

不同种植方式对花生土壤微生物生物量及活性的影响*

林英杰¹ 高芳¹ 张佳蕾¹ 周录英² 张新民³ 李宝龙¹ 赵华建¹ 李向东^{1**}

(¹ 山东农业大学农学院作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; ² 山东省安丘市农业局, 山东潍坊 262100; ³ 山东天泰种业有限公司, 山东济南 250100)

摘要 在大田条件下,采用随机区组设计研究了春播覆膜(CBFM)、春播露地(CBLD)、麦田套种(MT)、麦田套种露地对照(MTLD)、夏播覆膜(XBFM)和夏播露地(XBLD)6种花生种植方式对土壤微生物生物量碳、活跃微生物生物量和土壤呼吸的影响.结果表明:花生生育期和种植方式均显著影响土壤微生物生物量及活性.从始花期开始,随着生育进程的推进,土壤微生物生物量碳、活跃微生物生物量和呼吸速率逐渐升高,到结荚期达到最大值,随后下降.露地栽培花生提高了土壤微生物生物量碳和土壤呼吸速率,但是降低了活跃微生物生物量,对土壤养分的转化和吸收不利;覆膜花生提高了活跃微生物生物量,促进土壤养分的分解和有效化;麦田套种花生比同期播种的露地对照花生提高了土壤微生物生物量碳、活跃微生物生物量和土壤呼吸速率,固结养分较多,不利于花生生长.

关键词 花生 种植方式 土壤 微生物生物量碳 活跃微生物生物量

文章编号 1001-9332(2010)09-2323-06 **中图分类号** S565.2 **文献标识码** A

Soil microbial biomass and respiration rate under effects of different planting patterns of peanut. LIN Ying-jie¹, GAO Fang¹, ZHANG Jia-lei¹, ZHOU Lu-ying², ZHANG Xin-min³, LI Bao-long¹, ZHAO Hua-jian¹, LI Xiang-dong¹ (¹State Key Laboratory of Crop Biology, College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; ²Anqiu Bureau of Agriculture, Weifang, 262100, Shandong, China; ³Tiantai Seed Co., Ltd, Ji'nan 250100, Shandong, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2010, 21(9): 2323-2328.

Abstract: A field experiment with randomized design was conducted to study the effects of six planting patterns of peanut, *i. e.*, spring sowing and plastic film mulching, spring sowing and open cultivation, summer sowing and plastic film mulching, summer sowing and open cultivation, intercropped in wheat field, and control of intercropped in wheat field, on soil microbial biomass C, soil active microbial biomass, and soil respiration rate. The results showed that the growth stage and planting pattern of peanut had significant effects on soil microbial biomass and respiration rate. With the prolonged time after anthesis, soil microbial biomass C, active microbial biomass, and respiration rate increased gradually, peaked at pod-setting stage, and decreased then. Open cultivation enhanced soil microbial biomass C and respiration rate but reduced soil active microbial biomass, being unfavorable to soil nutrient transformation and nutrient availability, while plastic film mulching increased soil active microbial biomass, and consequently, promoted soil nutrient transformation and nutrient availability. Comparing with intercropped in wheat field and open cultivation, intercropped in wheat field and plastic film mulching increased soil microbial biomass C, active microbial biomass, and respiration rate, which immobilized more soil nutrients and was not conducive to peanut growth.

Key words: peanut; planting pattern; soil; microbial biomass C; active microbial biomass.

* 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD21B04-9, 2009BADA8B03)和国家自然科学基金项目(30840056)资助.

** 通讯作者. E-mail: lixdong@sda. edu. cn

2009-12-28 收稿, 2010-07-06 接受.

花生 (*Arachis hypogea*) 是我国重要的油料作物和经济作物, 在生产上有地膜覆盖、露地栽培、麦田套种和夏直播等多种种植方式. 不同种植方式改变了土壤的温度、水分、空气和光照等环境条件, 从而导致土壤物理、化学和生物学性状的变化. 土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分, 在有机质分解、养分循环和植物养分利用过程中发挥着关键的作用^[1-2]. 土壤微生物生物量是土壤养分贮存库和植物生长所需养分的重要来源^[3-4]. 土壤微生物生物量受农业管理措施和种植方式的影响很大, 是反映土壤管理变化的重要指标^[5-6]. 因此, 研究不同种植方式对土壤微生物生物量的影响具有重要的意义.

