	20—40	3.99	0.88	0.68	2.43	1.29	0.36	1.56	2.63
F15—3	40—60	3.58	1.12	0.60	1.86	1.87	0.60	1.72	2.56
F10—1	0—20	6.13	0.76	0.68	4.69	1.12	0.16	1.44	4.00
F10—2	20—40	4.01	0.68	0.47	2.86	1.45	0.24	1.09	1.49
F10—3	40—60	3.58	0.44	0.28	2.86	1.57	0.15	0.72	1.98
F5—1	0—20	3.61	0.52	0.37	2.72	1.40	0.19	0.89	2.87
F5—2	20—40	3.32	0.48	0.46	2.38	1.03	0.20	0.94	2.39
F5—3	40—60	3.23	0.40	0.32	2.51	1.25	0.16	0.72	2.60
K5—1	0—20	5.38	0.76	0.73	3.89	1.04	0.19	1.49	3.94
K5—2	20—40	4.55	0.40	0.58	3.57	0.69	0.11	0.98	2.79
K5—3	40—60	3.54	0.44	0.52	2.58	0.85	0.17	0.96	2.51
L8—1	0—20	5.48	0.76	0.71	4.01	1.07	0.19	1.47	3.08
L8—2	20—40	4.23	0.34	0.43	3.46	0.79	0.10	0.77	3.26
L8—3	40—60	2.79	0.36	0.39	2.04	0.92	0.18	0.75	1.51

2.4 胡敏酸的色调系数和相对色度

胡敏酸的光学性质是判断土壤腐殖质特性的重要依据。研究表明,HA 的 log K,RF 与它们组成中的羧基、羰基、甲氧基和醇羟基的含量以及平均分子量之间呈显著的正(或负)相关。一般来说,HA 的 log K 越高(或 RF 越低),则它们的羧基、羰基和酚羟基的含量越低,而甲氧基和醇羟基的含量越高,HA 的氧化程度越低<sup>[19-20]</sup>,由此说明胡敏酸在分子结构上变得简单,组成上变得年轻。胡敏酸分子的复杂程度越高,芳香族原子团多,缩合程度较高;相反则芳香性小,脂肪侧链多,光密度较小(熊毅等,1990;林

明海等,1982;刘长怀等,1990;李庆明等,1982;刘树庆等,1989)。

由图 1 可见,种植苜蓿 5~10 a 后,0—20 cm,40—60 cm 土层 RF 值逐渐升高,以 10 a 最高,15—20 a 0—20 cm,40—60 cm 则呈明显的降低趋势;20—40 cm 土层种植苜蓿 5~15 a 呈明显的升高趋势,种植苜蓿 20 a 时骤减。由苜蓿地开垦为农田后 0—20 cm 土层的 RF 值明显升高。图 2 进一步表明,HA 的 log K 与 RF 值变化趋势相反,但结果基本一致。农田撂荒与种植苜蓿 5 a 比较,种植苜蓿有利于提高土壤腐殖质的品质。

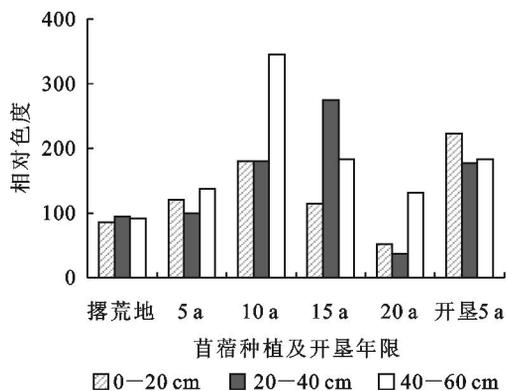


图 1 不同种植年限苜蓿地土层胡敏酸相对色度变化趋势

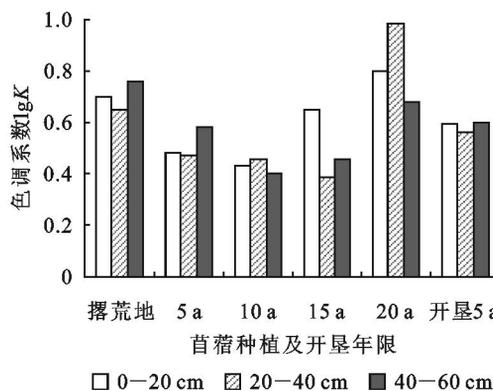


图 2 不同种植年限苜蓿地土层胡敏酸 log K 变化趋势

3 小结

黄绵土多年种植苜蓿使土壤有机质的演化随种

植年限表现出增加的特征,并可促进土壤的熟化。苜蓿种植 5~15 a 后,土壤有机碳、腐殖质总量及各组分含量逐渐呈递增趋势,20 a 后则降低;开垦地胡敏

酸则呈降低趋势;撂荒地有机碳和胡敏酸含量明显低于种植 10 a 以上的苜蓿地;各组分含量由表层至下层基本呈降低趋势。苜蓿地土壤 HA/FA 大于 1,开垦地和撂荒地则明显小于 1;HA/FA 由表层至下层基本呈下降趋势,但随苜蓿种植年限增加,各层均有增高的趋势,15 a 后呈降低趋势。

