

洞庭湖区滩地不同土地利用类型土壤呼吸动态

唐洁^{1,2}, 李志辉¹, 汤玉喜², 吴敏², 李永进², 王胜³

(1. 中南林业科技大学 林学院, 湖南 长沙 410004; 2. 湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004; 3. 湖南省岳阳市君山区林业局, 湖南 岳阳 410005)

摘要: 土壤呼吸受到多种生物和非生物因素的影响, 基于洞庭湖区滩地 3 种不同土地利用方式和不同时间尺度, 分析土壤呼吸动态变化及与环境影响因子的关系, 有助于深入了解滩地土壤呼吸变化的机理及精确推算碳的排放。采用 LI-8100 气体分析仪对洞庭湖区滩地芦苇地、农田、杨树林地土壤呼吸动态进行野外测定, 分析不同土地利用类型土壤呼吸速率的日变化和季节变化, 并对土壤呼吸速率与近地表温度、0~5 cm 土壤含水量、0~5 cm 土壤温度、空气湿度等环境因子之间的关系进行相关性分析。结果表明: 3 种土地利用类型土壤呼吸速率的季节和日变化比较明显, 其动态均表现为单峰型, 峰值出现时间存在差异, 而最低值大致出现在凌晨 5:00; 不同土地利用类型土壤呼吸作用强弱表现为芦苇地>杨树林地>农田; 3 种土地利用类型土壤呼吸速率均与近地表温度、0~5 cm 土壤含水量、0~5 cm 土壤温度极显著相关($P<0.01$); 杨树林地土壤呼吸速率与空气湿度呈极显著相关。总之, 土壤呼吸主要受到温度和 0~5 cm 土壤含水量的协同作用。图 2 表 3 参 11

关键词: 土壤学; 滩地; 土壤呼吸; 昼夜变化; 季节变化; 土壤温度; 土壤含水量

中图分类号: S154.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)03-0439-05

Soil respiration dynamics for different land-use types on the shoreline of Dongting Lake

TANG Jie^{1,2}, LI Zhi-hui¹, TANG Yu-xi², WU Min², LI Yong-jin², WANG Sheng³

(1. College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China;
2. Hunan Forestry Academy, Changsha 410004, Hunan, China; 3. Forest Enterprise of Junshan District, Yueyang 410005, Hunan, China)

Abstract: A variety of biotic and abiotic factors influence soil respiration. To contribute to a further understanding of soil respiration dynamics and to help provide an accurate calculation of carbon emissions, the relationship between soil respiration dynamics and environmental factors for three land-use types: reeds, farmland, and poplar forest, along the shoreline of Dongting Lake was field tested using an LI-8100 gas analyzer and analyzed for diurnal and seasonal changes in the soil respiration rate. A correlation analysis of the soil respiration rate among factors of near-surface temperature, 0-5 cm soil moisture, 0-5 cm soil temperature, and air humidity was conducted. Results showed that the dynamic performance of seasonal and diurnal changes in soil respiration were all single-peaked. Peak value times differed with the lowest value occurring about 5:00 A.M. Soil respiration intensity for land-use type was in the order: reeds > poplars > farmland with soil respiration rate extremely significantly correlated to near-surface temperature ($P<0.01$), 0-5 cm soil moisture ($P<0.01$), and 0-5 cm soil temperature ($P<0.01$). Moreover, there was highly significant correlation between poplar forest and air humidity. In total, soil respiration was synergied by soil temperature and 0-5 cm soil moisture ($P<0.05$). [Ch, 2 fig, 3 tab, 11 ref.]

收稿日期: 2010-09-02; 修回日期: 2010-11-19

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目(2006BAD03A15)

作者简介: 唐洁, 助理研究员, 从事杨树遗传育种和森林生态学研究。E-mail: tangjie6699@163.com

Key words: soil science; shoreline; soil respiration; diurnal changes; seasonal change; soil temperature; soil moisture

土壤呼吸是土壤释放二氧化碳(CO₂)的过程,是陆地生态系统碳循环的重要组成部分。全球陆地约有1 500 Pg 碳以有机质形态储存于土壤中,约是陆地植被总碳储量的3倍和全球大气碳库的2倍左右^[1]。通过土壤呼吸作用向大气释放的二氧化碳约占全球二氧化碳交换量的25%^[1-3],土壤排放出的二氧化碳量稍有变化,都会给大气中二氧化碳浓度变化带来巨大影响。国内外对土壤呼吸进行了广泛的研究^[4-6],取得了一定的研究成果,但有关中国滩地土壤呼吸的研究甚少,特别是洞庭湖区大面积的土地利用变化已显著改变了滩地生态系统的结构、功能与景观格局,迫切需要对滩地土壤呼吸开展相关研究。有鉴于此,对洞庭湖区芦苇 *Phragmites communis* 地、农田、杨树 *Populus* 林地土壤呼吸动态变化进行了研究,旨在深入了解滩地土壤呼吸动态变化规律,为湖区滩地土壤碳循环研究提供参考。

