

覆盖作物及耕作方法对土壤丝状真菌生物量的影响

昭日格图^{1*}, 陆洪省², 李桂江², 小松崎将一¹, 太田宽行¹

1. 日本国立大学法人茨城大学农学部, 日本 300-0306; 2. 山东科技大学化工学院, 青岛 山东 266510

摘要: 以日本国立大学法人茨城大学农学部田间科学教育研究中心附属农场为研究对象, 在不同季节(2004年5月、10月和2005年5月、10月)对农田采取旋耕、犁耕和免耕处理, 并在每一耕作处理区分别种植黑麦(*Secale cereale* L.)、毛野豌豆(*Vicia villosa* Roth)和杂草(休闲处理对照区), 来研究覆盖作物及耕作方法对土壤中真菌生物量的影响效果。结果表明, 在免耕处理区, 覆盖黑麦、毛野豌豆和杂草的土壤表层(0~10 cm)中, 其真菌的生物量均分别高于相应覆盖物的深层土壤(10~30 cm)中真菌的生物量, 并且覆盖黑麦的土壤表层中真菌的生物量比覆盖毛野豌豆的高很多, 在2004年5月和10月测得的土壤表层中, 覆盖黑麦的真菌生物量分别是覆盖毛野豌豆的1.2和1.8倍, 在2005年5月和10月, 分别是1.6和1.2倍。对旋耕和犁耕处理区, 在不同深度的土层和覆盖物的条件下, 真菌生物量均没有明显变化。从上述结果, 不同的耕作方式和覆盖不同的作物都会影响土壤中真菌的生物量, 并且, 免耕和覆盖黑麦相结合, 对土壤表层中的真菌生物量影响最为显著。另外, 在不同的土壤层之间, 表层中的真菌生物量要高于深层土壤。

关键词: 覆盖作物; 耕作方法; 真菌生物量

中图分类号: S154.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906(2009)06-2287-07

近年, 国际上对关于循环型社会构筑问题的认知不断提高, 特别是环境保全型农业的实现备受关注。其中, 作为“土质改良”“化学肥料的消减”及“农药的消减”的对策技术, 覆盖作物和绿肥的利用备受关注。覆盖作物可增加土壤肥力, 改良土壤理化性质, 保护土壤免遭风蚀和水侵蚀^[1-2]。在冬季, 农田覆盖豆科作物能够为来年夏季作物提供氮肥, 而在秋季, 覆盖非豆科作物还可以吸收剩余氮肥并防止其随地下水流失^[3]。此外, 收获后的覆盖作物残留体还能增加土壤中微生物群体的数量和多样性, 从而一定程度上改变农业生态系统的多样性。同时, 微生物群体、数量的增加, 反过来会促进土壤结构的更加合理化和土壤营养成分的良性循环^[4]。因此, 对覆盖作物土壤中微生物群体社会的研究已经成为反映土壤质量变化的非常有效的途径^[5]。环境保全型农业技术的土质改良现常采用堆肥, 但覆盖作物的利用能够从作物体系及农作业体系全体上进行改善, 被认为在对地域环境的保全和农作业生产性的维持向上的调和的视点上是堆肥所不能做到的。除了覆盖作物会影响微生物群体数量的变化外, 不同的耕作方法, 通过对土壤物理性质和作物秸秆在土壤中分布的影响, 也会引起土壤中微生物社会群体的改变^[6]。很多研究表明, 免耕和适当的作物轮作种植方式能增加土壤中微生物种群数

量^[7], 包括农业有益微生物, 如固氮根瘤菌和菌根真菌等^[8-11]。但不同耕作方法和覆盖作物的组合对微生物生态的影响, 特别是对真菌的研究很少。在土壤微生物中真菌占有很大的比例^[12], 参与着很多重要的物质代谢过程, 如白色腐朽菌(*Phanerocheate chrysosporium*), 不但对木质素, 连难分解的1,4-二氧杂环己二烯也能完全分解成二氧化碳^[13]。另外, 占土壤真菌很大比例的Arbuscule菌根菌^[14]对植物的多样性有很大的影响^[15]。除此以外, 还存在能够引起植物病的植物病原菌等的具有各种各样机能的真菌。所以掌握好真菌的生物量对改善土壤结构, 增强肥力及作物生产有着非常重要的意义。不同种类的真菌, 其麦角甾醇(Ergosterol)的含量是不一样的^[16-26]。麦角甾醇量常被用作衡量活真菌生物量的指标。本文主要研究用麦角甾醇含量来推定土壤真菌生物量的可行性及在覆盖不同作物以及无覆盖作物(裸露地)的条件下, 结合犁耕、旋耕和免耕三种不同的耕作方法对土壤中真菌生物量变化的影响, 以期利用覆盖作物对研究环境保全农业技术及土壤生态研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验场地及实验设计

