

不同生态恢复方式及施肥管理对退化黑土物理性状的影响

邹文秀^{1,2}, 韩晓增¹, 乔云发¹, 李海波^{1,2}

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 研究了不同生态恢复方式(苜蓿休闲、自然恢复、种植作物)和不同施肥管理(化肥+有机肥、化肥+秸秆还田、化肥、无肥)对退化黑土物理性状的影响。结果表明,与自然恢复相比,不同施肥管理对退化黑土物理性状改良效果皆较好,表现为容重减小,孔隙度、毛管持水量、最大持水量、田间持水量和水稳性团聚体含量增加,其中化肥与有机肥配施效果最好;而苜蓿休闲方式由于恢复年限较短,仅容重和孔隙度变化较明显。苜蓿和自然恢复对 0—10 cm 土层的容重、总孔隙度、毛管持水量、最大持水量、田间持水量影响较大,而 10—20 cm 土层由于恢复年限较短,变化不明显。0—20 cm 土层水稳性团聚体(>0.25 mm)含量和平均重量直径表现为不同施肥管理>苜蓿休闲>自然恢复。

关键词: 黑土;生态恢复;施肥管理;土壤水分

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2008)06—0037—04

中图分类号: S152.7

Effects of Ecological Restoration and Fertilization Management on Physical Properties of Degraded Black Soil

ZOU Wen-xiu^{1,2}, HAN Xiao-zeng¹, QIAO Yun-fa¹, LI Hai-bo^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agræcology, Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150081, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The effects of different kinds of ecological restoration (alfalfa fallowing, natural vegetation restoration, and cropping) and fertilization management (chemical fertilizer + organic manure, chemical fertilizer + straw, chemical fertilizer application, and no fertilizer application) on the physical properties of degraded black soil were investigated. Results showed that fertilization management decreased soil bulk density, but increased porosity, capillary capacity, max moisture capacity, field water capacity, and the content of water-sable aggregates as compared with natural vegetation restoration. Chemical fertilizer, together with organic manure, significantly improved them as compared with other fertilizer treatments. However, significant difference was only observed between alfalfa fallow and natural vegetation restoration in terms of bulk density and porosity due to short time of ecological restoration. Bulk density, porosity and capillary capacity, max moisture capacity, and field water capacity changed greatly in 0—10 cm soil layer as compared with them in 10—20 cm soil layer. Both the content of water-stable aggregates (>0.25 mm) and the mean weight diameter increased in the ascendant order of natural restoration, alfalfa fallow, and fertilization management.

Keywords: degraded black soil; ecological restoration; fertilization management; soil moisture

东北黑土主要分布在松嫩平原和辽河平原。北起大小兴安岭南麓,南到辽宁盘锦,西与松辽平原的草原和盐渍化草甸草原接壤,东达乌苏里江和图门江。黑土是一种自然肥力非常高且适于耕作的土壤,是我国重要的商品粮基地。但是,由于对黑土的过度

垦殖致使土壤的自然生产力逐渐下降,土壤的不合理利用又造成水土流失。在黑土区坡度大,耕作较久,土壤侵蚀严重的地方,黑土层厚度只有 10 cm 左右,出现“破皮黄”或直接露出黄色底土^[1]。东北黑土区水土流失总面积为 $2.76 \times 10^5 \text{ km}^2$,占土地总面积的

27%,已成为我国主要商品粮基地中水土流失最严重的地区,排在全国水土保持工作的第二位。目前如何控制黑土退化和恢复其生产力已经显得越来越紧迫。很多研究者提倡采取退耕还林还草等措施控制土壤退化^[2-5]。但是,若在黑土区大面积实施退耕还林还草势必会影响该地区的粮食生产,进而影响到国家的粮食安全。因此,如何恢复退化黑土的生产力就显得尤为重要。许多研究都集中于退化黑土土壤肥力的变化^[6-7],而对退化黑土物理性状的研究鲜有报道。本研究的主要目的在于阐明退化黑土采取不同生态恢复方式和施肥管理措施后其物理性状的变化特征,为退化黑土的生产力恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在中国科学院海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站进行,海伦站地处黑土区中部,属温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同季,年平均气温为 1.5℃,极端最高温度为 37℃,极端最低温度为 -39.5℃。年降水量为 500~600 mm,主要集中在 7、8 和 9 月份。>10℃的有效积温 2 300~2 500℃,年均日照时数为 2 600~2 800 h,无霜期为 125 d。土壤类型为中厚层黑土,其母质为第四纪形成的黄土状母质,质地为轻黏土。

