

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

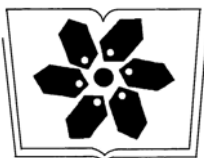
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 22 期 Vol.33 No.22 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 22 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 利用分布有/无数据预测物种空间分布的研究方法综述 刘 芳,李 晟,李迪强 (7047)
- 景观服务研究进展 刘文平,宇振荣 (7058)
- 土壤呼吸组分分离技术研究进展 陈敏鹏,夏 旭,李银坤,等 (7067)

个体与基础生态

- 平茬高度对四合木生长及生理特性的影响 王 震,张利文,虞 毅,等 (7078)
- 不同水分梯度下珍稀植物四数木的光合特性及对变化光强的响应 邓 云,陈 辉,杨小飞,等 (7088)
- 水稻主茎节位分蘖及生产力补偿能力 隗 溟,李冬霞 (7098)
- 基于辐热积法模拟烤烟叶面积与烟叶干物质产量 张明达,李 蒙,胡雪琼,等 (7108)
- 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响 田慎重,王 瑜,李 娜,等 (7116)
- 不同光照强度下兴安落叶松对舞毒蛾幼虫生长发育及防御酶的影响 鲁艺芳,严俊鑫,李霜雯,等 (7125)
- 南方小花蝽在不同空间及笼罩条件下对西花蓟马的控制作用 莫利锋,鄧军锐,田 甜 (7132)
- 浮游植物对溶解态 AI 的清除作用实验研究 王召伟,任景玲,闫 丽,等 (7140)
- 卧龙巴郎山川滇高山栎群落植物叶特性海拔梯度特征 刘兴良,何 飞,樊 华,等 (7148)
- 春夏季闽江口和兴化湾虾类数量特征 徐兆礼,孙 岳 (7157)
- 啃食性端足类强壮藻钩虾对筲箕湖三种大型海藻的摄食选择性 郑新庆,黄凌风,李元超,等 (7166)

种群、群落和生态系统

- 4 种农业措施对三化螟种群动态的控制作用 张振飞,黄炳超,肖汉祥,等 (7173)
- 黄土高原沟壑区森林带不同植物群落土壤氮素含量及其转化 邢肖毅,黄懿梅,安韶山,等 (7181)
- 基于诊断学的生态系统健康评价 蔡 霞,徐颂军,陈善浩,等 (7190)
- 稻田生态系统中植硅体的产生与积累——以嘉兴稻田为例 李自民,宋照亮,姜培坤 (7197)
- 自由搜索算法的投影寻踪模型在湿地芦苇调查中的应用 李新虎,赵成义 (7204)
- 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性 刘秉儒,张秀珍,胡天华,等 (7211)
- 内蒙古典型草原灌丛化对生物量和生物多样性的影响 彭海英,李小雁,童绍玉 (7221)
- 黄土丘陵沟壑区 80 种植物繁殖体形态特征及其物种分布 王东丽,张小彦,焦菊英,等 (7230)
- 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价 刘振生,高 惠,滕丽微,等 (7243)
- 太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素 蔡琳琳,朱广伟,李向阳 (7250)

景观、区域和全球生态

- 艾比湖地区土壤呼吸对季节性冻土厚度变化的响应..... 秦 璐,吕光辉,何学敏,等 (7259)
- 田间条件下黑垆土基础呼吸的季节和年际变化特征..... 张彦军,郭胜利,刘庆芳,等 (7270)

资源与产业生态

- 光核桃遗传资源的经济价值评估与保护 张丽荣,孟 锐,路国彬 (7277)
- 棉花节水灌溉气象等级指标..... 肖晶晶,霍治国,姚益平,等 (7288)

研究简报

- 云南红豆杉人工林萌枝特性..... 苏 磊,苏建荣,刘万德,等 (7300)
- 赣中亚热带森林转换对土壤氮素矿化及有效性的影响..... 宋庆妮,杨清培,余定坤,等 (7309)

学术信息与动态

- 2013 年 European Geosciences Union 国际会议述评 钟莉娜,赵文武 (7319)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 山坡岩羊图——岩羊属国家二级保护动物,因喜攀登岩峰而得名,又名石羊。贺兰山岩羊主要分布于海拔 1500—2300m 的山势陡峭地带,羊群多以 2—10 只小群为主。生境适宜区主要为贺兰山东坡(宁夏贺兰山国家级自然保护区)的西南部,而贺兰山西坡(内蒙古贺兰山国家级自然保护区)也有少量分布。贺兰山建立国家级自然保护区以来,随着保护区环境的不断改善,这里岩羊的数量也开始急剧增长,每平方公里的分布数量现居世界之首,岩羊的活动范围也相应扩大到低山 900 米处的河谷。贺兰山岩羊生境选择的主要影响因子为海拔、坡度及植被。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201207261062

田慎重, 王瑜, 李娜, 宁堂原, 王丙文, 赵红香, 李增嘉. 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响. 生态学报, 2013, 33(22): 7116-7124.

Tian S Z, Wang Y, Li N, Ning T Y, Wang B W, Zhao H X, Li Z J. Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(22): 7116-7124.

耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性 团聚体分布及稳定性的影响

田慎重¹, 王瑜², 李娜¹, 宁堂原^{1,*}, 王丙文¹, 赵红香¹, 李增嘉¹

(1. 作物生物学国家重点实验室, 山东省作物生物学重点实验室, 山东农业大学农学院, 泰安 271018;

2. 山东省水稻研究所, 济南 250100)

摘要: 基于 10a 耕作措施的定位试验, 利用湿筛法研究了不同耕作措施和秸秆还田条件下农田土壤水稳性团聚体的分布规律, 并利用平均重量直径 (MWD) 和几何平均直径 (GMD) 评价了不同处理水稳性团聚体的稳定性。研究结果表明, 不同耕作措施处理的水稳性团聚体在 0—10cm, 10—20cm 和 20—30cm 土层表现出不同的分布趋势, 随着土层的加深, 各处理水稳性团聚体的分布呈粒径逐渐减小、分布范围逐渐扩大趋势, 0—10cm 土层的水稳性团聚体多集中于 2—5mm 粒径范围, 10—20cm 土层水稳性团聚体多集中在 0.5—5mm 粒径范围, 以 0.5—1mm 最多, 而 20—30mm, 则广泛分布在 0.25—5mm 粒径范围。通过 MWD 和 GMD 值可以看出, 免耕、耙耕和旋耕措施更能有效地保护表层 (0—10cm) 土壤水稳性团聚体的稳定性, 常规耕作和深松处理则显著降低了 20—30cm 水稳性团聚体稳定性。秸秆还田显著增加了土壤有机碳 (SOC) 含量, 且显著影响了土壤表层水稳性团聚体的稳定性。作用力分析结果表明, 在 0—10cm 表层, 秸秆作用在土壤表层显著影响了水稳性大团聚体的数量及其稳定性 ($P < 0.001$), 多元回归分析说明其与土壤有机碳含量达到了极显著水平 ($P < 0.01$), 且同时也受到来自耕作和秸秆交互效应的影响 ($P < 0.01$); 但在 10—20cm 土层, 影响其数量分布的主要因素是不同的耕作措施及耕作和秸秆的交互效应 ($P < 0.001$); 而在 20—30cm, 耕作措施、秸秆和两者的交互效应共同对水稳性大团聚体数量产生重要的影响, 但主要作用力来自耕作措施 ($P < 0.001$) 和两者的交互效应 ($P < 0.001$)。免耕秸秆还田措施能显著提高土壤的水稳性团聚体的比例和稳定性。