花生是入地结果、具有无限生长习性的作物, 随生育进程的推进, 果针入土、子房膨大等对土壤微生物生存的外界条件都有一定的影响. 国内外对土壤微生物的研究多集中于耕作方式、土壤类型、培肥措施等方面^[5-7], 且多集中在小麦、玉米等禾本科作物上. 有关不同种植方式对花生田间土壤微生物生物量及活性影响的研究还未见报道. 本试验根据目前我国现有的花生主要种植方式, 设计不同花生种植方式试验, 研究其对花生土壤微生物生物量及活性变化的影响, 以期对花生高产、高效栽培提供理论依据和技术指导.

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006—2008 年在山东农业大学农学实验站进行. 该站位于 36°09′—36°10′ N, 117°08′—117°09′ E, 属温带半湿润大陆性气候, 四季分明, 光照充足, 年日照时数 2611 h, 年平均气温 12.8 °C, 无霜期约 200 d, 年降水量 700 mm 左右, 排灌系统良好. 试验地土壤为沙壤土, 0~20 cm 土层含有机质 11.12 g·kg⁻¹, 全氮 1.0 g·kg⁻¹, 碱解氮 87.74 mg·kg⁻¹, 速效磷 35.25 mg·kg⁻¹, 速效钾 74.23 mg·kg⁻¹, pH 6.75. 设计 6 种植方式, 分别为春播覆膜 (CBFM)、春播露地 (CBLD)、麦田套种 (MT)、麦田套种露地对照 (MTLD)、夏播覆膜 (XBFM)、夏播露地 (XBLD), 小区面积 23.1 m², 随机区组设计, 重复 3 次. 冬小麦品种为山农 664, 种植密度为 1.5×10⁶ 株·hm⁻², 花生品种为丰花 1 号, 种植密度为 1.5×10⁵ 穴·hm⁻². 播前对种子进行精选, 以保证纯度和出苗整齐.

具体种植方式如下: CBFM: 起垄覆膜种植, 垄底宽 85 cm, 垄顶宽 45 cm, 垄高 12 cm; 花生 5 月 10 日

播种, 每垄 2 行, 穴距 16 cm, 每穴 2 粒, 先播种后覆膜, 9 月 10 日收获. CBLD: 平种, 花生 5 月 10 日播种, 行距 30 cm, 穴距 20 cm, 每穴 2 粒, 9 月 10 日收获. MT: 冬小麦 10 月 10 日播种, 行距 30 cm, 6 月 10 日收获; 花生 5 月 25 日播种, 套种于小麦行间, 穴距 20 cm, 每穴 2 粒, 9 月 25 日收获. MTLD: 平种, 在麦田套种花生的同时, 把花生种在没有种植小麦的春地上, 作为麦套花生的对照, 花生 5 月 25 日播种, 行距 30 cm, 穴距 20 cm, 每穴 2 粒, 9 月 25 日收获. XBFM: 起垄覆膜种植, 垄底宽 85 cm, 垄顶宽 45 cm, 垄高 12 cm; 花生 6 月 10 日播种, 每垄 2 行, 穴距 16 cm, 每穴 2 粒, 先播种后覆膜, 10 月 10 日收获. XBLD: 平种, 花生 6 月 10 日播种, 行距 30 cm, 穴距 20 cm, 每穴 2 粒, 10 月 10 日收获.

小麦播前每公顷基施过磷酸钙 750 kg、尿素 375 kg; 麦套花生于收麦后每公顷追施过磷酸钙 750 kg、尿素 375 kg, 其他种植方式于花生播种前每公顷基施过磷酸钙 750 kg、尿素 375 kg; 其他田间管理措施同一般小麦、花生高产田.