试验是在日本国立大学, 法人茨城大学农学部田间科学教育研究中心附属农场进行的, 土壤为火

基金项目: This work was supported in part by MEXT through Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology, as a part of the research project for “Sustainable agriculture practices to mitigate and adapt to global warming” undertaken by the Institute for Global Change Adaptation Science, Ibaraki University

作者简介: 昭日格图(1974年生), 男(蒙古族), 研究员, 博士, 研究方向为微生物生态、土壤环境学、水质净化。E-mail: zhaori@mx.ibaraki.ac.jp

收稿日期: 2009-10-09

山岩土(土性: CL, LiC)。试验由不同耕作方法(旋耕、犁耕和免耕)、不同种类的覆盖作物(黑麦(*Secale cereale* L.)和毛野豌豆(*Vicia villosa* Roth))及不同施肥量等因素随机分配的四个重复体系组成。覆盖作物品种及播种量分别为黑麦 50 kg·hm⁻²和毛野豌豆 100 kg·hm⁻²。同时,以休闲地为对照区,并将杂草作为休闲地的覆盖物来考察。杂草种类主要有 *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic, *Veronica persica* Poir., *Lamium amplexicaule* L. 和 *Erigeron philadelphicus* L. 于2004年4月1日和2005年4月8日进行施肥作业,施肥量为 N 100 kg·hm⁻²。

本试验从2003年10月到2005年10月在施肥区实施的。黑麦和毛野豌豆是在每年的秋季(2003年10月15日和2004年10月29日)种植的。次年的春季(2004年4月1日和2005年4月8日)用甩刀式割草机进行覆盖作物的割倒作业。覆盖作物割倒3日后,进行耕耘作业。犁耕作业采用双铧翻转犁,耕深30 cm,旋耕作业采用下切悬挂式旋耕机,耕深15 cm。两种耕耘作业后所有试验地于2004年4月28日和2005年4月25日播种早稻作为夏季栽培作物,早稻分别在2004年10月6日和2005年10月12日收获。

1.2 土壤取样

土壤取样是在早稻种植约2周后和收获2天前(2004年5月14日、10月4日和2005年5月16日、10月6日)以每个因素4个反复,并且分别从土深0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm 土层里进行取样的,土壤样品取回后保存于4℃的冰箱里待用。

1.3 土壤物理化学性质的分析

把少量土壤样品自然风干,通过2 mm孔径的筛子后,用 Schollenberger^[27]方法测定土壤阳离子交换容量(CEC)。土壤 pH 和土壤电导率(EC)是在样品和去离子水的比例为1:5的水悬液中测定的。土壤有机物和无机物含量分别采用 Ball^[28]和 Bremner^[29]的方法测定的。耕作方法和覆盖作物种类对土壤理化性质的影响是用 StatView 分析软件(SAS Institute, Carry, NC, USA)来进行分散分析的。

1.4 土壤中真菌生物量的测定

麦角甾醇(Ergosterol)是类固醇的一种,常被用作衡量活真菌生物量的指标。但麦角甾醇含量的测定是不稳定的,本文采用 MAE (Microwave-Assisted Extraction)方法^[23]从土壤中提取麦角甾醇,再用高效液相色谱仪(HPLC)来测定麦角甾醇的含量。因抽提方法不同,麦角甾醇含量也会发生变化,因此本研究采用两种提取方法对麦角甾醇的回收量进行了研究。

方法1:称取2 g 土壤放入27 ml 可以密封的试

管里,分别加入市贩的标准麦角甾醇(Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) 0、0.5、1、2、4 μg,最后再分别加入4 ml 甲醇和1 ml 浓度为2 mol·L⁻¹的NaOH,混合后用螺帽密闭试管,放入1 L的塑料瓶中,并用瓶盖密封瓶口。将密封口的塑料瓶在功率为500 W 的微波炉中加热20 s,取出自然冷却15 min 后再加热15 s。最后取出试管并自然冷却15 min 后在反应液中加入浓度1 mol·L⁻¹的盐酸2 ml 充分混合,然后再向混合液中加入6 ml 的戊烷,充分搅拌后离心(1 000 rpm·min⁻¹) 10 min。抽取有机层,加热蒸发浓缩后用甲醇溶解回收,用反相 HPLC (Tosoh, Tokyo, Japan)测定回收液中的麦角甾醇含量,分离柱为 Super ODS (100 mm×4.6 mm),流速为1.0 ml·min⁻¹,用甲醇作为流动相,检测波长为282 nm。