关键词: 保护性耕作; 秸秆还田; 土壤水稳性团聚体; MWD; GMD

Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain

TIAN Shenzhong¹, WANG Yu², LI Na¹, NING Tangyuan^{1,*}, WANG Bingwen¹, ZHAO Hongxiang¹, LI Zengjia¹

1 State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Key Laboratory of Crop Biology, College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

2 Shandong Rice Research Institute, Jinan 250100, China

Abstract: Tillage and crop residue input are two important factors to effect on the distribution and stability of soil water-stable aggregation. The objective of this study was to evaluate the changes of soil water-stable aggregate distribution and stability after 10 years in response to long-term tillage and crop straw management experiment in winter wheat (*Triticum aestivum* Linn.) and maize (*Zea mays* L.) cropping system in the North China Plain. The experiment was laid out in a split-plot design, the main plots involved five tillage systems, which included no-till (NT), subsoiling (ST), harrow tillage

基金项目: 国家“十二五”科技支撑资助项目 (2012BAD14B07, 2011BAD21B06); 公益性行业 (农业) 科研专项经费资助项目 (201103001); 国家自然科学基金资助项目 (30900876, 31101127); 山东省农业重大应用技术创新课题资助项目

收稿日期: 2012-07-26; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ningty@163.com

(HT) and rotary tillage (RT), with the conventional tillage (CT) as the control; the subplots involved two residue management methods: straw returning (P) or straw removal (A). As a result, the distributions of soil water-stable aggregate revealed varied characters in the 0—10 cm, 10—20 cm and 20—30 cm layers under the different tillage and straw management treatments. The size class of soil water-stable aggregate decreased with the soil layers deepening, while the distribution range were increased, the main ranges in the 0—10 cm, 10—20 cm and 20—30 cm layers were 2—5 mm, 0.5—5 mm and 0.25—5 mm size classes, respectively. Suitable tillage combination with crop straw input increased the proportion and stability of water-stable macro-aggregate. The proportion and stability of water-stable macro-aggregate in the 0—10cm under the PS, PR, PH and PN treatments were significant higher than that of the straw removal treatments ($P < 0.05$), and they significant related with the straw input ($P < 0.001$) and the interaction between it and tillage ($P < 0.01$). Meanwhile, the stability of water-stable macro-aggregate also correlated with the soil organic carbon (SOC) content of these straw returning treatments according to the multiple regression analysis ($P < 0.01$). Crop straw input significant increased the content of SOC and more SOC accumulated at the top of soil under conservational tillage methods such as under PS, PR, PH and PN, their contents significant higher than that of AS, AR AH and AN, respectively, this result further impacted on the stability of aggregate in different treatments in the 0—10 cm layer, but the SOC level did not influence on the stability in the 10—20 cm and 20—30 cm layers. The highest proportions in the 10—20 cm and 20—30 cm layers were observed at the PS treatment, the main driving factor of this result in the 10—20 cm layer were the tillage ($P < 0.001$) and the interaction between tillage and straw ($P < 0.001$), while in the 20—30 cm layer were the straw ($P < 0.001$) and the interaction between tillage and straw ($P < 0.001$). No tillage combination with crop straw input could improve the proportion and stability of water-stability aggregate.

Key Words: conservation tillage; straw; water-stability aggregate; MWD; GMD

土壤团聚体是土壤结构的基本单元,也是土壤肥力的物质基础,其结构是作物高产所必须的土壤条件之一^[1]。稳定的土壤团聚结构对种子发芽、根系发育、作物生长以及有机碳保护有着重要的影响,而土壤的团聚过程也是固碳的最重要的途径之一^[2]。因此,团聚体的稳定性对土壤肥力、质量和土壤的可持续利用等都有很大的影响。土壤团聚体的水稳性与土壤可蚀性密切相关^[3],对保持土壤结构的稳定性具有重要意义,稳定的土壤团聚体有利于保护受团聚体物理保护的有机碳库免受矿化分解^[2]。因而,真正认识土壤团聚体的形成和稳定机制以及人类活动的影响,对于利用团聚体的组成与作用功能来调控管理土壤有机碳库和控制土壤侵蚀具有十分重要的意义^[4]。华北平原是我国重要的粮食产地,保护性耕作技术和秸秆还田在此地区已有了较大范围的推广和应用,并取得了一定的经济和生态效益。由于不合理的耕作和管理措施会造成土壤的退化侵蚀和土壤碳库的持续性降低^[5-6],因此,探明不同耕作措施和秸秆还田条件下农田土壤团聚体分布规律及其稳定性对该地区农田土壤固碳减排和降低土壤侵蚀程度具有重要意义。本研究利用基于 10a 的不同耕作措施定位试验,通过团聚体的质量百分数及评价其稳定性的平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)参数^[7-8],研究不同耕作措施和秸秆还田对该地区麦玉两熟农田不同耕层土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验在山东省泰安市山东农业大学农学试验站的不同耕作措施定位试验地进行(始于 2002 年)。试验地位于 36°09'30.78"—36°09'27.59" N, 117°09'13.79"—117°09'12.02" E,属于温带大陆性季风气候,四季分明,光照充足。该地区年平均气温 13.6 °C,年均日照时数 2462.3 h,年均降雨量 786.3 mm,具有华北平原的典型特点。试验田土壤为棕壤土,土层深厚,耕层土壤有机碳 7.19 g/kg,全氮 0.81 g/kg,速效氮 108.8 mg/kg,全磷 17.60 g/kg,速效磷 38.4 mg/kg,土壤容重 1.43 g/cm³。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,主区为耕作方式,分为免耕(N)、旋耕(R)、耙耕(H)、深松(S)和常规耕作(C)5种;副区为秸秆,分为秸秆全量还田(P)和无秸秆还田(A)2种。两因素相互组合共10个处理(表1)。试验设3次重复,小区面积15m×4m。试验采用冬小麦-夏玉米轮作体系,各处理统一田间管理,小麦季基施纯N 225 kg/hm²,P₂O₅ 180 kg/hm²,K₂O 180 kg/hm²,各处理在拔节期统一追施纯N 100 kg/hm²,浇拔节水160 mm;玉米季基施纯N 120 kg/hm²,P₂O₅ 120 kg/hm²,K₂O 100 kg/hm²,大喇叭口期追施纯N 120 kg/hm²。