1.2 研究方法

于每年 5—10 月花生开花至收获期每隔 15 d 进行田间取样. 采用五点混合取样法, 使用 3 cm×20 cm 土钻采集 0~20 cm 耕层土壤, 每个样品重复 3 次, 剔除其中的石块、根系和小动物等杂物, 迅速装入无菌聚乙烯袋中, 带回实验室, 置于 4 °C 冰箱保存, 4 d 内测定各指标. 每次测定前均于 25 °C 条件下培养 24 h.

1.3 测定项目与方法

土壤微生物生物量碳的测定采用基质诱导呼吸法: 取 5 g 鲜土, 加入 5 ml 10 μmol·g⁻¹ 土葡萄糖溶液和 0.025 g 滑石粉, 在 22 °C 下培养 2 h, 测定 CO₂ 呼吸量^[8]. 土壤活跃微生物生物量的测定采用呼吸曲线数学分析法: 取 1 g 鲜土, 加入 0.4 ml 葡萄糖培养基, 在 20 °C 培养 24 h 后, 测定 CO₂ 呼吸量^[8]. 土壤呼吸和呼吸熵的测定采用 CO₂ 释放量法: 取 5 g 鲜土于试剂瓶中, 28 °C 培养 24 h 后, 测定 CO₂ 呼吸量^[5].

以上 CO₂ 的产生量均用北京分析仪器厂生产的 GXH-3051 型便携式红外线分析仪测定, 土壤均以干质量计算. 代谢熵 (*q*CO₂) 是基础呼吸与微生物生物量碳的比率, 即每单位微生物生物量碳的呼吸速率.

1.4 数据处理

采用 ORIGIN PRO 8.0 软件作图. 采用 DPS

7.05 软件分析数据,用最小显著极差法(LSD)进行平均数显著性检验,取 $\alpha=0.05$.

2 结果与分析

2.1 不同种植方式下花生土壤微生物生物量碳的动态变化

微生物生物量碳可以反映土壤养分的有效状况和生物活性,能在很大程度上反映土壤微生物数量,对土壤扰动非常敏感,但不受无机氮的直接影响,常作为土壤对环境响应的指示剂^[9].由图1可知,不同种植方式下花生土壤微生物生物量碳随生育期呈单峰曲线变化.其中,春播覆膜、春播露地、麦田套种和麦田套种露地的微生物生物量碳在花后45 d(结荚末期)达到最大值;夏直播覆膜和夏直播露地的微生物生物量碳在花后30 d(结荚期)达到最大值.土壤微生物生物量碳在结荚期之前逐渐升高,固结养分较多,到结荚期达到最高值,说明花生植株的旺盛生长增加了根系及根系分泌物,从而使微生物生命活动旺盛,有利于土壤微生物生物量碳的积累;而在结荚期之后逐渐下降,表明随着花生营养生长的减缓,积累的土壤微生物生物量碳逐步释放养分供花生吸收利用.不同种植方式下,春播露地土壤微生物生物量碳高于春播覆膜,在结荚末期和收获期分别比春播覆膜高60.92%和80.35%,差异显著;夏播露地在花后30d以后高于夏播覆膜,在结荚期和

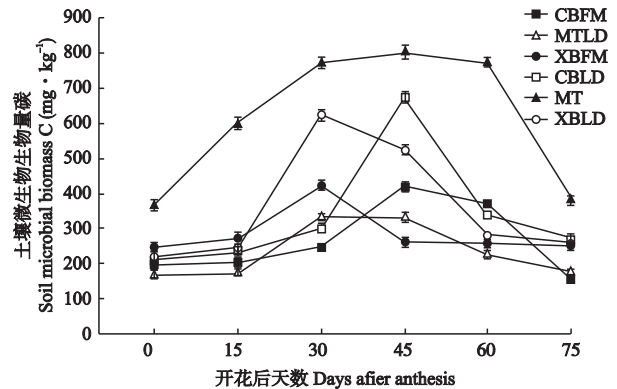


图1 不同种植方式下花生土壤微生物生物量碳的动态变化
Fig.1 Dynamic variations of soil microbial biomass C under different planting patterns of peanut.