种植苜蓿无论年限长短,腐殖质结合形态均以松结态 > 稳结态,撂荒地和开垦地 20—60 cm 则稳结态 > 松结态,松/紧比和松/稳比也最低,且表层 > 下层 > 中层;苜蓿地随种植年限延长松/紧比和松/稳比有增高的趋势,10~20 a 表层至下层松/紧比有升高的规律,15 a 苜蓿地土壤松/紧比最大;种植 5 a,10 a 和 20 a 的苜蓿土壤松/稳比为:中层 > 表层 > 下层,说明种植苜蓿主要对 20—40 cm 土层肥力影响较大。由胡敏酸的 RF 和  $\log K$  变化进一步分析结果与腐殖质组成、腐殖质结合形态一致,但苜蓿地开垦为农田后则 0—20 cm 土层的 RF 值明显升高,可能是其土壤胡敏酸的性质受原种植苜蓿的影响,故开垦 5 a 后,原有老化的胡敏酸受到耕作和施肥的影响而活化,故使表层胡敏酸的性质有所提高。因此,从腐殖质性质的角度看,笔者认为苜蓿虽然可以常年种植,但以 10~15 a 腐殖质品质为高,以 10 a 肥力水平最佳,种植年限不能超过 15 a,否则,胡敏酸结构趋于老化,品质则向相反方向演化使肥力水平下降。但其是否对其它肥力因子有着同样的影响趋势,有待进一步研究与探讨。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 吴建国,徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳的影响[M]. 北京:中国林业出版社,2004:1—78.
- [2] 张晋京,龚森,李翠兰,等. 土壤腐殖质分组研究[J]. 土壤通报,2004,35(6):706—709.
- [3] 张付申,马爱霞,胡定宇. 长期施肥对土和黄绵土腐殖质结合形态影响及与肥力的关系[J]. 华北农学报,1997,12(3):88—93.
- [4] 庆阳地区土壤普查办公室. 甘肃庆阳土壤[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1989:1—30.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析(3版)[M]. 北京:中国农业出版社,2002:301—320.
- [6] 熊毅. 土壤胶体——土壤胶体研究法[M]. 北京:科学出版社,1985:304—361.
- [7] 傅积平. 土壤结合态腐殖质的分组测定[J]. 土壤通报,1983,14(2):36—37.
- [8] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京:农业出版社,1988:263—280.
- [9] Kmada K, Sato O, Ohsumi Y, et al. Humus composition of mauntain soil in contral Japan with special reference to the distribution of P type humic acid[J]. Soil Sci. Plant Nutr. 1967,13:151—158.
- [10] Sugahara K, et al. Composition analysis of humus and characterization of humic acids obtained from city refuse composit[J]. Soil Sci. Plant Nutr, 1981,27(2):213—224.
- [11] 龚森,徐冰,孙宏德. 黑土有机培肥与腐殖质特性[J]. 吉林农业大学学报,1995,17(1):46—51.
- [12] 牛灵安,郝晋珉,李吉进. 盐渍土熟化过程中腐殖质特性的研究[J]. 土壤学报,2001,38(2):114—121.
- [13] 文启孝. 我国土壤有机质和有机肥研究现状[J]. 土壤学报,1989,26(3):255—261.
- [14] 文启孝. 土壤有机质的组成、形成和分解[J]. 土壤,1984,6(3):121—129.
- [15] 王鹤桥. 土壤腐殖质与土壤肥力的研究初报[J]. 腐殖酸,1994(1):35—37.
- [16] 辛刚,颜里,汪景宽,等. 不同开垦年限黑土有机质变化的研究[J]. 土壤通报,2002,33(5):332—335.
- [17] 陈利军,周礼恺. 土壤保肥供肥机理及其调节. 棕壤型园土的腐殖质结合形态及其肥力学意义[J]. 应用生态学报,1999,10(4):427—429.
- [18] 杨玉盛,邱仁辉,俞新妥,等. 不同栽植代数 29 年生杉木林土壤腐殖质及结合形态的研究[J]. 林业科学,1999,35(5):116—119.
- [19] 赵兰坡. 日本关于土壤腐殖质化学的研究进展[C]//张福锁,龚元石,李晓林. 土壤与植物营养研究新动态(第 3 卷). 北京:中国农业出版社,1995:130—141.
- [20] 雄田恭一. 土壤有机质的化学[M]. 李庆荣,孙铁光,解惠南,等译. 北京:科学出版社,1984:35—36.