表1 试验处理

Table 1 Experimental treatments

	秸秆还田 Straw returning (P)	无秸秆还田 Straw removal (A)
常规耕作 Conventional tillage (C)	常规耕作秸秆还田(PC) CK	常规耕作无秸秆还田(AC) CK
深松 Subsoiling (S)	深松耕秸秆还田(PS)	深松耕无秸秆还田(AS)
耙耕 Harrow tillage (H)	耙耕秸秆还田(PH)	耙耕无秸秆还田(AH)
旋耕 Rotary tillage (R)	旋耕秸秆还田(PR)	旋耕无秸秆还田(AR)
免耕 No tillage (N)	免耕秸秆还田(PN)	免耕无秸秆还田(AN)

1.3 样品采集及分析

1.3.1 土样采集

土样采集于2011年10月进行,用直径为10cm的环刀(避免外力挤压,以保持原来的结构状态)多点(3点—5点)采集有代表性的原状耕层土壤,分0—10cm、10—20cm和20—30cm 3个层次。运回室内后(运输时避免震动和翻倒),沿土壤的自然结构轻轻地剥开,将原状土剥成小土块,同时防止外力的作用而变形,过7mm筛,并剔除粗根和小石块。土样摊平在透气通风处,让其自然风干。

1.3.2 测试方法

土壤水稳定性团聚体含量采用湿筛法^[9]。各处理取50g的土样,用于湿筛的分析使用。湿筛分析在团聚体分析仪上进行,一次可同时分析4个土样。套筛孔径依次为5、2、1、0.5、0.25、0.053mm。将土样倒入套筛后,浸润10min,开启团聚体分析仪,使之达到20次/min(上下筛动时套筛不能露出水面),定时2min。筛好后,将套筛拆开,留在筛子上的各级团聚体用细水流通过漏斗分别洗入铝盒,带澄清后倒去上面的清液,烘箱55℃风干,在空气中平衡2h后称重^[10],各处理3次重复。

1.4 结果计算

(1) 不同粒级水稳性团聚体的质量百分比^[11]

$$w_i = \frac{W_{wi}}{50} \times 100\% \quad (1)$$

式中, w_i 为某级水稳定性团聚体的质量分数(%); W_{wi} 为该级水稳定性大团聚体的风干质量(g)。

(2) 水稳性大团聚体数量^[11]

$$R_{0.25} = \frac{M_{i>0.25}}{M_T} \quad (2)$$

式中, $R_{0.25}$ 为水稳性大团聚体数量(>0.25mm), $M_{i>0.25}$ 大于0.25mm团聚体的重量, M_T 团聚体的总重量。

(3) 平均重量直径(MWD)^[10]

$$MWD = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (3)$$

式中,MWD为平均重量直径; y_i 为各粒级土粒的重量百分比; x_i 为各粒级的平均直径。

(4) 几何平均重量(GMD)^[10]

$$\text{GMD} = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (4)$$

式中, GMD 为几何平均直径; w_i 为各粒级土壤的重量; x_i 为各粒级平均直径。

1.5 数据分析

试验所得数据采用 Excel 2003 处理。数据统计分析采用 DPS 7.05 数据分析系统作方差分析 (LSD) 和回归分析, 作用力分析为两因素随机区组进行方差分析时, 将试验变异来源分为区组间、A 因素 (耕作因素)、B 因素 (秸秆还田)、两因素交互效应、误差及总变异几部分, 各部分所引起的变异大小由其所产生的平方和表示, 因此耕作因素、秸秆还田因素及其交互效应作用力 (各部分所引起的变异在总变异中所占的比例) 可用下式计算^[12]:

耕作作用力 = 耕作变量 (平方和) / 总变量 (总平方和) × 100%

秸秆作用力 = 秸秆变量 (平方和) / 总变量 (总平方和) × 100%

交互作用力 = 交互变量 (平方和) / 总变量 (总平方和) × 100%

2 结果与分析

2.1 耕作方式及秸秆还田对农田土壤 0—30cm 水稳性团聚体分布的影响

由表 2 可以看出, 无论是秸秆还田处理还是无秸秆还田处理, 不同耕作措施条件下 0—10cm 土层的水稳性团聚体多集中于 2—5mm, 而 5—7mm 粒级的水稳性团聚体最少。各处理 0.05—0.5mm 粒径的水稳性团聚体分布较平均, 没有表现出明显的规律。但不同耕作措施之间则反映出不同的分布特点, 由于深松铲和免耕措施对 0—10cm 表层扰动较小, PS 和 PN 处理的水稳性团聚体多集中于 2—5mm, 且数量显著高于其它处理。而旋耕 (PR) 由于多作用于表层 (0—15cm), 且扰动剧烈, 其水稳性团聚体主要分布在 0.25—5mm 粒级, 较其它处理分布更广泛。而通过比较秸秆还田对水稳性团聚体数量的影响发现, 除 PN 外, 秸秆还田条件下 <0.05mm 的水稳性团聚体数量要显著小于无秸秆还田处理, 说明秸秆还田有利于微团聚体团聚成更大粒级的团聚体, 并且秸秆还田可能会在耕作时增加扰动阻力, 减少对团聚体的破坏作用。

表 2 不同耕作措施和秸秆还田对 0—10cm 土层水稳性团聚体分布的影响

Table 2 Effects of different tillage and straws systems on soil water-stable aggregate distribution in 0—10 cm layer

处理 Treatments	各粒级水稳性团聚体的质量百分比/% The proportion of different water-stable aggregate size						
	5—7mm	2—5mm	1—2mm	0.5—1mm	0.25—0.5mm	0.05—0.25mm	<0.05mm
常规耕作无秸秆还田处理 AC	5.38±1.03 d	36.43±7.45 a	11.30±3.19 b	14.05±5.63 b	11.28±3.20 b	9.32±0.27 c	12.24±0.51 b
常规耕作秸秆还田处理 PC	1.46±0.86 e	34.19±1.60 a	14.89±0.13 bc	16.10±0.51 b	13.96±0.11 c	9.84±0.92 d	9.57±0.31 d
深松无秸秆还田处理 AS	3.10±0.82 d	30.76±2.33 a	14.10±3.84 b	10.61±1.95 c	19.18±0.48 b	9.08±1.78 c	13.18±3.73 bc
深松秸秆还田处理 PS	2.54±0.13 e	37.45±5.35 a	17.42±9.06 b	12.05±3.45 c	12.41±1.92 c	9.59±0.51 d	8.54±1.02 d
耙耕无秸秆还田处理 AH	6.15±1.75 d	20.90±7.66 a	11.39±6.99 c	21.02±1.22 a	15.95±1.60 b	12.02±2.23 c	12.58±3.02 c
耙耕秸秆还田处理 PH	11.11±0.46 b	33.95±4.04 a	12.45±5.14 b	15.41±0.57 b	8.64±6.70 b	8.66±1.64 b	9.79±1.87 b
旋耕无秸秆还田处理 AR	12.11±1.76 bc	15.08±2.33 b	14.37±1.53 b	18.16±2.13 a	15.18±0.36 b	13.70±0.70 bc	11.39±0.11 c
旋耕秸秆还田处理 PR	18.78±5.53 ab	17.20±0.05 ab	11.38±1.25 b	21.94±5.96 a	12.82±0.52 b	8.57±0.60 c	9.31±0.69 c
免耕无秸秆还田处理 AN	2.64±0.07 d	34.29±3.80 a	11.29±2.59 bc	16.26±0.27 b	14.88±2.50 bc	10.75±0.00 c	9.89±1.62 c
免耕秸秆还田处理 PN	13.37±1.44 b	35.07±1.02 a	10.58±0.88 bc	11.83±2.46 bc	7.16±3.45 c	11.66±1.44 bc	9.98±0.86 bc