方法2:称取2 g 土壤加入到27 ml 可密封的试管里,再分别加入从土壤中分离并已判定为 *Byssosascus striatosporus* 的真菌(干重)0、78、150、380 mg,麦角甾醇的分离和测定方法同方法1。

2 结果与讨论

2.1 试验期间的天气状况

试验期间天气的状况见图1。年间平均气温和降雨量分别为2004年17.5℃,1606 mm,2005年为16.2℃,971 mm。土壤取样期间(5月和10月)

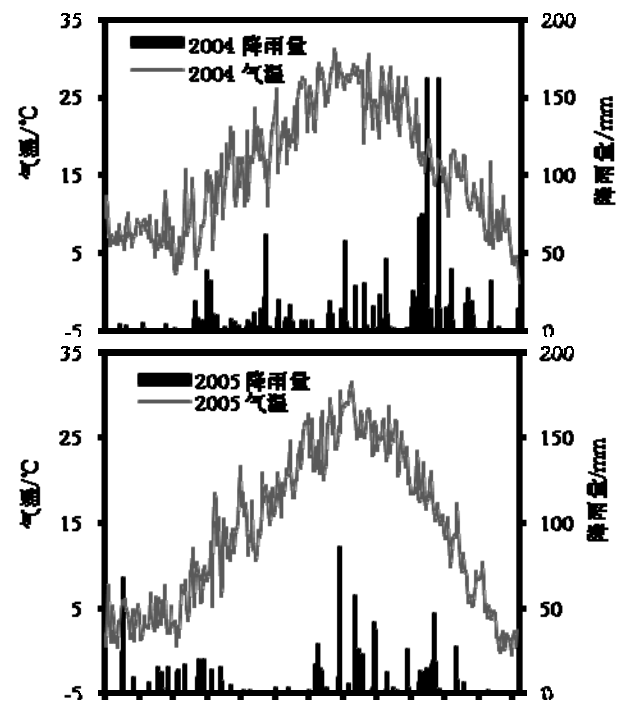


图1 实验期间的气温和降雨量

Fig.1 Annual temperature and rainfall during the experimental period

气温和降雨量是参考茨城大学农学部 FS 中心的观测数据作成的。线表示气温;棒表示降雨量;J: 1月;F: 2月;M: 3月;A: 4月;M: 5月;J: 6月;J: 7月;A: 8月;S: 9月;O: 10月;N: 11月;D: 12月

的月平均气温，2004年分别为17.9℃和15.9℃，2005年分别为15.8℃和17.3℃。平均月降雨量2004年5月和10月分别为154mm和644mm，2005年5月和10月分别为11.5mm和163mm。由于2004年10月发生台风，引起了大幅度的降雨，2004年的平均气温和降雨量均比2005年高，特别是降雨量约高出近1倍。

2.2 土壤物理化学特性

耕作方法和覆盖作物种类对土壤物理化学性质的影响(表1)。分析土壤为2005年5月，深度为0~10cm的表层土壤。在不同的耕作方法和覆盖不同种类作物的条件下，土壤各处理区之间的CEC(22.3~24.3 cmol·kg⁻¹)、pH值(6.1~6.7)以及土壤有机物含量(15.4%~16.6%)基本没有差异，而土壤EC值(59~106 mS·cm⁻¹)出现了较小的差异，但没有显著差异出现。

土壤无机氮含量在不同的处理区之间出现了明显的差异，并且在覆盖作物之间发现了显著差异(P<0.05)。免耕(N 10.9~13.3 mg·kg⁻¹)和犁耕(N 7.1~13.3 mg·kg⁻¹)的土壤无机氮含量比旋耕(N 7.6~8.9 mg·kg⁻¹)略高一些。

2.3 土壤真菌生物量

2.3.1 麦角甾醇抽取法的检讨

用麦角甾醇标准液来求麦角甾醇回收率的实验结果见图2(A)。添加的麦角甾醇量和回收到的麦角甾醇量之间有很高的相关系数(R²=0.9926)。但是通过直线的斜度来求麦角甾醇的回收率却只有61.2%。这可能是由于添加的麦角甾醇标准液被土壤吸收了一部分而导致回收率下降。