1.2 试验设计

供试土壤样品取自海伦农业生态系统国家野外科学观测研究站成土机制微区试验。试验始于 2004 年。2004 年春季分层将土壤挖出并分别放置,挖至土壤母质时将母质取出 80 cm,将其它土层土壤按照土层的顺序回填,最上部是 80 cm 的黄土母质。试验设有 3 种不同的生态恢复方式,即苜蓿休闲、自然恢复和种植作物,在种植作物的情况下又设有 4 个不同的施肥处理,分别为化肥+有机肥、化肥+秸秆还田、单施化肥和无肥,共 6 个处理。其中苜蓿休闲和自然恢复不施用肥料也不进行任何耕作。有机肥为大豆风干后磨碎,在春季播种前施入,施用量为 2 250 kg/hm²;秸秆还田为前茬作物秸秆经粉碎后,在播种前全部还田。化学肥料的施用量分别为磷酸二铵 300 kg/hm²,硫酸钾 120 kg/hm²。有机肥和化肥的施用模式每年均相同。区组设计,随机排列,4 次重复。作物种植体系为大豆—玉米轮作。2007 年 10 月 9 日取土样时小区作物为玉米。土壤容重、毛管持水量、最大持水量、田间持水量分层(2.5~7.5 cm,12.5~17.5 cm)取样测定,每层重复 3 次;水稳性团聚体、最大吸湿量、凋萎含水量等取 0—20 cm 土层的混合样测定,重复 4 次。

1.3 试验方法

容重、毛管持水量、最大持水量、田间持水量采用环刀法^[8],土壤总孔隙度由公式:总孔隙度=(1-容重/比重)×100%计算得到。平均重量直径由公式:平均重量直径= $\sum W_i X_i$ 计算得出^[9], W_i 为第 i 级团聚体的平均直径, X_i 为第 i 级团聚体的百分率。团聚体分级采用约得筛分仪,根据王风等(2007)和 Li 等(2007)提供的方法进行筛分^[9-10]。

最大吸湿量采用如下方法测定。在干燥器的底部加入 10%的硫酸溶液 200~300 mm,使干燥器内部空气相对湿度保持在 96%左右,将装有 12.00 g 土样的烧杯放在干燥器内,把干燥器放在 20℃的环境中,当烧杯达恒重后,在 105±2℃下烘干测定土壤含水量,凋萎含水量用最大吸湿量倍数法,土壤有机质采用元素分析仪测定,采用 DPS2.00 统计软件进行方差分析及其它统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同生态恢复方式和施肥管理对退化黑土容重和孔隙度的影响

不同生态恢复方式和施肥管理对退化黑土容重的影响不同(表 1)。不同生态恢复方式中与自然恢复相比,无肥和苜蓿休闲在 0—10 cm 土层分别减小了 8.8%和 3.2%,在 10—20 cm 土层则没有变化;不同施肥管理中与无肥相比,化肥+有机肥、化肥+秸秆还田在 0—10 cm 土层分别减小了 9.7%和 7.1%,化肥略有增加,在 10—20 cm 土层分别减小了 4.8%、3.2%和 1.6%。方差分析结果显示,不同生态恢复方式和施肥管理下 0—10 cm 土层容重差异显著,而在 10—20 cm 土层则不明显。与 0—10 cm 土层相比,不同的生态恢复方式和施肥管理对 10—20 cm 土层容重的影响较小,这主要是由于恢复的时间较短,植被和其它成土因素对表层土壤的影响较大。无肥与自然恢复相比容重减小,是由于在退化黑土生态恢复的最初 4 a,作物根系生物量高于自然植被恢复,增加了土壤有机质输入进而降低土壤容重^[11];在不同施肥管理中土壤容重表现为:化肥+有机肥<化肥+秸秆还田<化肥<无肥,是由于化肥的施用增加了根系的生物量,而这种作用在结合有机肥和秸秆还田以后更显著;苜蓿休闲的土壤容重相对小于自然恢复,是由于苜蓿根系的生物量相对高于自然植被恢复。