表中同列不同小写字母分别表示差异显著 ($P < 0.05$); AC: Conventional tillage with straw removal; PC: Conventional tillage with straw returning; AS: Subsoiling with straw removal; PS: Subsoiling with straw returning; AH: Harrow tillage with straw removal; PH: Harrow tillage with straw returning; AR: Rotary tillage with straw removal; PR: Rotary tillage with straw returning; AN: No-till with straw removal; PN: No-till with straw returning

通过表 3 可以看出, 10—20cm 土层水稳性团聚体数量多集中在以 2—5mm 和 0.5—1mm。但不同耕作措施则表现出不同的分布趋势。PS 处理水稳性团聚体主要以 0.25—5mm 粒级为主, 分布较均匀; PH 处理则以 0.25—0.5mm 粒级的水稳性团聚体为主。而 PC 处理主要集中在 2—5mm 粒级, 由此可以看出, 不同耕作措施

对 10—20cm 水稳性团聚体的数量产生了较大的影响,使之表现出不同的分布趋势。但在该层次,秸秆还田处理和无秸秆还田处理之间并没有表现出明显的规律性。

由表 4 可以看出,在 20—30cm 土层水稳性团聚体的分布要比 0—20cm 更为广泛。不同耕作措施处理表现出更为明显的分布规律。PC 处理水稳性团聚体主要集中在 0.5—1mm 粒级,PS 为 2—5mm 和 0.5—1mm 粒级,PH 和 PR 处理则广泛的分布于 0.5—5mm 粒级,而 PN 处理为 2—5mm 粒级。除 AC 和 PC 外,秸秆还田处理 0.05—0.25mm 水稳性团聚体数量要显著低于无秸秆还田处理,说明在 20—30cm 土层秸秆还田依然能影响到水稳性大团聚体的形成。另外,AH 和 AR 相对于 PH 和 PR 处理水稳性团聚体在 20—30cm 土层多呈集中趋势。

表 3 不同耕作措施和秸秆还田对 10—20cm 土层水稳性团聚体分布的影响

Table 3 Effects of different tillage and straws systems on soil water-stable aggregate distribution in 10—20 cm layer

处理 Treatments	各粒级水稳性团聚体的质量百分比/% The proportion of different water-stable aggregate size						
	5—7mm	2—5mm	1—2mm	0.5—1mm	0.25—0.5mm	0.05—0.25mm	<0.05mm
AC	3.26±0.52 d	41.61±1.21 a	10.53±0.39 bc	9.19±5.37 c	13.28±1.60 b	9.19±1.48 c	12.94±5.80 b
PC	1.94±0.69 d	39.88±7.14 a	10.95±0.68 bc	16.85±6.09 b	12.70±2.33 b	8.45±0.31 c	9.23±0.96 c
AS	5.46±3.05 d	26.86±5.48 a	5.92±0.93 d	26.84±3.52 a	15.76±7.00 b	8.02±4.01 c	11.14±1.45 bc
PS	5.56±0.68 d	20.50±1.35 a	20.20±1.72 a	14.11±3.34 b	21.53±2.91 a	8.16±0.37 c	9.95±0.98 bc
AH	7.64±1.02 d	11.46±0.07 c	13.63±2.16 c	22.40±1.39 a	18.04±1.10 b	12.96±2.21 c	13.88±2.99 c
PH	9.99±5.65 bc	10.23±2.50 bc	14.77±3.00 b	8.29±7.75 c	33.47±4.99 a	7.95±3.45 c	15.29±0.05 b
AR	12.38±3.17 c	11.10±1.62 c	11.85±2.41 c	24.28±3.91 a	12.79±4.31 c	16.07±2.86 b	11.54±4.11 c
PR	8.84±2.67 c	21.50±7.68 a	13.44±1.99 b	22.40±1.74 a	15.20±0.92 b	9.69±0.99 c	8.93±0.61 c
AN	5.03±2.18 d	26.37±10.93 a	12.68±0.74 b	25.31±2.33 a	15.34±3.38 b	7.53±1.43 c	7.73±0.88 c
PN	4.48±1.49 c	26.23±2.60 a	12.43±8.56 b	23.78±5.75 a	11.50±0.78 b	10.06±1.14 b	11.52±2.06 b

表中同列不同小写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$)

表 4 不同耕作措施和秸秆还田对 20—30cm 土层水稳性团聚体分布的影响

Table 4 Effects of different tillage and straws systems on soil water-stable aggregate distribution in 20—30 cm layer

处理 Treatments	各粒级水稳性团聚体的质量百分比/% The proportion of different water-stable aggregate size						
	5—7mm	2—5mm	1—2mm	0.5—1mm	0.25—0.5mm	0.05—0.25mm	<0.05mm
AC	2.59±1.39 c	14.70±0.99 b	13.56±1.04 b	27.05±2.46 a	22.37±3.17 a	9.67±2.22 b	10.06±2.31 b
PC	0.34±0.02 c	12.74±1.36 b	10.98±5.84 b	35.65±6.45 a	18.44±0.59 b	10.93±0.75 b	10.94±2.12 b
AS	1.49±0.23 c	21.72±2.54 a	12.71±0.42 b	20.77±1.16 a	20.80±0.34 a	11.05±0.17 b	11.46±1.05 b
PS	0.61±0.05 d	27.98±13.37 a	10.57±1.09 bc	26.61±7.33 a	15.48±1.33 b	10.18±2.35 bc	8.56±1.32 c
AH	14.84±0.30 b	14.81±7.08 b	11.51±0.35 c	20.21±2.84 a	13.34±2.93 b	12.87±0.45 bc	12.43±1.50 bc
PH	2.29±0.21 d	20.27±1.07 ab	14.92±2.64 bc	18.35±1.64 ab	22.35±5.32 a	10.71±1.45 c	11.13±1.21 c
AR	23.76±0.42 a	13.03±4.41 c	10.46±4.26 d	17.95±4.57 b	11.44±7.21 cd	9.77±0.17 e	13.59±2.75 c
PR	5.47±2.30 d	17.10±3.52 ab	16.95±3.26 ab	19.91±2.61 a	20.06±1.38 a	11.69±1.57 bc	8.81±1.09 c
AN	2.77±0.32 e	20.45±7.82 b	14.77±4.08 c	26.87±1.17 a	14.12±1.95 c	10.98±1.21 d	10.05±2.07 d
PN	14.21±0.17 bc	21.81±2.32 a	15.89±1.45 b	16.42±0.27 b	12.80±1.20 bc	8.50±0.00 d	10.38±2.47 c