1 试验地概况

试验地位于湖南省岳阳市君山区,地理位置为28°59'~29°38'N,112°43'~113°15'E,属中亚热带向北亚热带过渡气候区,具有湿润的大陆亚热带季风气候,年平均气温为16.2~17.8℃,极端高温39.3℃,极端低温-11.8℃,年平均降水量为1 237.9 mm,年均相对湿度为80%。土壤为湖潮土,土质中性偏酸,有机质质量分数一般为20.0 g·kg⁻¹左右,土质肥沃,透水性较高。3种土地利用类型植被群落主要有:

芦苇地:以芦苇为主,草本植被主要有水芹 *Oenanthe decumbens*,土牛膝 *Achyranthes aspera*,紫花地丁 *Viola yedoensis*,辣蓼 *Polygonum hydropiper* 和鸡矢藤 *Paederia scandens* 等。

农田:以油菜 *Brassica chinensis* var. *oleifera*,大豆 *Glycine max*,棉花 *Gossypium* spp.为主,草本植被有马齿苋 *Portulaca loeracea*,早熟禾 *Poa pratensis*,泽漆 *Euphorbia helioscopia*,狗尾草 *Setaria viridis*,苋菜 *Amaranthaceae tricolor*,南苜蓿 *Medicago hispida* 和芥菜 *Capsella bursa-pastoris* 等。

杨树林地:林龄7 a,平均胸径为18.5 cm,平均树高为19.7 m。林下植被主要有水芹 *Oenanthe javanica*,辣蓼 *Polygonaceae hydropiper*,狗牙根 *Cynodon dactylon*,风轮菜 *Clinopodium chinense*,瘦风轮 *Clinopodium gracile*,益母草 *Leonurus artemisia*,附地菜 *Triglochin peduncularis*,杨子毛茛 *Ranunculus sieboldii*,蛇床 *Cnidium monnieri*,羊蹄 *Rumex japonicus* 和小蓟 *Cirsium segetum* 等。

2 研究方法

2.1 样地设置

在岳阳市君山区东洞庭湖外滩,选择具有代表性的芦苇地、农田、杨树林地样地进行野外测定。3种土地利用类型样地各布设4个测点,每个测点之间的距离不小于20 m。

2.2 土壤呼吸测定

土壤呼吸测定采用LI-8100(LI-COR, Lincoln, NE, USA)便携式二氧化碳气体分析仪。分别在春季、夏季、秋季、冬季选择有代表性的时间和天气状况,具体测定时间2006年3月29日-4月3日、6月12-17日、10月9-14日和12月19-24日。每种土地利用类型样地选择4个测点,3次重复,对土壤呼吸动态进行24 h连续观测,从早上9:00至15:00隔2 h观测1次,15:00至次日7:00隔3 h测1次,每个点测量时间为3 min·次⁻¹。测定前1 d对待测样地的草本层从根部剪断捡净,露出土壤,利用聚氯乙烯管进行定点,经过24 h平衡后,次日进行测定。测定的土壤呼吸速率包括植物根系、微生物、土壤动物的呼吸以及土壤有机质分解释放的二氧化碳。

3 结果与分析

3.1 不同土地利用类型土壤呼吸速率的昼夜变化动态

全年中,3种土地利用类型土壤呼吸日变化趋势基本一致,表现为单峰曲线(图1),土壤呼吸作用强弱存在差异,呼吸速率最小值大致都出现在凌晨5:00。

春季，芦苇地和杨树林地峰值出现在 13 : 00，农田出现在 11 : 00。芦苇地、农田和杨树林地土壤呼吸速率日动态变化范围分别为 4.47 ~ 14.16, 0.68 ~ 1.34, 2.89 ~ 5.94 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，土壤呼吸速率日均值依次为芦苇地(8.21 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，杨树林地(3.93 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，农田(0.93 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

夏季，芦苇地和杨树林地峰值出现在 17 : 00，农田出现在 15 : 00。芦苇地、农田、杨树林地土壤呼吸速率日动态变化范围分别为 3.68 ~ 4.24, 1.08 ~ 1.32 和 4.44 ~ 5.38 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，土壤呼吸速率日均值依次为杨树林地(4.80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，芦苇地(4.03 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，农田(1.27 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