另外，用纯培养的真菌的干物质添加到土壤样品中来测定麦角甾醇的回收量，结果如图2(B)所示。从图可见，添加的真菌干物重量和回收的麦角

表1 试验区土壤的物理化学性质
Table 1 The chemical properties of soil

处理方法/分析项目	有机物含量/%	w(无机N)/(mg·kg ⁻¹)	CEC/(cmolc·kg ⁻¹)	pH	EC/(μS·cm ⁻¹)	w(C)/w(N)
免耕						
毛野豌豆	16.2±0.75	13.3±0.15	24.3±0.25	6.1±0.35	77±9.45	10.0±1.15
黑麦	16.6±0.98	11.4±0.72	24.2±0.57	6.4±0.29	87±9.00	10.1±0.42
休闲地	15.9±0.46	10.9±0.32	24.3±0.76	6.5±0.31	83±1.91	9.8±1.03
旋耕						
毛野豌豆	15.4±0.12	7.6±0.86	23.9±1.65	6.3±0.24	74±4.95	9.6±0.38
黑麦	15.5±0.73	8.5±0.73	22.3±2.69	6.2±0.16	76±3.69	10.0±0.17
休闲地	15.5±0.40	8.9±0.77	23.8±0.23	6.3±0.10	106±1.85	10.0±0.24
犁耕						
毛野豌豆	16.3±0.54	7.1±0.88	22.7±0.55	6.5±0.28	94±6.89	10.3±0.62
黑麦	16.6±1.70	12.3±0.99	23.1±0.75	6.5±0.21	59±6.23	10.2±0.71
休闲地	16.3±1.72	13.3±0.68	22.9±1.51	6.7±0.45	94±3.41	10.2±0.62
耕作方法(T)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
覆盖作物种类(CC)	NS	*	NS	NS	NS	NS
T×CC	NS	NS	NS	NS	NS	NS

试验数据为2005年分析数据。2004年和2005年数据没有明显变化，所以数据没有给出。*和NS分别代表0.05%内的显著差异和差异不显著。

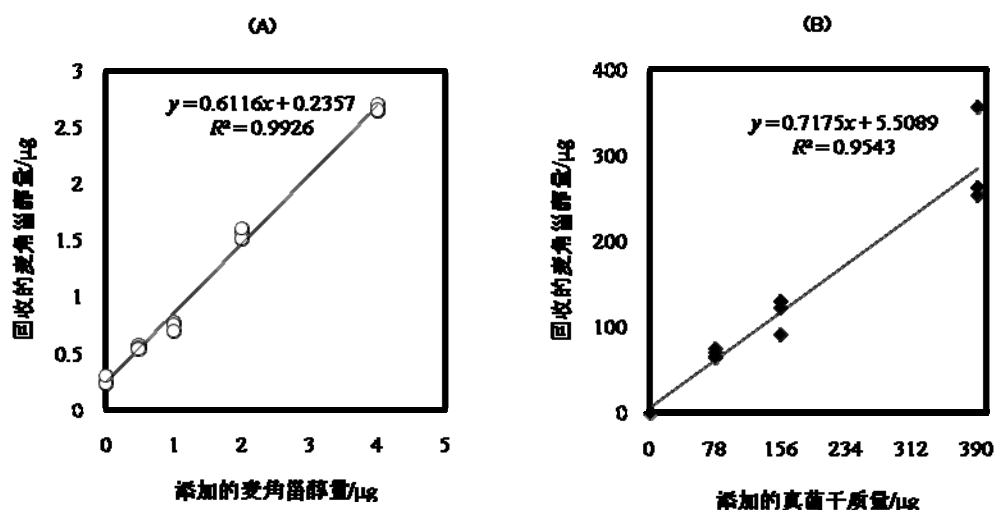


图2 添加的麦角甾醇(A)和添加的真菌干质量(B)与回收麦角甾醇量的相互关系
Fig.2 The relation between added ergosterol(A), dry fungal(B) and recovered ergosterol

甾醇量之间也呈现了很高的相关系数($R^2=0.9543$)。这表明用此方法可以有效地反映出随土壤中真菌的生物量的增加,麦角甾醇含量也随之递增,能够通过测定麦角甾醇含量来有效地反应出真菌生物量的变化。

2.3.2 土壤中真菌生物量的年间变化

土壤麦角甾醇含量的年间变化和土层分布的关系(图3)。对2004年和2005年0~10 cm土壤层,由于覆盖作物,旋耕和免耕处理区的麦角甾醇含量(真菌生物量)比犁耕处理区有很大提高,特别是免耕区,由于覆盖作物的投入使麦角甾醇含量增加的