表中同列不同小写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$)

2.2 不同耕作方式和秸秆还田条件下农田土壤 0—30cm 水稳性大团聚体的数量

土壤大团聚体是土壤结构最基本的单元,是土壤肥力的中心调节器,具有保证和协调土壤中的水肥气热、维持和稳定土壤疏松熟化层等作用,在一定程度上表征土壤通气性与抗蚀性^[13-14]。由表 5 可以看出,各处理水稳性大团聚体数量表现出不同的趋势,PS、PR、PH 和 PN 处理在 0—10cm 土层的水稳性大团聚体要显著高于对照 PC 处理,且秸秆还田处理显著高于无秸秆还田处理,说明保护性耕作和秸秆还田能更好的保护表层

土壤的团聚体免受侵蚀。但在 10—20cm 土层, PS 处理水稳性大团聚体数量显著高于其它处理。20—30cm 土层 PN 和 PS 处理显著高于其它处理(除 AC 外)。

2.3 耕作方式与秸秆还田及其交互效应对不同耕层土壤中水稳性大团聚体的作用力分析

通过作用力分析(表 6)可以看出,在 0—10cm 表层,秸秆是影响水稳性大团聚体数量的主要因素($P < 0.001$),而耕作和秸秆的交互效应对水稳性大团聚体数量的作用力也达到了极显著水平($P < 0.01$)。但 10—20cm 土层,影响其数量分布的主要因素是不同的耕作措施及耕作和秸秆的交互效应,两者均达到了极显著水平($P < 0.001$)。在 20—30cm,秸秆因素依然能对水稳性大团聚体数量产生重要的影响($P < 0.01$),但主要作用力来自耕作措施和秸秆的交互效应($P < 0.001$)。

表 5 各处理土壤中水稳性大团聚体的数量

Table 5 The proportion of water-stable macroaggregate in different treatments

土壤层次 Soil layer/cm	水稳性大团聚体比例 The proportion of water-stable macroaggregate $R_{0.25}/\%$									
	AC	PC	AS	PS	AH	PH	AR	PR	AN	PN
0—10	79.36 e	79.60 d	75.19 g	83.64 a	75.86 f	80.86 c	75.11 g	81.72 b	79.62 d	80.99 c
10—20	78.06 c	80.85 b	81.90 ab	83.45 a	72.51 d	76.64 d	72.41 d	80.66 b	85.03 a	78.03 c
20—30	81.94 a	79.15 b	77.54 c	80.72 ab	75.61 d	75.34 d	77.03 bc	70.83 b	78.77 b	80.50 ab

表中同行不同小写字母分别表示差异显著($P < 0.05$)

表 6 耕作方式、秸秆还田及其交互效应对各处理土壤中水稳性大团聚体的作用力分析

Table 6 Affect force analysis of different tillage methods, straw returning and their interaction on water-stable macroaggregate

差异源 Difference source	作用力 Affect force/%		
	0—10cm	10—20cm	20—30cm
区组 Block	0.23	0.73	2.09
耕作 Tillage	9.77	54.78 ***	28.40 **
秸秆还田 Straw returning	32.68 ***	0.31	19.54 *
秸秆还田×耕作 Straw returning and tillage	46.40 **	40.42 ***	40.92 ***
误差 Error	10.91	3.77	9.05

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

2.4 不同耕作措施和秸秆还田条件下不同耕层土壤水稳性团聚体的平均重量直径和几何平均直径

土壤团聚体指数 MWD 和 GMD 值是评价土壤团聚体稳定性的重要指标, MWD 和 GMD 值越大表示团聚体的平均粒径团聚度越高,稳定性越强^[11,15]。本研究表明(表 7), 0—10cm 土层,免耕、旋耕、深松和耙耕措施的 MWD 和 GMD 值要显著高于常规耕作,说明保护性耕作措施后土壤表层的水稳性团聚体稳定性要显著高

表 7 不同耕作方式和秸秆还田对 0—30cm 土壤团聚体稳定指数的影响

Table 7 Soil aggregate stability indices (MWD and GMD) under different tillage and straws systems in 0—30cm layer

处理 Treatments	平均重量直径 Mean weight diameter (MWD)/mm			平均重量直径 Mean weight diameter (MWD)/mm		
	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm
AC	1.88 c	1.92 a	1.15 g	0.90 d	0.90 b	0.60 g
PC	1.69 f	1.85 b	0.99 h	0.87 e	0.97 a	0.54 h
AS	1.61 g	1.58 d	1.28 f	0.75 g	0.76 e	0.63 f
PS	1.85 e	1.50 e	1.45 d	0.99 b	0.76 e	0.76 c
AH	1.45 i	1.25 h	1.66 c	0.66 i	0.56 g	0.72 d
PH	2.10 b	1.29 g	1.29 f	1.07 a	0.54 h	0.63 f
AR	1.57 h	1.45 f	1.82 b	0.70 h	0.63 f	0.85 b
PR	1.94 c	1.64 c	1.37 e	0.94 c	0.82 d	0.69 e
AN	1.70 f	1.63 c	1.35 e	0.84 f	0.87 c	0.69 e
PN	2.21 a	1.57 d	1.90 a	1.08 a	0.76 e	0.92 a

表中同列不同小写字母分别表示差异显著($P < 0.05$)

于常规耕作。但在 10—20cm 土层则表现出相反的趋势,常规耕作的 MWD 和 GMD 值显著高于保护性耕作处理。20—30cm 土层免耕处理 MWD 和 GMD 值显著高于其它处理。但深松和常规耕作措施处理 MWD 和 GMD 值在 0—30cm 土层一直降低,说明这两种耕作方式对 30cm 左右的土壤依然有较强烈的扰动,降低了水稳性团聚体的稳定性。综合来看,免耕相对于其它耕作方式能更好的保护土壤团聚体的稳定性。