CBFM:春播覆膜 Spring sowing and plastic film mulching; CBLT:春播露地 Spring sowing and open cultivation; MT: 麦田套种 Intercropping in wheat field system; MTLT:麦田套种露地对照 Wheat intercropping control; XBFM:夏播覆膜 Summer sowing and plastic film mulching; XBLT:夏播露地 Summer sowing and open cultivation. 下同 The same below.

结荚末期分别比夏播覆膜高46.67%和98.46%,差异显著,说明覆膜不利于土壤微生物生物量碳的积累.从整个生育期来看,麦田套种花生的土壤微生物生物量碳显著高于同期播种的麦田套种露地对照,说明麦田套种对土壤微生物生物量碳的积累作用明显.

2.2 不同种植方式下花生土壤活跃微生物生物量的动态变化

土壤中存在着一少部分生理功能活跃的微生物,这部分微生物一般不到微生物总量的1/3^[5].由图2可知,春播覆膜、春播露地、麦田套种、麦田套种露地的土壤活跃微生物生物量随生育期呈单峰曲线变化,其中,春播露地和春播覆膜在花后60 d(饱果期)达到峰值,麦田套种露地和麦田套种花生在花后45 d(结荚末期)达到峰值.在整个生育期内覆膜花生高于露地花生,春播覆膜和夏播覆膜土壤活跃微生物生物量比春播露地和夏播露地分别平均提高31.05%和22.03%,且差异显著;麦田套种花生土壤活跃微生物生物量比麦田套种露地平均提高8.35%,说明覆膜和麦田套种花生有利于活跃微生物生物量的提高,可促进土壤养分的分解.夏直播覆膜和夏直播露地花生土壤活跃微生物生物量随生育期呈现“V”型曲线变化,其谷底时段正值温度和湿度都比较高的季节,说明过高的温度和湿度不利于活跃微生物生物量的提高.

2.3 不同种植方式下花生土壤呼吸速率和代谢熵的动态变化

由图3可知,麦田套种、麦田套种露地、夏直播覆膜、夏直播露地花生的土壤呼吸速率随生育期呈单峰曲线变化.春播覆膜和春播露地花生土壤呼吸

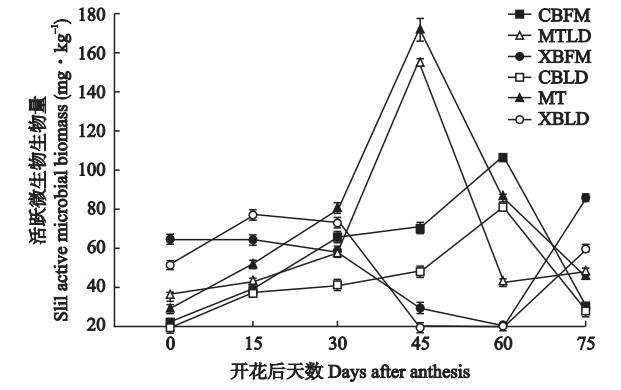


图2 不同种植方式下花生土壤活跃微生物生物量的动态变化
Fig.2 Dynamic variations of soil active microbial biomass under different planting patterns of peanut.

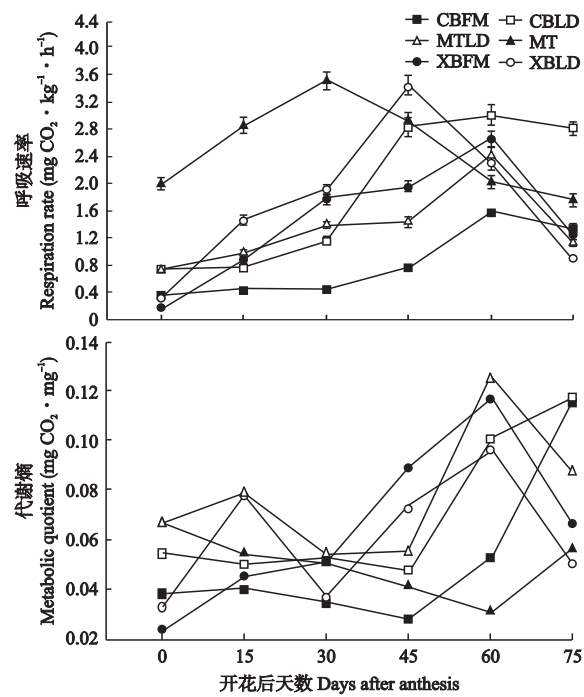


图3 不同种植方式下花生土壤呼吸速率和代谢熵的动态变化

Fig. 3 Dynamic variations of soil respiration rate and matabolic quotient under different planting patterns of peanut.