倾向更为显著。从总体看,在不同的耕作区中,覆盖了黑麦的土壤麦角甾醇的含量要高于覆盖了毛野豌豆的土壤。其中,免耕处理区在2004年5月和10月黑麦区土壤的麦角甾醇含量分别为1.37和2.24 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,是免耕毛野豌豆区土壤中麦角甾醇含量的1.2和1.8倍。从2004年5月和10月的三个处理区来看,免耕处理区的麦角甾醇含量在覆盖黑麦和毛野豌豆都分别高于5月免耕处理区土壤。而在犁耕区,2004年与2005年两个月份的麦角甾醇的含量变化不大,而且覆盖黑麦与毛野豌豆土壤的麦角甾醇含量差异不大。

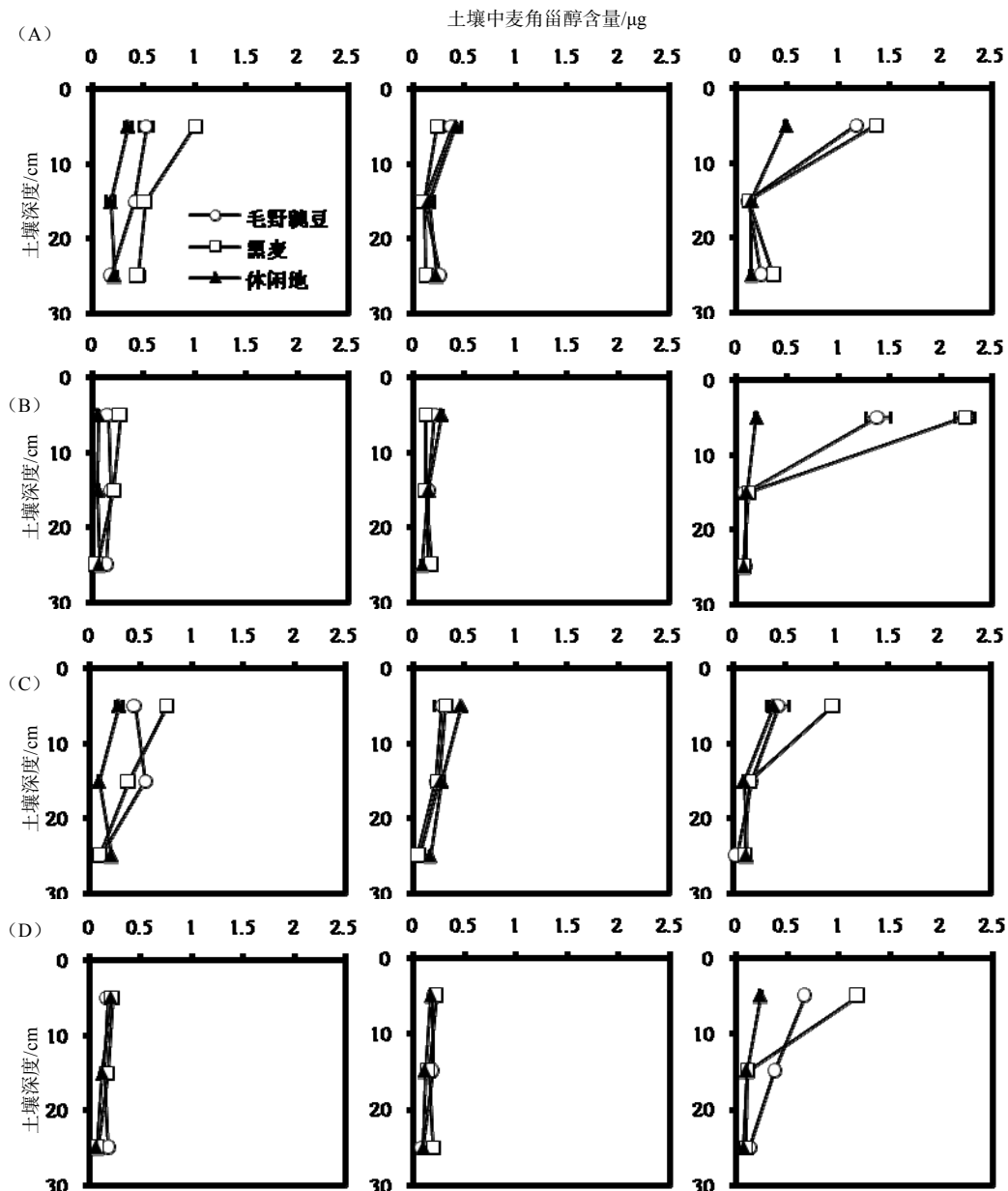


图3 在不同耕作方法和覆盖作物下土壤麦角甾醇含量的年间变化

Fig.3 Changes of ergosterol contents under the different tillage practices and covering crops in experimental period
土壤样品采取时间: (A)2004年5月; (B)2004年10月; (C)2005年5月; (D)2005年10月; 横棒代表标准偏差。