2.5 0—30cm 的土壤有机碳含量及其与团聚体稳定性的多元回归分析

由图 1 可以看出,不同耕作措施的秸秆还田处理 SOC 含量显著高于无秸秆还田处理,这在 0—10cm 土层尤其明显,说明更多的碳在土壤表层聚积,但随着土层的加深 SOC 含量逐渐降低,而常规耕作 0—30cm 土层的有机碳含量并无显著性差异。免耕和深松耕处理 SOC 含量显著高于其它处理。

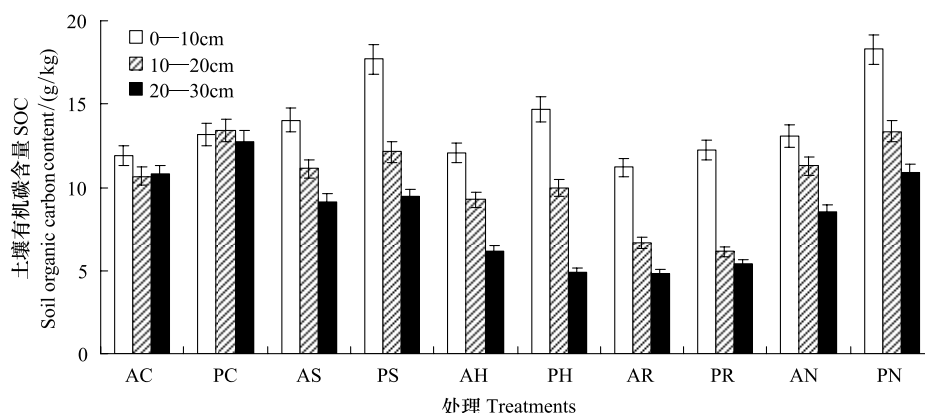


图 1 不同耕作措施和秸秆还田条件下的 0—30cm 有机碳含量

Fig.1 The content of soil organic carbon (SOC) in 0—30cm layers under different tillage and straws systems

AC: 常规耕作无秸秆还田处理 Conventional tillage with straw removal; PC: 常规耕作秸秆还田处理 Conventional tillage with straw returning; AS: 深松无秸秆还田处理 Subsoiling with straw removal; PS: 深松秸秆还田处理 Subsoiling with straw returning; AH: 耙耕无秸秆还田处理 Harrow tillage with straw removal; PH: 耙耕秸秆还田处理 Harrow tillage with straw returning; AR: 旋耕无秸秆还田处理 Rotary tillage with straw removal; PR: 旋耕秸秆还田处理 Rotary tillage with straw returning; AN: 免耕无秸秆还田处理 No-till with straw removal; PN: 免耕秸秆还田处理 No-till with straw returning

SOC 作为土壤团聚体过程中的胶结剂^[16-17],其含量显著影响着土壤团聚体的稳定性。如图 2 所示,在 0—10cm 表层,较高的 SOC 含量促进了较大的团聚体的稳定性 ($R^2 = 0.71$, $P < 0.01$),但在 10—30cm 两个层次, SOC 并不是影响团聚体稳定性的主要因素。

3 讨论与结论

本研究结果表明,不同耕作措施处理的水稳性大团聚体在 0—10cm, 10—20cm 和 20—30cm 土层表现出不同的分布趋势(表 2—表 4),说明不同耕作方式由于对土壤的耕作深度、扰动程度等方面的差异,造成水稳性团聚体分布的差异。随着土层的加深,水稳性团聚体的分布范围呈扩大趋势,说明各处理水稳性团聚体粒径逐渐减小,大团聚体数量逐渐降低,其中常规耕作和深松处理尤其如此,从 MWD 和 GMD 值进一步印证了此结论(表 7),说明这两种耕作方式对 30cm 左右的土壤扰动强烈,降低了水稳性团聚体的稳定性。另一方面,不同耕作措施的秸秆还田处理水稳性团聚体的数量显著高于无秸秆还田处理,说明秸秆还田显著影响了水稳性大团聚体的数量和稳定性(表 5,表 7)。作用力分析进一步说明,耕作、秸秆还田和两者交互效应是影响土壤水稳性团聚体在不同土层分布和稳定性的重要因素(表 6)。

不同耕作措施对土壤水稳性团聚体的分布和稳定性已有较多的报道^[18-20]。本文结果表明,免耕、耙耕和旋耕处理的 MWD 和 GMD 值在 0—10cm 和 20—30cm 高于 10—20cm,说明旋耕和耙耕处理降低了 10—20cm 水稳性团聚体的稳定性,但这两种耕作方式产生的犁底层大致在 20—30cm 左右,使 20—30cm 的团聚体免受机械作用破坏使其稳定性增加。免耕处理更能有效地保护表层土壤水稳性团聚体的稳定性,这与梁爱珍等研究结果一致^[18]。免耕条件下土壤结构受到保护, SOC 含量高(图 1),土壤颗粒胶结作用增强,促进土壤的团