不同生态恢复方式和施肥管理对退化黑土孔隙度具有不同的影响(表 1)。从各层来看,不同生态恢复方式中与自然恢复相比较,无肥和苜蓿休闲在 0—10 cm 土层分别增加了 7.5%和 2.4%,在 10—20 cm

土层没有变化;不同施肥管理中与无肥相比较,化肥+有机肥、化肥+秸秆还田在 0—10 cm 土层分别增加了 7.1 %和 5.7 %,化肥基本持平,在 10—20 cm 土层分别提高了 4.3 %,2.3 %和 1.3 %。方差分析结果显示,不同生态恢复方式和施肥管理下 0—10 cm 土层孔隙度差异显著,而 10—20 cm 土层则不明显。与 10—20 cm 土层相比,不同的生态恢复方式和施肥管理对退化黑土 0—10 cm 土层孔隙度的影响较大。无肥与自然恢复和苜蓿休闲相比说明人为翻耕疏松土壤能增加退化黑土的孔隙度;化肥与无肥相比较说明化肥的施用促进了作物的生长进而提高了土壤孔隙度;化肥+有机肥和化肥+秸秆还田与化肥相比说明有机肥培肥能提高孔隙度。

表 1 不同生态恢复方式和施肥管理下退化黑土的容重和孔隙状况

处理	深度/ cm	土壤有机质/ (g·kg ⁻¹)	容重/ (g·cm ⁻³)	孔隙度/ %
化肥+	0—10	14.5	1.02d	61.5a
有机肥	10—20		1.19a	55.1a
化肥+	0—10	13.8	1.05d	60.4a
秸秆还田	10—20		1.21a	54.3a
化肥	0—10	11.2	1.14c	57.0bc
	10—20		1.23a	53.6a
无肥	0—10	10.2	1.13bc	57.4b
	10—20		1.25a	52.8a
苜蓿休闲	0—10	10.1	1.20ab	54.7cd
	10—20		1.25a	52.8a
自然恢复	0—10	9.96	1.24a	53.2d
	10—20		1.25a	52.8a

注:同层次性质显著性分析中,相同字母表示在 $P<0.05$ 水平差异不显著。

2.2 不同生态恢复方式和施肥管理对退化黑土持水状况的影响

不同生态恢复方式和施肥管理对土壤毛管持水量影响不同(表 2)。不同生态恢复方式中无肥与自然恢复和苜蓿休闲相比毛管持水量有所提高,说明作物的生长能够增加退化黑土的毛管孔隙;不同施肥管理中,与无肥相比,化肥、秸秆和有机肥的施入不同程度地提高了毛管持水量,其中化肥+秸秆还田较大,是由于秸秆还田能增加毛管孔隙度^[12]。从各层来看,不同生态恢复方式中与自然恢复相比,无肥在 0—10 cm 土层增加了 5.0 %,而苜蓿休闲略有下降,在 10—20 cm 土层无肥和苜蓿休闲分别增加了 1.8 %,7.3 %;不同施肥管理中与无肥相比,化肥+有机肥、化肥+秸秆还田和化肥在 0—10 cm 土层分别

提高 31.4 %,28.1 %和 1.2 %,在 10—20 cm 土层化肥+有机肥提高了 8.10 %,化肥+秸秆还田和化肥基本持平。方差分析结果显示,不同生态恢复方式下 0—10 cm 土层土壤毛管持水量差异不显著,但不同施肥管理中化肥+有机肥和化肥+秸秆还田与化肥和无肥差异显著;而 10—20 cm 土层则差异不显著。