秋季，芦苇地峰值出现在 15 : 00，农田和杨树林地出现在 13 : 00。芦苇地、农田、杨树林地土壤呼吸速率日动态变化范围分别为 3.82 ~ 4.65, 0.50 ~ 1.35, 1.53 ~ 2.11 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，土壤呼吸速率日均值依次为芦苇地(4.18 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，杨树林地(1.79 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，农田(0.74 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

冬季，芦苇地峰值出现在 13 : 00，农田、杨树林地出现在 11 : 00。芦苇地、农田、杨树林地土壤呼吸速率日动态变化范围分别为 0.29 ~ 0.94, 0.11 ~ 0.97, 0.55 ~ 0.93 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，土壤呼吸速率日均值依次为杨树林地(0.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，芦苇(0.561 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)，农田(0.45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

从以上不同土地利用类型土壤呼吸速率日变化幅度可看出，芦苇地土壤呼吸速率日变化幅度最大，杨树林地、农田依次变小，这与地面植物生长状况有着很大的关系。

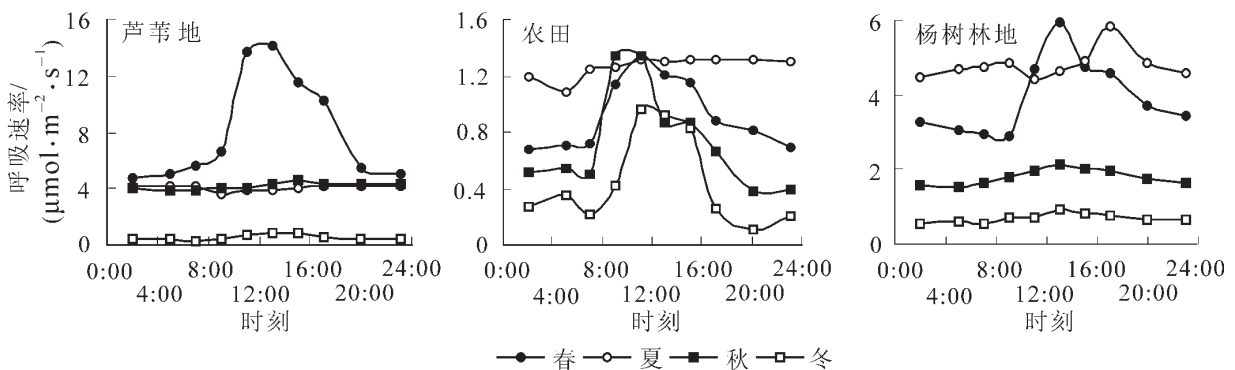


图 1 不同土地利用类型土壤呼吸速率昼夜变化规律

Figure 1 Diurnal variation rule of soil respiration rate for three land-use types

3.2 不同土地利用类型土壤呼吸速率的季节变化动态

芦苇地土壤呼吸速率平均值春季最高，杨树林地和农田土壤呼吸速率平均值夏季最高，土壤呼吸速率均呈单峰型变化(图 2)。杨树林地和农田土壤呼吸速率最大平均值出现在夏季，分别达到 4.80 和 1.27 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，最小值出现在冬季，分别为 0.70 和 0.45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ；芦苇地土壤呼吸速率平均值春季最大，值为 8.21 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，主要是春季正是芦苇茂盛生长的时候，芦苇根系发达，根系呼吸大，土壤微生物活动也较旺盛，地面也留有許多上年收割后的残枝叶，因此，这时土壤呼吸速率远高出其他季节。芦苇地的夏、秋季土壤呼吸速率大小基本相同，主要是芦苇成林后，生长茂盛，林内环境在夏、秋季基本一致。芦苇地土壤呼吸速率最低值出现在冬季，为 0.56 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。不同土地利用类型土壤呼吸速率平均值按大小排列依次为：芦苇地 > 杨树林地 > 农田。

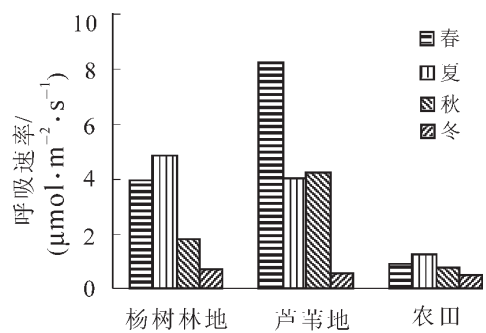


图 2 不同土地利用类型土壤呼吸速率季节变化规律

Figure 2 Seasonal variation rule of soil respiration rate for the three land-use types