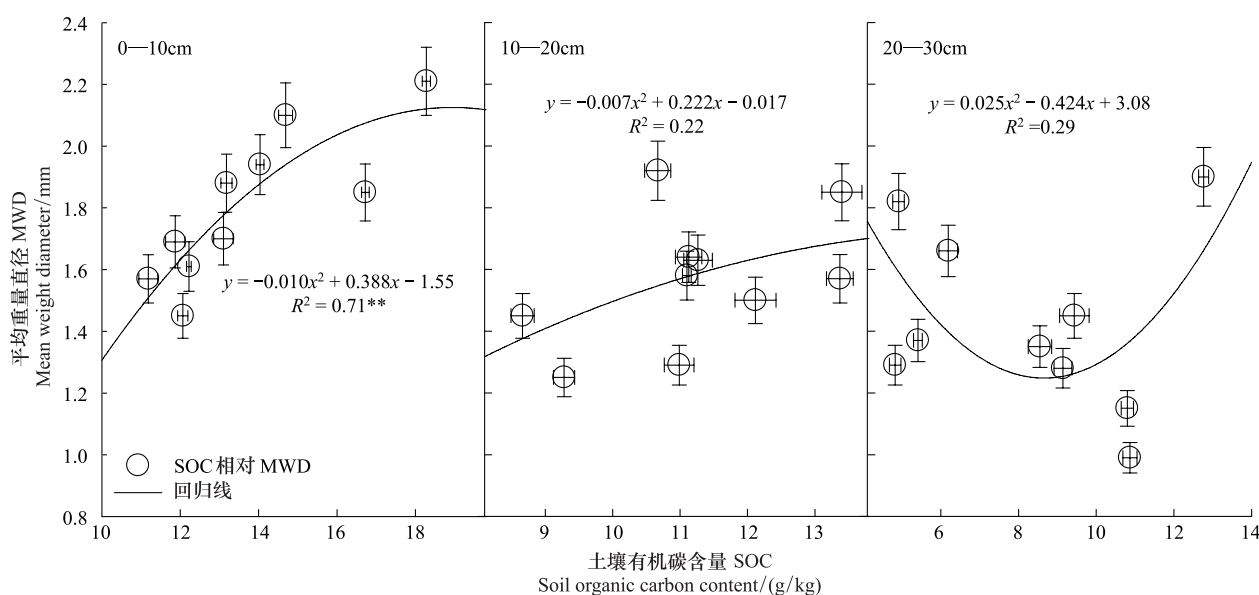


图 2 0—30cm 各土层的有机碳含量与 MWD 的多元回归分析

Fig.2 The multiple regression analysis between SOC and MWD in 0—30cm layer

聚作用,大粒级团聚体含量增加,稳定性也相应增强^[21]。有研究表明,免耕处理不翻动土壤,秸秆还田后土壤有机质有在表层土壤富集的现象^[22],而土壤有机质是团聚体分级的主要胶结剂,水稳性团聚体的形成,必须有赖于土壤中的有机质^[16-17],免耕处理下较慢的大团聚体周转,有利于大团聚体中更多微团聚体的产生,更有利于增加土壤团聚体稳定性。但在 10—20cm 稳定性降低可能是由于该层根系的密集分布导致团聚体生物稳定性降低^[23-24]。

各耕作措施处理秸秆还田后能显著提高土壤的 SOC 含量,且 0—10cm 土层的 SOC 含量显著高于 10—30cm(图 1)。而作为团聚体胶结物质的有机质含量升高,一定程度上有利于提高水稳性团聚体的稳定性^[21]。多元回归分析进一步表明,0—10cm 的 SOC 含量与水稳性团聚体的稳定性回归关系达到极显著水平(图 2),但在 10—30cm 两者并无显著性关系(图 2),说明秸秆还田通过影响土壤中的 SOC 含量来影响水稳性团聚体稳定性。但是当秸秆不是主要决定因素时,其稳定性又取决于耕作或两者的交互效应。

而两者的交互效应更多的是通过耕作作业使土壤和秸秆充分混合后,在土壤微生物作用下产生的一种综合生态效应^[25],而不同的耕作措施条件下其与秸秆在土壤中产生了不同的交互效应。例如常规耕作和免耕,常规耕作表层和 30 cm 左右的土壤和秸秆隔年翻换,从而使各土层有机碳含量相对均衡、稳定,但翻耕后,土壤中易矿化的 SOC 因不断被矿化而损失,造成含量偏低(图 1),且剧烈的扰动造成团聚体稳定性降低(表 7)。而免耕保持了原有的土壤结构,SOC 含量高(图 1),土壤团聚体具有较高的稳定性(表 7)。由此可见,两者的相互作用不仅影响土壤中的 SOC 含量,而且能进一步通过微生物作用影响土壤团聚体的团聚和裂解,导致团聚体稳定性的差异^[26-27]。

许多团聚体稳定性研究由于过多注重耕作因素的扰动造成的差异,而忽视了秸秆因素在团聚体稳定性方面的重要作用,秸秆还田后不但可以显著提高土壤耕层的 SOC 含量,还能增加耕作对土壤过度干扰的阻力^[10],影响真菌等微生物的活性而影响团聚体的生物稳定性^[27]。了解耕作因素、秸秆因素及两者的交互作用对团聚体稳定性的多重影响,对研究农田土壤团聚体的分布和稳定机制以及土壤团聚体碳库具有重要意义。不同耕作措施对土壤有机质和团聚体的强烈影响仍是目前影响农田土壤固碳减排的主要因素,针对稳定的团聚体对有机碳物理保护作用以及有机质作为土壤团聚体的重要胶结剂,结合目前的研究现状,需进一步研究和阐明不同耕作措施和秸秆还田及其交互效应下土壤团聚体和土壤有机碳的相互作用及土壤固碳机制,

这对于不同地区的农田土壤固碳减排研究具有十分重要的意义。

References:

- [1] Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. A review on relationship between soil organic carbon pools and soil structure stability. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4): 618-623.
- [2] Lal R, Kimble J M. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 49: 243-253.
- [3] Madari B, Machado P L O A, Tortes E, Torres L, Andrade A G, Valencia L I O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 2005, 80: 185-200.
- [4] Wang Q K, Wang S L. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 36(3): 415-421.
- [5] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50: 627-633.
- [6] Mbagwu J S C, Bazzoffi P. Effect of tillage measure on soil aggregate properties. *Soil Use and Management*, 1989, 5(4): 180-187.
- [7] Salako F K, Hauser S. Influence of different fallow management systems on stability of soil aggregates in Southern Nigeria. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32: 1483-1498.
- [8] Perfect E, Kay B D. Fractal theory applied to soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55: 1552-1558.
- [9] Cambardella C A, Elliott E T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(1): 123-130.
- [10] Barreto R C, Madari B E, Maddock J E L, Machado P L O A, Torres E, Franchini J, Costa A R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, 132: 243-251.
- [11] Zhou H, Lu Y Z, Yang Z C, Li B G. Effects of conservation tillage on soil aggregates in Huabei Plain, China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [12] Du R Q. *Biostatistics*. Beijing: Higher education press, 2003: 124-126.
- [13] Shi Y, Chen X, Shen S M. Stable mechanisms of soil aggregate and effects of human activities. *China Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11): 1491-1494.
- [14] Li Y B, Wei C F, Xie D T, Gao M. The features of soil water-stable aggregate before and after vegetation destruction in Karst Mountains. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(10): 232-234.
- [15] Nimmo J R, Perkins K S. Aggregates stability and size distribution//*Methods of Soil Analysis, Part 4-Physical Methods*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 2002: 317-328.
- [16] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 1982, 33: 141-163.
- [17] Oades J M, Waters J M. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 1991, 29: 815-828.
- [18] Liang A Z, Zhang X P, Yang X M, McLaughlin N, Shen Y L, Li W F. Short-term effects of tillage on soil aggregate size distribution and stability in black soil in Northeast China. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(1): 154-158.
- [19] Zhang G, Cao Z P, Hu C J. Soil organic carbon fractionation methods and their applications in farmland ecosystem research: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1921-1930.
- [20] Lopez M V, Blanco-Moure N, Limon M A, Gracia R. No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. *Soil & Tillage Research*, 2012, 118: 61-65.
- [21] Dai J, Hu J L, Lin X G, Zhu A N, Yin R, Zhang H Y, Wang J H. Effects of non-tillage on content of organic carbon and microbial carbonic metabolism of soil aggregates in a fluvo-aquic soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(5): 923-930.
- [22] Tian S Z, Ning T Y, Wang Y, Li H J, Zhong W L, Li Z J. Effects of different tillage methods and returning straw on soil organic carbon content in wheat field. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 373-378.
- [23] Angers D A, Samson D, Legeed A. Early change in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canada Journal of Soil Science*, 1993, 73: 51-59.
- [24] Huang C Y. *Soil Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 50-65.
- [25] Freebairn D M, Loch R J, Silburn D M. Soil erosion and soil conservation for vertisols//Ahmad N and Mermut A, eds. *Developments in Soil Science*, 1996, 24: 303-362.
- [26] Martins M R, Cora J E, Jorge R F, Marcelo A V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. *Soil & Tillage Research*, 2009, 104: 22-29.
- [27] Pramod J, Nikita G, Lakaria B L, Biswas A K, Rao A S. Soil and residue carbon mineralization as affected by soil aggregate size. *Soil & Tillage Research*, 2012, 121: 57-62.