不同生态恢复方式和施肥管理对最大持水量具有不同的影响。从各层来看,不同生态恢复方式中与自然恢复相比,无肥和苜蓿休闲在 0—10 cm 土层分别增加了 1.4 %和 0.5 %,在 10—20 cm 土层基本持平;不同施肥管理中与无肥相比,化肥+有机肥、化肥+秸秆还田和化肥在 0—10 cm 土层分别增加了 31.4 %,28.1 %和 1.2 %,在 10—20 cm 土层化肥+有机肥、化肥+秸秆还田分别增加了 20.5 %和 5.8 %,化肥基本持平。

不同生态恢复方式和施肥管理对田间持水量影响不同。从各层来看,不同生态恢复方式中与苜蓿恢复相比,无肥和自然恢复在 0—10 cm 土层分别增加了 4.8 %和 4.4 %,在 10—20 cm 土层分别增加了 3.30 %和 6.6 %;与无肥相比,化肥+有机肥和化肥在 0—10 cm 土层分别增加了 10.5 %和 5.6 %,而化肥+秸秆还田减少了 16.1 %,是由于恢复年限较短,归还的秸秆并没有完全分解,使土壤中毛管孔隙较大,导致依靠毛管引力保持的水分减少^[12],在 10—20 cm 土层化肥+有机肥增加了 0.90 %,化肥+秸秆还田和化肥分别减少了 3.3 %和 7.9 %。

最大吸湿水和凋萎含水量的大小取决于土壤的黏粒和有机质的含量^[13],退化黑土低含量的有机质造成了低的最大吸湿水和凋萎含水量。从表 2 可以看出与无肥相比,化肥+有机肥、化肥+秸秆还田、化肥、苜蓿休闲、自然恢复分别增加了 4.7 %,5.8 %,0.5 %,3.1 %和 3.2 %。

2.3 不同生态恢复方式和施肥管理对土壤水稳性团聚体和平均重量直径的影响

不同生态恢复方式和施肥管理对土壤水稳性团聚体的影响不同(表 3)。>0.25 mm 水稳性团聚体的含量,自然恢复最低,为 41.5 %;种植作物较高,其平均值为 52.5 %;苜蓿休闲介于自然恢复与种植作物之间,为 44.9 %。不同的施肥管理表现为化肥+有机肥>化肥+秸秆还田>化肥>无肥,这主要是由于作物根系生物量大,根系的联结和分泌物的固结作用促进了水稳性团聚体的形成^[2,14],同时有机肥的施用增加了土壤中的有机胶结作用,进一步促进了水稳性团聚体的形成^[15]。苜蓿休闲与自然恢复>0.25 mm 水稳性团聚体的含量差异不大,有待于进一步研究。

平均重量直径是评价土壤结构稳定性的一个指标,平均重量直径越大,土壤结构越稳定,土壤抗侵蚀能力越强^[3]。从表 3 中可以看出,不同生态恢复方式和施肥管理对土壤结构稳定性具有不同的影响。与自然恢复方式相比,无肥和苜蓿休闲的平均重量直径分别提高了 34.4 %和 5.9 %,不同施肥管理中化肥 + 有机肥相对较大,分别比化肥 + 秸秆还田、化肥和无

肥提高了 17.2 %,51.2 %和 31.1 %。从分析结果中可以看出,在没有肥料输入的情况下,黄土状母质经人为的翻耕种植作物后土壤结构得到了改良;在不同施肥管理中化肥与有机肥配施的作用最明显,其原因是由于化肥和有机肥的施用,增加了土壤中有有机物料的输入,促进了作物的生长,进而增强了土壤结构的稳定性。

表 2 不同生态恢复方式和施肥管理下退化黑土持水状况

处 理	深度/cm	毛管持水量/ %	最大持水量/ %	田间持水量/ %	最大吸湿水/ %	凋萎含水量/ %
化肥 + 有机肥	0 - 10	43.9a	54.8a	27.8a	7.1a	10.6a
	10 - 20	40.0a	47.2a	25.6a		
化肥 + 秸秆还田	0 - 10	47.2a	53.6b	21.1b	7.2a	10.8a
	10 - 20	36.9a	41.4b	24.5ab		
化 肥	0 - 10	38.9b	42.2ab	26.5ab	6.8bc	10.2bc
	10 - 20	37.3a	39.1b	23.4ab		
无 肥	0 - 10	38.7b	41.7ab	25.4ab	6.8bc	10.2bc
	10 - 20	36.9a	39.1b	25.1a		
苜蓿休闲	0 - 10	36.1b	41.3b	24.0b	7.0ab	10.5ab
	10 - 20	38.9a	40.5b	24.6ab		
自然恢复	0 - 10	36.8b	41.1ab	25.0ab	7.0ab	10.5ab
	10 - 20	36.3a	40.4b	26.2a		