速率在花后 50 d (结荚末期) 达到高峰,麦田套种、麦田套种露地花生分别在花后 30 d (结荚初期) 和 60 d (饱果期) 达到最大值,夏直播覆膜、夏直播露地花生分别在花后 45 d (结荚末期) 和 60 d (饱果期) 达到最大值.说明花生开花后果针的入土和荚果的膨大对土壤的扰动作用是土壤呼吸速率提高的主要原因;后期土壤呼吸速率降低,一方面是因为花生果针对土壤的扰动减少,另一方面,与后期土壤温度有关.从整个生育期土壤呼吸速率的均值来看,麦田套种的土壤呼吸速率比麦田套种露地花生平均提高 66.88%,且差异显著,春播露地花生和夏播露地花生的土壤呼吸速率比覆膜栽培花生平均分别提高 87.42% 和 15.07%,差异均达显著水平.小麦留下的残茬和露地栽培花生的落叶在土壤表层容易形成“小碳库”,有利于土壤呼吸速率的提高.

代谢熵($q\text{CO}_2$) 将微生物生物量的大小与微生物的活性与功能有机的联系起来, $q\text{CO}_2$ 值大意味着微生物呼吸消耗的碳比例较大,建造微生物细胞的碳比例小.由图 3 可知,春播覆膜和春播露地的土壤代谢熵随生育期呈“V”形曲线变化,整个生育期内春播覆膜代谢熵低于春播露地花生;麦田套种露地花生代谢熵在整个生育期内均高于麦田套种花生,

可能是由于麦田套种花生土壤在播种时未受到扰动;夏直播覆膜花生的土壤代谢熵随生育期呈单峰曲线变化,而夏直播露地花生在生育期内前期高于夏直播覆膜花生,后期(花后 30 d 以后)低于夏直播覆膜花生.

3 讨 论

土壤微生物的数量、种类和活性在一定程度上反映了土壤有机质的分解速度和营养物质的存在状态,从而直接影响土壤的供肥能力和植物的生长状况^[9].前人有关覆膜对土壤微生物生物量碳的影响研究结果不尽一致.张成娥等^[10]研究表明,地膜覆盖玉米地各生长期的微生物生物量碳均低于裸地种植玉米地;宋秋华等^[9,11]、薛菁芳等^[12]研究表明,地膜覆盖能提高土壤微生物生物量碳;而于树等^[13]研究表明,地膜覆盖对土壤微生物生物量碳的影响不显著.土壤微生物生物量碳的消长反映微生物利用土壤碳源进行细胞建成并大量繁殖和微生物细胞解体使有机碳矿化的过程.本研究结果表明,土壤微生物生物量碳受花生生育期影响较大,土壤微生物生物量碳在结荚期之前逐渐升高,这一方面是由于花生生长旺盛,促进了根系生长,根系分泌较多的有机酸、氨基酸等营养物质,为土壤微生物提供了丰富的营养,促进了微生物繁殖,提高了微生物生物量;另一方面,夏季高温、高湿的条件使有机物更容易分解,为微生物生长提供了充足的碳源.结荚期之后,土壤微生物生物量碳逐渐下降,表明随着花生营养生长的减缓和温、湿度的降低,积累的土壤微生物生物量碳开始释放养分供花生吸收.从花生不同种植方式来看,露地栽培花生的土壤微生物生物量碳高于覆膜栽培,这可能是因为露地栽培花生在生长后期下部的落叶、植株残体提高了土壤有机碳水平,而地膜覆盖阻止了这些碳源物质;另外,覆膜促进了土壤微生物生物量碳的消耗,释放养分供花生生长.张丽华等^[14]研究表明,秸秆覆盖免耕能提高表层土壤微生物生物量.本研究表明,麦田套种花生土壤微生物生物量碳显著高于其他种植方式.这可能与麦田套种花生在播种前期没有对土壤进行翻动,并且小麦收获后麦茬残留,为麦田套种花生提供了丰富的有机质有关.