对 2004 年和 2005 年的 10~30 cm 土壤层，耕作方法和覆盖作物的不同对麦角甾醇含量的影响不大。而旋耕和免耕的覆盖作物区比休闲地的麦角甾醇含量有所增加，犁耕基本没有变化。另外，免耕区的 10~30 cm 土壤层比 0~10 cm 土壤层麦角甾醇含量要小得多，旋耕区土层分布的变化没有免耕明显。这可能是因为，免耕区的覆盖作物由于没有耕作作业，所以分布在表层，而旋耕区由于覆盖作物被切碎翻入土中，所以分布比较均匀。2005 年，麦角甾醇含量在全区域普遍比 2004 年减少。这可能是由于 2005 年的平均气温和降雨量均低于 2004 年，影响了覆盖作物及主作物的生长，使干质量减小，真菌的营养物质减少，导致真菌生物量减少。

2.3.3 不同耕作方法和覆盖作物对真菌生物量的影响

2004 年和 2005 年的土壤麦角甾醇含量根据不同处理因素总结后结果见图 4。在 0~10 cm 土壤层，免耕的覆盖作物投入区的土壤麦角甾醇含量最多，其次为旋耕。但休闲地区，三种耕作方法的差异不大。在 10~20 cm 土壤层，旋耕的覆盖作物投入区的土壤麦角甾醇含量最多，犁耕和免耕相差不大。而在 20~30 cm 土壤层，三种耕作方法和覆盖作物种类之间没有差异。这可能和耕作深度有关，旋耕的耕深为 15 cm，犁耕为 30 cm。使得 10~20 cm 土壤层中旋耕区的麦角甾醇含量增加。

另外，把 0~30 cm 土壤层的麦角甾醇含量综合起来看(表 2)，免耕比旋耕和犁耕麦角甾醇含量高，黑麦比毛野豌豆和休闲地麦角甾醇含量高。免耕能够促进真菌生物量的增加。黑麦比毛野豌豆更适合真菌生物量的增加。

3 结论与讨论

本研究表明，不同的耕作方法和覆盖作物对真菌生物量有显著的影响。特别是 2004 年免耕土壤中真菌的生物量高出耕地土壤的 1.7~2.5 倍，这与 Frey^[30]等的研究结果非常一致，他得出了免耕土壤

表 2 不同耕作方法和覆盖作物种类对麦角甾醇总含量的影响

Table 2 The influence of the different tillage practices and covering crops on the total contents of ergosterol in deep soil layer $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

年月/处理方法	2004 年	2005 年
耕作方法		
旋耕	5.1b	4.4b
犁耕	3.5c	3.6b
免耕	8.6a	5.6a
覆盖作物		
毛野豌豆	6.1b	4.5b
黑麦	7.8a	5.6a
休闲地	3.5c	3.4c

数据为 0~30 cm 土壤层的总和。^a 同列中不同小写字母间差异显著 ($P<0.05$)。

中真菌生物量比耕地土壤多 1.9~2.5 倍的结果。2005 年耕地的总真菌生物量的变化不大，但免耕土壤中真菌生物量却减少了 35%，由此得出免耕条件下真菌生物量比耕地条件更易受温度、降雨量等自然条件变化的影响。另外，本研究也发现真菌主要是集中在土壤表层，表层真菌生物量平均约为深层的 2.8 倍。特别是不同耕地条件，免耕条件下更为显著，表层真菌生物量平均约为深层的 5 倍。Holland 和 Coleman^[31]在比较小麦残渣直接铺在土壤表面和耕入土壤深层的真菌生物量时发现，土壤表层中的真菌量要比土壤底层多。这可能是，一方面土壤表层的作物残渣为真菌的生长提供了足够的养分，另一方面真菌比细菌更容易受耕耘作业的影响而发生搅乱的影响^[32]。另外，覆盖作物对真菌生物量的增加有显著的促进作用。对比休闲地土壤中真菌生物量，覆盖作物利用地的真菌生物量平均约高出 3.5 倍，但种类不同对真菌生物量的影响明显不同，毛野豌豆覆盖作物地的真菌生物量为休闲地的 1.5 倍，黑麦覆盖作物地的真菌生物量为休闲地的 2 倍。特别是免耕和覆盖作物相结合会显著地促进真菌生物量的增加。