注:土壤含水量均为质量含水量;凋萎含水量 = 最大吸湿量 ×1.5; 同层次性质显著性分析中,相同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异不显著。

表 3 不同生态恢复方式和施肥管理下退化黑土水稳性团聚体组成(%)和平均重量直径

处 理	不同直径水稳性团聚体组成/ %					平均重量 直径/mm
	> 2 mm	2 ~ 1 mm	1 ~ 0.5 mm	0.5 ~ 0.25 mm	> 0.25 mm	
化肥 + 有机肥	22.2 ±1.0	5.3 ±0.5	15.6 ±0.5	17.4 ±1.4	60.5 ±0.6	0.74 ±0.12
化肥 + 秸秆还田	17.8 ±1.8	4.0 ±0.4	13.5 ±1.2	18.6 ±1.1	53.9 ±0.7	0.63 ±0.17
化 肥	10.1 ±2.0	2.5 ±0.3	15.2 ±0.6	23.1 ±0.8	50.9 ±2.0	0.49 ±0.06
无 肥	8.9 ±0.3	2.2 ±0.3	11.1 ±0.4	22.4 ±1.5	44.6 ±1.4	0.56 ±0.03
苜蓿休闲	8.1 ±0.7	3.8 ±0.2	12.6 ±0.1	20.4 ±0.8	44.9 ±1.2	0.44 ±0.07
自然恢复	8.5 ±0.2	1.6 ±0.2	11.8 ±0.6	19.6 ±0.4	41.5 ±0.9	0.42 ±0.02

3 结 论

(1) 不同施肥管理下,由于作物根系生物量大,大量有机物质归还土壤,使得容重减小,孔隙度、毛管持水量、最大持水量和田间持水量增大,水稳性团聚体含量增加,化肥与有机肥配施最佳。

(2) 与自然恢复相比,苜蓿休闲能够促进退化黑土物理性状的改良,但是由于恢复的时间较短,它们之间的差异不显著。

(3) 退化黑土物理性状的变化与生态恢复和施肥管理的年限有关,在最初的 4 a,不同生态恢复方式和施肥管理对 0—10 cm 土层物理性状的影响比 10—20 cm 土层显著。

[参 考 文 献]

[1] 黑龙江省土地管理局. 黑龙江土壤[M]. 北京: 农业出版社,1992.

[2] 戴全厚,刘国彬,薛莲,等. 侵蚀环境退耕撂荒地水稳性团聚体演变特征及土壤养分效应[J]. 水土保持学报, 2007,2(2): 61—65.

[3] 赵世伟,苏静,杨永辉,等. 宁南黄土丘陵区植被恢复对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持研究, 2005,2(3): 27—29.

[4] 孟凯,张兴义. 松嫩平原黑土退化的机理及其生态复原[J]. 土壤通报,1998,29(3):100—102.

(下转第 57 页)

4 结论

(1) 从覆被类型面积变化分析,毛乌素沙地2000—2006年沙漠化发展呈现局部恶化,总体稳定趋势,其中稳定区、发展区、逆转区各约占三分之一,发展区略大于逆转区;沙漠化发展过程中,固定沙地、流动沙地面积减少了,半固定沙地、非沙漠化土地增加,半流动沙地变化不大,沙漠化发展变化在半固定、半流动和非沙漠化土地中剧烈变动。

(2) 评价模型研究表明,研究区16个县域中,呈现发展趋势的地区主要分布在研究区的西北、西南和东北部;呈现逆转趋势的地区分布在研究区的东南部 and 中间地带。研究区整体评价差值为-0.0005,呈现出部分地区恶化,部分地区好转的总体稳定状态。定性与定量相结合的评价模型更加准确地反映了研究区2000—2006年的沙漠化发展趋势。