参考文献:

- [1] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展. *土壤学报*, 2004, 41(4): 618-623.
- [4] 王清奎, 汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素. *土壤通报*, 2005, 36(3): 415-421.
- [10] 周虎, 吕贻忠, 杨志臣, 李保国. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [12] 杜荣骞. *生物统计学(第二版)*. 北京: 高等教育出版社, 2003: 124-126.
- [13] 史奕, 陈欣, 沈善敏. 土壤团聚体的稳定机制及人类活动的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(11): 1491-1494.
- [14] 李阳兵, 魏朝富, 谢德体, 高明. 岩溶山区植被破坏前后土壤团聚体稳定性研究. *中国农学通报*, 2005, 21(10): 232-234.
- [18] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明, Neff McLaughlin, 申艳, 李文凤. 耕作对东北黑土团聚体粒级分布及其稳定性的短期影响. *土壤学报*, 2009, 46(1): 154-158.
- [21] 戴珏, 胡君利, 林先贵, 朱安宁, 尹睿, 张华勇, 王俊华. 免耕对潮土不同粒级团聚体有机碳含量及微生物碳代谢活性的影响. *土壤学报*, 2010, 47(5): 924-930.
- [22] 田慎重, 宁堂原, 王瑜, 李洪杰, 仲惟磊, 李增嘉. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 373-378.
- [24] 黄昌勇. *土壤学*. 北京: 中国农业出版社, 2000: 50-65.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.22 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The review of methods for mapping species spatial distribution using presence/absence data LIU Fang, LI Sheng, LI Diqiang (7047)
- A research review of landscape service LIU Wenping, YU Zhenrong (7058)
- Progress on techniques for partitioning soil respiration components and their application in cropland ecosystem CHEN Minpeng, XIA Xu, LI Yinkun, MEI Xurong (7067)

Autecology & Fundamentals

- Effect of different stubble height treatments on the annual growth index and physiological characteristics of *Tetraena mongolica* in two growing seasons WANG Zhen, ZHANG Liwen, YU Yi, et al (7078)
- Photosynthetic characteristics of an endangered species *Tetrameles nudiflora* under different light and water conditions DENG Yun, CHEN Hui, YANG Xiaofei, et al (7088)
- The compensation capacity of tillering and production of main stem nodes in rice WEI Ming, LI Dongxia (7098)
- Simulation of leaf area and dry matter production of tobacco leaves based on product of thermal effectiveness and photosynthetically active radiation ZHANG Mingda, LI Meng, HU Xueqiong, et al (7108)
- Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain TIAN Shenzhong, WANG Yu, LI Na, et al (7116)
- Effects of the *Larix gmelinii* grown under different light intensities on the development and defensive enzyme activities of *Lymantria dispar* larvae LU Yifang, YAN Junxin, LI Shuangwen, et al (7125)
- Biological control efficiency of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) under different spatial and caged conditions MO Lifeng, ZHI Junrui, TIAN Tian (7132)
- Preliminary study on scavenging mechanism of dissolved aluminum by phytoplankton WANG Zhaowei, REN Jingling, YAN Li, et al (7140)
- Leaf-form characteristics of plants in *Quercus aquifolioides* community along an elevational gradient on the Balang Mountain in Wolong Nature Reserve, Sichuan, China LIU Xingliang, HE Fei, FAN Hua, et al (7148)
- Comparison of shrimp density between the Minjiang estuary and Xinhua bay during spring and summer XU Zhaoli, SUN Yue (7157)
- The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon ZHENG Xinqing, HUANG Lingfeng, LI Yuanchao, et al (7166)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of four different agricultural prevention and control measures on rice yellow stem borer *Tryporyza incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) ZHANG Zhenfei, HUANG Bingchao, XIAO Hanxiang, et al (7173)
- Soil nitrogen concentrations and transformations under different vegetation types in forested zones of the Loess Gully Region XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (7181)
- Ecosystem health assessment based on diagnosis CAI Xia, XU Songjun, CHEN Shanhao, et al (7190)
- The production and accumulation of phytoliths in rice ecosystems: a case study to Jiaxing Paddy Field LI Zimin, SONG Zhaoliang, JIANG Peikun (7197)
- Application of a free search-based projection pursuit model in investigating reed in wetlands LI Xinhua, ZHAO Chengyi (7204)

- Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains
..... LIU Bingru, ZHANG Xiuzhen, HU Tianhua, et al (7211)
- Effects of shrub encroachment on biomass and biodiversity in the typical steppe of Inner Mongolia
..... PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (7221)
- Research on diaspore morphology and species distribution of 80 plants in the hill-gully Loess Plateau
..... WANG Dongli, ZHANG Xiaoyan, JIAO Juying, et al (7230)
- Habitat suitability assessment of blue sheep in Helan Mountain based on MAXENT modeling
..... LIU Zhensheng, GAO Hui, TENG Liwei, et al (7243)
- Characteristic of phytoplankton primary productivity and influencing factors in littoral zone of Lake Taihu
..... CAI Linlin, ZHU Guangwei, LI Xiangyang (7250)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Responses of soil respiration to changes in depth of seasonal frozen soil in Ebinur Lake area, arid area of Northwest China
..... QIN Lu, LV Guanghui, HE Xuemin, et al (7259)
- Seasonal and annual variation characteristic in basal soil respiration of black loam under the condition of farmland field
..... ZHANG Yanjun, GUO Shengli, LIU Qingfang, et al (7270)
- Resource and Industrial Ecology**
- Economic evaluation and protection of *Amygdalus mira* genetic resource ZHANG Lirong, MENG Rui, LU Guobin (7277)
- Meteorological grading indexes of water-saving irrigation for cotton XIAO Jingjing, HUO Zhiguo, YAO Yiping, et al (7288)
- Research Notes**
- Sprouts characteristic structure of *Taxus yunnanensis* plantation SU Lei, SU Jianrong, LIU Wande, et al (7300)
- The effects of forest conversion on soil N mineralization and its availability in central jiangxi subtropical region
..... SONG Qingni, YANG Qingpei, YU Dingkun, et al (7309)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 杨志峰

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 22 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 22 (November, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元