高云超等^[8]研究表明,翻耕能增加土壤活跃微生物生物量.强学彩等^[15]、王芸等^[16]研究表明,秸

秆还田能显著提高土壤微生物生物量碳和活跃微生物生物量。本研究表明,花生果针入土和荚果膨大起到了松动土壤、增加土壤通透性的作用,春播覆膜、春播露地、麦田套种、麦田套种露地种植方式增加了土壤活跃微生物生物量;而夏直播覆膜、夏直播露地在果针下扎期间土壤活跃微生物生物量降低,可能是由于在这个时期外界温度、湿度过高限制了土壤活跃微生物生物量的增加。蔡昆争等^[17]研究表明,地膜覆盖增加了土壤微生物的活性,与本研究结论相同。

微生物呼吸强度可看作是衡量土壤微生物总活性的指标^[18],反映了整个微生物群落(包括休眠状态和活性状态)的活性。前人有关覆膜对土壤呼吸的影响研究结果并不相同。李世清等^[19]研究表明,覆膜能提高土壤的呼吸作用。陈锡时等^[20]研究表明,土壤空气中 CO_2 浓度随植株生育阶段呈规律性变化,其主要受到植物根系呼吸作用的影响,地表覆膜妨碍了土壤空气与地表空气的交换,增加了土壤 CO_2 浓度,土壤微生物的呼吸活性受到更大的抑制,因此,玉米生育期覆膜处理土壤呼吸强度大多低于裸地。本研究结果表明,露地栽培花生的土壤呼吸高于覆膜栽培。这除了地表覆膜妨碍了土壤空气与地表空气的交换导致土壤呼吸提高外,也可能是由于露地栽培花生在生长后期下部落叶、植株残体在土壤表层形成“小碳库”,使其更新速度快、流通量大,为表层土壤微生物呼吸提供了必要的碳源^[21],而覆膜阻止了这部分碳源。

综上所述,花生不同种植方式对土壤微生物生物量及活性有显著影响。春播露地、麦田套种和夏播露地种植提高了土壤微生物生物量碳和土壤呼吸,降低了活跃微生物生物量。与覆膜栽培相比,露地栽培花生提高了土壤微生物生物量碳和土壤呼吸,降低了活跃微生物生物量,在花生生长旺盛期可能造成土壤微生物与花生竞争有效养分,不利于土壤养分转化和花生生长,而覆膜栽培在调控养分的同时满足了花生生长的养分需求,有利于花生生长发育。与同期播种的露地花生相比,麦田套种花生均提高了土壤微生物生物量碳、活跃微生物生物量和土壤呼吸,对土壤养分有固结作用,但是在花生养分需求期末释放出来,因此,也不利于花生生长。