(3) 自1998年以来的生态环境综合治理、水土保持、退耕还林还草等生态恢复与生态建设工程实施效果明显,毛乌素沙地呈现“整体遏制,局部好转”的大好局面,但流沙治理的标准不高,未治理的面积还很大,人口、牲畜、农业生产、能源开发等人类活动仍不断地影响沙漠化发展,毛乌素沙地沙漠化防治任务依然艰巨。沙漠化遥感监测与评价需进一步深入研究,以求对沙漠化防治和建立我国北方重要生态屏障提供科学依据。

[参考文献]

- [1] 高尚武,王葆芳,朱灵益,等. 中国沙质荒漠化土地监测与评价指标体系[J]. 林业科学,1998,34(4):1—10.
 - [2] 卞建民,汤洁,林年丰,等. 松嫩平原西南部土地碱质荒漠化预警研[J]. 环境科学研究,2001,14(6):48—50.
 - [3] 张东,丁国栋,马士龙,等. 浑善达克沙地荒漠化灾害预警指标体系的研究[J]. 水土保持研究,2005,12(6):79—82.
 - [4] 王君厚,廖雅萍,林进. 土地沙漠化评价预警模型的建立及北方12省(市、区)分县预警[J]. 林业科学,2001,37(1):58—63.
 - [5] 高国雄. 毛乌素沙地能源开发对植被与环境的影响[J]. 水土保持通报,2005,25(3):1—4.
 - [6] 郝成元,吴绍洪,杨勤业. 毛乌素地区沙漠化与土地利用研究[J]. 中国沙漠,2005,25(1):33—39.
 - [7] 吴薇. 毛乌素沙地沙漠化过程及其整治对策[J]. 中国生态农业学报,2001,9(3):182—185.
 - [8] 王蕴忠,孙和国,武生荣. 飞机播种造林种草治理毛乌素、库布齐沙漠(地)成效及评价[J]. 内蒙古林业科技,1999(3):24—29.
 - [9] 北京大学地理系编. 毛乌素沙区自然条件及其改良利用[M]. 北京:科学出版社,1983.
 - [10] UN. United Nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa[S]. 1994.
 - [11] 高会军,谭克龙,姜琦刚,等. “3S”技术在沙质荒漠化土地动态监测中的作用[J]. 地质灾害与环境保护,2005,16(2):182—185.
-
- (上接第40页)
- [5] Zheng J, He M, Li X, et al. Effects of *Salsola passerina* shrub patches on the microscale heterogeneity of soil in a montane grassland, China[J]. Journal of Arid Environments, 2007, 72: 150—161.
 - [6] 高洪军,朱平,彭畅,等. 黑土有机培肥对土地生产力及土壤肥力影响研究[J]. 吉林农业大学学报,2007,29(1):65—69.
 - [7] 胡诚,曹志平,罗艳蕊,等. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响[J]. 中国农业生态学报,2007,15(3):48—51.
 - [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学出版社,1978.
 - [9] Li Haibo, Han Xiaozeng, Wang Feng, et al. Impact of soil management on organic carbon content and aggregate stability [J]. Soil Science and Plant Analysis, 2007, 38: 1637—1690.
 - [10] 王风,韩晓增,李海波,等. 黑土水稳性团聚体测定方法研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2007,23(2):138—140.
 - [11] 王风,韩晓增,李海波,等. 不同黑土生态系统的土壤水分物理性质研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):67—70.
 - [12] 孙海国,雷浣群. 植物残体对土壤结构性状的影响[J]. 生态农业研究,1998,6(3):39—42.
 - [13] 张鼎华,孙志蓉,翟明普,等. 杨树刺槐混交林沙地土壤的水分:物理性质[J]. 应用与环境生物学报,2001,7(2):122—125.
 - [14] 文倩,关欣. 土壤团聚体形成的研究进展[J]. 干旱区研究,2004,21(4):434—438.
 - [15] 李阳兵,魏朝富,谢德体,等. 岩溶山区植被破坏前后土壤团聚体稳定性研究[J]. 中国农学通报,2005,21(10):232—234.