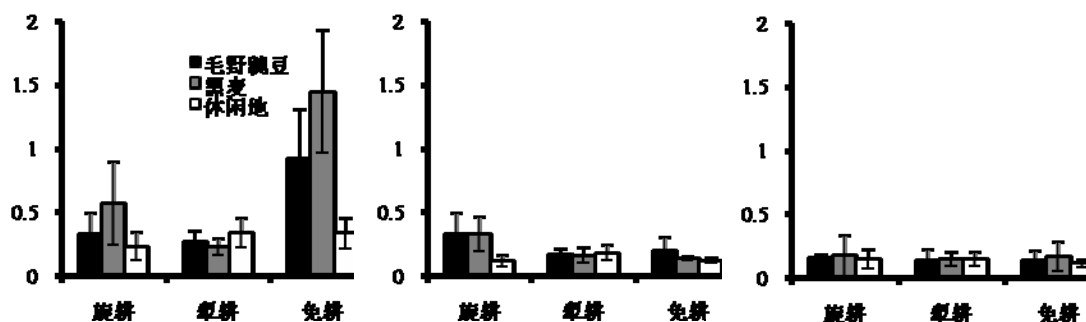


图 4 耕作方法和覆盖作物对土壤麦角甾醇含量的影响

Fig.4 The influences of tillage ways and covering crops on ergosterol contents in soil

(A)0~10 cm 土壤层; (B) 10~20 cm 土壤层; (C) 20~30 cm 土壤层。横棒代表标准偏差。

参考文献:

- [1] LU Y C, WATKINS K B, TEASDALE J R, et al. Cover crops in sustainable food production[J]. *Food Reviews International*, 2002, 16: 121-157.
- [2] KOMATSUZAKI M. Use of cover crops in upland fields. *Farm Work Research*[J]. 2004, 39: 157-163.
- [3] MENDES I C, BANDICK A K, DIXK R P, et al. Microbial biomass and activities in soil aggregates affected by winter cover crops[J]. *Soil Science Society of America*, 1999, 63: 873-881.
- [4] SIX J, FREY S D, THIET R K, et al. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agro-ecosystems[J]. *Soil Science Society of America*, 2006, 70: 555-569.
- [5] GRAYSTON S J, WANG S, CAMPBELL C D, et al. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1998, 30: 369-378.
- [6] GU S, KOMATSUZAKI M, MORIIZUMI S, et al. Cover crop species and mowing treatment affect the performance of rotary tillage[J]. *Farm Work Research*, 2002, 37: 13-23.
- [7] BALOTA E L, COLOZZI-FILHO A, ANDRADE D S, et al. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 38: 15-20.
- [8] HUNGRIA M, STACEY G. Molecular signals exchanged between host plants and rhizobia: basic aspects and potential application in agriculture[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1997, 29: 819-830.
- [9] FERREIRA M C, ANDRADE D S, CHUEIRE L M O, et al. Effects of tillage method and crop rotation on the population sizes and diversity of Bradyrhizobia nodulating soybean[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 2000, 32: 627-637.
- [10] HUNGRIA M, VARGAS M A T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil[J]. *Field Crops Research*, 2000, 65: 151-164.
- [11] KASCHUK G, HUNGRIA M, SANTOS J C P, et al. Differences in common bean rhizobial population associated with soil tillage management in Southern Brazil[J]. *Soil Tillage Research*, 2006, 87: 205-217.
- [12] SMITH M L, BRYHN J N, ANDERSON J B. The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms[J]. *Nature*, 1992, 356: 428-431.
- [13] BUMPUS J A, WRIGHT D, AUST S D. Oxidation of persistent environmental pollutants by a white rot fungus[J]. *Science*, 1985, 228: 1434-1436.
- [14] FRENKLAND J C, DIGHTON J, BODDY L. Methods for studying fungi in soil and forest litter[J]. *Methods in Microbiology*, 1990, 22: 344-404.
- [15] VAN DER HEJIDEN M G A, KLIRONOMOS J N, URSIC M, et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity[J]. *Nature*, 1998, 386: 69-72.
- [16] WEST A W, GRANT W D, SPARLING G P. Use of ergosterol, diamminopimelic acid and glucosamine contents of soils to monitor changes in microbial population[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1987, 19: 607-612.
- [17] NEWELL S Y, FALLON R D, MILLER J D. Decomposition and microbial dynamics for standing naturally positioned leaves of the salt-marsh grass *Spartina alterniflora*[J]. *Marine Biology*, 1989, 101: 471-481.
- [18] NORRIS J R, READ D J, VARMA A K. *Methods in Microbiology*[M]. London: Academic Press, 1992: 77-88.
- [19] SCHEU S, PARKINSON D. Changes in bacteria and fungal biomass C, bacterial and fungal biovolume and ergosterol content after drying, re-moistening and incubation of different layers of cool temperate forest soils[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1994, 26: 1515-1525.
- [20] STAHL P D, PARKIN T B. Relationship of soil ergosterol concentration and fungal biomass[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1996, 28: 847-855.
- [21] EKBLAD A, WALLANDER H, NÅSHOLM T. Chitin and ergosterol combined to measure total and living fungal biomass in ectomycorrhizas[J]. *New Phytologist*, 1998, 138: 143-149.
- [22] GRAÇA M A S, NEWELL S Y, KNEIB R T. Grazing rates of organic matter and living fungal biomass of decaying *Spartina alterniflora* by three species of salt-marsh invertebrates[J]. *Marine Biology*, 2000, 136: 281-289.
- [23] MONTGOMERY H J, MONREAL C M, YOUNG J C, et al. Determination of soil fungal biomass from soil ergosterol analyses[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 2000, 32: 1207-1217.
- [24] NEWELL S Y, ARSUFFI T L, FALLON R D. Fundamental procedures for determining ergosterol content of decaying plant material by liquid chromatography[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1988, 54: 1876-1879.
- [25] SCHWADORF K, MÜLLER H M. Determination of ergosterol in cereals, mixed feed components, and mixed feeds by liquid chromatography[J]. *Journal Association of Official Analytical Chemists*, 1989, 72: 457-462.
- [26] GESSNER M O, BAUCHROWITZ M A, ESCAUTIER M. Extraction and quantification of ergosterol as a measure of fungal biomass in leaf litter[J]. *Microbial Ecology*, 1991, 22: 285-291.
- [27] SCHOLLENBERGER C J, SIMON R H. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soils[J]. *Soil Science*, 1945, 59: 13-24.
- [28] BALL D F. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils[J]. *Soil Science*, 1964, 15: 84-92.
- [29] Black C A. *Methods of Soil Analysis*[M]. Chemical and Microbiological Properties, American Society for Agronomy, Madison, WI, 1965: 1179-1237.
- [30] FREY S D, ELLIOTT E T, PAUSTIAN K. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients[J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1999, 31: 573-585.
- [31] HOLLAND E A, COLEMAN D C. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem[J]. *Ecology*, 1987, 68: 425-433.
- [32] WARDLE D A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices[J]. *Advances in Ecological Research*, 1995, 26: 105-185.

The influence of cover crops and tillage system on fungal biomass in soil

ZHAO Rigetu^{1*}, LU Hongsheng², LI Guijiang², MASAKAZU KOMATSUZAKI¹, HIROYUKI OHTA¹

1. Ibaraki University College of Agriculture, 3-21-1 Chuou, Ami-machi, Ibaraki 300-0393, Japan;

2. College of Chemical and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong Province, 266510, P.R. China

Abstract: The study sites were established at the Field Science Center, Ibaraki University, College of Agriculture, located in the Kanto plains of Japan. The experiments were designed with three replications consisting of tillage systems (plow, rotary, and no-till) and species of cover crops [fallow, rye (*Secale cereale* L.) and hairy vetch] in the May and October of 2004 and 2005 respectively. Results showed that the contents of fungal biomass in upper soil (0~10 cm) was higher than that in deep soil (10~30 cm) in the no-till soil. In addition, the fungal biomass in the upper soil covering with rye was much higher than covering with hairy vetch, with the increase of 1.2 and 1.8 times in 2004, 1.6 and 1.2 times in 2005, respectively. In plow and rotary till practices, no sharp difference has been found for the fungal biomass covering with different crops. In summary, the fungal biomass can be strongly influenced by different agriculture tillage practices and showed the significant higher contents in upper soil than that in deeper soil.

Key words: cover crop; tillage system; fungal biomass