3.3 不同土地利用模式土壤呼吸速率与环境因子的关系

对不同土地利用类型土壤呼吸速率与土壤近地表气温、空气湿度、土壤温度(0 ~ 5 cm)、土壤含水量(0 ~ 5 cm)之间的关系进行相关分析(表 1 ~ 3)发现，芦苇地、农田和杨树林地土壤呼吸速率与近地表气温和土壤含水量(0 ~ 5 cm)均具有极显著相关性($P < 0.01$)；芦苇地、杨树林地土壤呼吸速率与土壤

表1 芦苇地土壤呼吸速率与土壤环境相关性分析

Table 1 Correlation analysis of soil respiration rate and soil environment in reed land

环境因素	土壤呼吸速率	地表温度	0~5cm 土壤含水量	0~5cm 土壤温度	空气湿度
土壤呼吸速率	1	0.610**	0.516**	0.363*	0.204
地表温度		1	0.856**	0.797**	0.225
0~5 cm 土壤含水量			1	0.902**	0.617**
0~5 cm 土壤温度				1	0.608**
空气湿度					1

说明: *表示显著差异($P<0.05$), **表示极显著差异($P<0.01$)。

表2 农田土壤呼吸速率与土壤环境相关性分析

Table 2 Correlation analysis of soil respiration rate and soil environment in farmland

环境因素	土壤呼吸速率	地表温度	0~5cm 土壤含水量	0~5cm 土壤温度	空气湿度
土壤呼吸速率	1	0.859**	0.852**	0.708**	0.010
地表温度		1	0.844**	0.808**	-0.235
0~5 cm 土壤含水量			1	0.819**	0.272
0~5 cm 土壤温度				1	0.058
空气湿度					1

说明: *表示显著差异($P<0.05$), **表示极显著差异($P<0.01$)。

表3 杨树林地土壤呼吸速率与土壤环境相关性分析结果

Table 3 Correlation analysis of soil respiration rate and soil environment in poplar land

环境因素	土壤呼吸速率	地表温度	0~5cm 土壤含水量	0~5cm 土壤温度	空气湿度
土壤呼吸速率	1	0.356**	0.460**	0.390*	0.443**
地表温度		1	0.919**	0.912**	0.167
0~5 cm 土壤含水量			1	0.908**	0.441*
0~5 cm 土壤温度				1	0.341*
空气湿度					1

说明: *表示显著差异($P<0.05$), **表示极显著差异($P<0.01$)。

温度(0~5 cm)均具有显著性相关($P<0.05$), 农田土壤呼吸速率与土壤温度(0~5 cm)具有极显著相关性($P<0.01$)。这可能是芦苇地、杨树林地地上丰富的植被类型改变了辐射平衡, 导致温度对土壤呼吸影响程度不同^[7]; 杨树林地土壤呼吸速率与空气湿度呈极显著相关($P<0.01$)。

4 结论与讨论

洞庭湖区滩地芦苇地、农田、杨树林地土壤呼吸速率日变化呈单峰曲线, 且趋势基本一致, 不同季节土壤呼吸速率日变化最高值出现时间不同, 与冯文婷等^[8]和褚金翔等^[9]研究观点相符。春季, 芦苇地和杨树林地土壤呼吸速率峰值出现在13:00, 农田出现在11:00; 夏季, 芦苇地和杨树林地土壤呼吸速率峰值出现在17:00, 农田出现在15:00; 秋季, 芦苇地土壤呼吸速率峰值出现在15:00, 农田和杨树林地土壤呼吸速率峰值出现在13:00; 冬季, 芦苇地土壤呼吸速率峰值出现在13:00, 农田、杨树林地出现在11:00; 而呼吸速率日变化最小值大致出现在凌晨5:00。

不同土地利用类型土壤呼吸速率季节变化差异显著, 芦苇地>杨树林地>农田。芦苇地、杨树林地和农田土壤呼吸速率最大平均值及出现的季节依次为 $8.21 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (春季), $4.80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (夏季)和 $1.27 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (冬季)。最小平均值都出现在冬季, 依次为 $0.56 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $0.70 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.45 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

芦苇地、农田和杨树林地土壤呼吸速率与近地表气温和土壤含水量(0 ~ 5 cm)具有极显著相关性; 芦苇地和杨树林地土壤呼吸速率与土壤温度(0 ~ 5 cm)相关性显著($P<0.05$), 农田土壤呼吸速率与土壤温度(0 ~ 5 cm)极显著相关($P<0.01$); 杨树林地土壤呼吸速率与空气湿度呈极显著相关($P<0.01$)。