参考文献

[1] Kirk JL, Lee AB, Hart M, *et al.* Methods of studying

- soil microbial diversity. *Journal of Microbiological Methods*, 2004, **58**: 169–188
- [2] Steenwerth KL, Jackson LE, Calderón FJ, *et al.* Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, **34**: 1599–1611
- [3] Xu Y-C (徐阳春), Shen Q-R (沈其荣), Ran W (冉炜). Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P after sixteen years of cropping. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2002, **39**(1): 89–96 (in Chinese)
- [4] Sepdding TA, Hamel C, Mehuys GR, *et al.* Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, **36**: 499–512
- [5] Wang Y (王芸), Li Z-J (李增嘉), Han B (韩宾), *et al.* Effects of conservation tillage on soil microbial biomass and activity. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(8): 3384–3390 (in Chinese)
- [6] Liu W-N (刘文娜), Wu W-L (吴文良), Wang X-B (王秀斌), *et al.* Effects of soil type and land use pattern on microbial biomass carbon. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2006, **12**(3): 406–411 (in Chinese)
- [7] Sun R-L (孙瑞莲), Zhu L-S (朱鲁生), Zhao B-Q (赵秉强), *et al.* Effects of long term fertilization on soil microorganism and its role in adjusting and controlling soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(10): 1907–1910 (in Chinese)
- [8] Gao Y-C (高云超), Zhu W-S (朱文珊), Chen W-X (陈文新). Bacterial and fungal biomass and activities in straw mulch no-tillage soils. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2001, **20**(2): 30–36 (in Chinese)
- [9] Song Q-H (宋秋华), Li F-M (李凤民), Liu H-S (刘洪升), *et al.* Effect of plastic film mulching on soil microbial biomass in spring wheat field in semi-arid loess area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(9): 1512–1516 (in Chinese)
- [10] Zhang C-E (张成娥), Liang Y-L (梁银丽), He X-B (贺秀斌). Effects of plastic cover cultivation on soil microbial biomass. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, **22**(4): 508–512 (in Chinese)
- [11] Song Q-H (宋秋华), Li F-M (李凤民), Wang J (王俊), *et al.* Effect of various mulching durations with plastic film on soil microbial quantity and plant nutrients of spring wheat fielding semi-arid Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, **22**

(12): 2125–2132 (in Chinese)

[12] Xue J-F (薛菁芳), Gao Y-M (高艳梅), Wang J-K (汪景宽). Effect of long-term fertilization and plastic film-mulching on soil microbial biomass carbon and nitrogen. *Soils and Fertilizers Sciences in China* (中国土壤与肥料), 2007(3): 55–58 (in Chinese)

[13] Yu S (于 树), Wang J-K (汪景宽), Gao Y-M (高艳梅). Effect of plastic mulching and different fertilization treatments on soil microbial biomass carbon and nitrogen. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2006, **37**(4): 602–606 (in Chinese)

[14] Zhang L-H (张丽华), Huang G-B (黄高宝), Zhang R-Z (张仁陟). Effects of no-tillage on soil microbial biomass C, N and P in rain-fed agriculture. *Gansu Agricultural Science and Technology* (甘肃农业科技), 2006(12): 3–6 (in Chinese)

[15] Qiang X-C (强学彩), Yuan H-L (袁红莉), Gao W-S (高旺盛). Effect of crop-residue incorporation on soil CO₂ emission and soil microbial biomass. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(3): 469–472 (in Chinese)

[16] Wang Y (王 芸), Han B (韩 宾), Shi Z-Q (史忠强), *et al.* Effects of conservation tillage on soil microbial characters and soil enzyme activities. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2006, **20**(4): 120–122 (in Chinese)

[17] Cai K-Z (蔡昆争), Luo S-M (骆世明), Fang X (方祥). Effects of film mulching of upland rice on root and

leaf traits, soil nutrient content and soil microbial activity. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(6): 1903–1911 (in Chinese)

[18] Liu Y (刘 瑜), Chu G-X (褚贵新), Liang Y-C (梁永超), *et al.* Soil nutrient and biological characteristics in North Xinjiang oases as influenced by cropping patterns. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2010, **18**(3): 465–471 (in Chinese)

[19] Li S-Q (李世清), Li F-M (李凤民), Song Q-H (宋秋华), *et al.* Effects of plastic film mulching periods on the soil nitrogen availability in semiarid areas. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(9): 1519–1526 (in Chinese)

[20] Chen X-S (陈锡时), Guo S-F (郭树凡), Wang J-K (汪景宽), *et al.* Effect of mulching cultivation with plastic film on soil microbial population and biological activity. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1998, **9**(4): 435–439 (in Chinese)

[21] Li Y-N (李玉宁), Wang G-Y (王关玉), Li W (李伟). Soil respiration and carbon cycle. *Earth Science Frontiers* (地学前缘), 2002, **9**(2): 351–357 (in Chinese)

作者简介 林英杰,男,1980 年生,博士研究生. 主要从事花生生理生态研究. E-mail: yingj_l@163.com

责任编辑 张凤丽