土壤呼吸除受环境因子影响外, 还受植被生物量、凋落物、土壤性质及土壤微生物等多种因素影响^[10-11]。由于本研究只有 1 a 的试验数据, 而且只是野外测定, 没有进行室内模拟试验, 得出的结论只是建立在野外观测数据基础上的, 具有一定的局限性, 因此, 还可对其他影响因素及各因子的综合影响进行连续观测与分析。

参考文献:

- [1] DIXON R K, BROWN S, HOUGHTON R A. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. *Science*, 1994, **262**: 185 - 190.
- [2] JENKINSON D S, ADAMSD E, WILD A. Model estimates of CO₂ emission from soil in response to global warming [J]. *Nature*, 1991, **351**: 304 - 306.
- [3] 刘允芬, 欧阳化, 张宪洲, 等. 青藏高原农田生态系统碳平衡[J]. 土壤学报, 2002, **39** (5): 636 - 642.
LIU Yunfen, OUYANG Hua, ZHANG Xianzhou. *et al.* Carbon balance in agro-ecosystem in Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Pedol Sin*, 2002, **39** (5): 636 - 642.
- [4] 张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, **20** (7): 778 - 785.
ZHANG Dongqiu, SHI Peili, ZHANG Xianzhou. Some advance in the main factors controlling soil respiration [J]. *Adv Earth Sci*, 2005, **20** (7): 778 - 785.
- [5] 张丽华, 陈亚宁, 李卫红, 等. 干旱荒漠区不同土地利用/覆盖类型土壤呼吸速率的季节变化[J]. 中国科学 D 辑 地球科学 2006, **36** (增刊 II): 68 - 76.
ZHANG Lihua, CHEN Yaning, LI Weihong, *et al.* Different land use or coverage type of the rate of soil respiration in arid desert area according to the reason [J]. *Sci Chin Ser D Earth Sci*, 2006, **36** (supp II): 68 - 76.
- [6] 朱宏, 赵成义, 李君, 等. 柽柳和梭梭林地土壤呼吸研究[J]. 水土保持学报, 2007, **21** (1): 148 - 151.
ZHU Hong, ZHAO Chengyi, LI Jun, *et al.* Research of soil respiration for desert scrubland[J]. *J Soil Water Conserv*, 2007, **21** (1): 148 - 151.
- [7] 罗辑, 杨忠, 杨清伟. 贡嘎山东坡峨眉冷杉林区土壤 CO₂ 排放[J]. 土壤学报, 2000, **37** (3): 402 - 409.
LOU Ji, YANG Zhong, YANG Qingwei. CO₂ emissions from soil sinabies fabri forest region on the east slope of Gongga Mountain [J]. *Acta Pedol Sin*, 2000, **37** (3): 402 - 409.
- [8] 冯文婷, 邹晓明, 沙丽清, 等. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤呼吸季节和昼夜变化特征及影响因子比较[J]. 植物生态学报, 2008, **32** (1): 31 - 39.
FENG Wenting, ZOU Xiaoming, SHA Liqing, *et al.* Comparisons between seasonal and diurnal patterns of soil respiration in amontane evergreen broad-leaved forest of Ailao Mountains, China [J]. *J Plant Ecol*, 2008, **32** (1): 31 - 39.
- [9] 褚金翔, 张小全. 川西亚高山林区 3 种土地利用方式下土壤呼吸动态及组分区分[J]. 生态学报, 2006, **26** (6): 1693 - 1700.
CHU Jinxiang, ZHANG Xiaoquan. Dynamic and fractionalization of soil respiration under three different land use/covers in the subalpine region of western Sichuan Province, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (6): 1693 - 1700.
- [10] 肖胜生, 叶功富, 董云社, 等. 木麻黄沿海防护林土壤呼吸动态及其关键影响因子[J]. 中国环境科学, 2009, **29** (5): 531 - 537.
XIAO Shengsheng, YE Gongfu, DONG Yunshe, *et al.* Soil respiration dynamics and major controlling factors in a coastal protective forest [J]. *China Environ Sci*, 2009, **29** (5): 531-537.
- [11] 杨智杰, 邹双全, 黄石德, 等. 锥栗林土壤呼吸动态变化与主要影响因子分析[J]. 亚热带农业研究, 2009, **5** (4): 271 - 275.
YANG Zhijie, ZOU Shuangquan, HUANG Shide, *et al.* Analysis of the dynamics of soil respiration of *Castanea henryi* plantation and its major factors [J]. *Subtrop Agric Res*, 2009, **5** (4): 271 - 275.