

人工柠条林土壤水浸提液对黑豆幼苗光合特性的影响

王 冰, 陈 林, 璩 向 宁

(宁夏大学 西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 西部生态与生物资源开发联合研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以宁夏地区黑豆本土种为试验对象, 采用基质培养法, 研究了不同浓度 R_1 (0.05000 g/mL)、 R_2 (0.02500 g/mL)、 R_3 (0.01250 g/mL)、 R_4 (0.00625 g/mL) 人工柠条林土壤水浸提液对黑豆幼苗的化感作用的影响。结果表明: 随着光强的增加, 同一浓度处理下, 除了叶片胞间 CO_2 浓度降低外, 净光合速率、蒸腾速率均呈上升趋势; 随着浸提液浓度的增加, 叶片胞间 CO_2 浓度增加, 而净光合速率、蒸腾速率均显著低于对照。

关键词:柠条林土壤; 浸提液; 黑豆; 化感; 光合特性; 农林复合系统

中图分类号:S 529 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)18-0020-04

农林复合栽培是一种有效的土地利用方式和生产技术。因其组分结构配置合理、资源利用率高、土地生产力高、利于生态环境稳定等特点, 受到越来越多的重视与提倡。目前复合农林系统的种间竞争一直是阻碍其推广和实施的瓶颈。如何使林木和作物之间的种间竞争作用最小化、种间促进作用最大化成为复合农林系统提高产量和总生产力的核心^[1]。

植物的化感作用(Allelopathy)是一种植物通过向体外分泌代谢过程中的化学物质, 对其它植物产生直接或间接影响的过程。化感物质存在于很多种类的植物中, 它通过多种机制, 如植物残体分解、挥发、根分泌和淋洗等释放到植物根际, 影响着植物的萌芽、生长、繁殖和分布^[2]。植物化感物质可影响植物的激素代谢、酶活性、光合作用、呼吸作用等方面^[3-8]。

柠条(*Caragana intermedia*)属豆科(Leguminosae)锦鸡儿属(*Caragana*)落叶大灌木饲用植物, 又叫毛条、白柠条, 根系极为发达, 主根入土深。目前, 柠条是中国西北、华北、东北西部水土保持和固沙造林的重要树木之一, 属于优良固沙和绿化荒山植物。柠条作为重要的固沙树木, 在干旱少雨的西北部广泛种植。研究柠条对其周围植物生长是否存在化感作用, 对于开展农林复合种植时建立合理的种植制度, 减少化感作用的负效应具

有非常重要的意义。近年来, 有关柠条的根、茎、叶对植物的化感作用已有报道, 但对于人工柠条林土壤化感作用的研究并不多。该试验在前人研究的基础上, 研究柠条林土壤对黑豆幼苗生长光合特性的影响, 以期对柠条化感作用的研究以及农林相互渗透对生态环境综合治理的需要提供基础数据。同时对复合农林系统种间关系的研究有助于更深层次的理解生态系统结构和功能的稳定性, 探索资源合理和高效的利用方式。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

宁夏盐池县皖记沟行政村, 位于盐池县城东北约 3 km, 地貌为鄂尔多斯缓坡起伏高原。气候特点为干旱少雨, 蒸发量大, 冬春两季风大沙多, 属典型的中温带大陆性气候。1954~2010 年平均气温为 8.46℃, 年降水量为 276.3 mm, 年日照时数为 2 862.6 h。地表植被属荒漠草原, 沙生特征明显。土壤以有机质含量低、易沙化的淡灰钙土和风沙土为主。地表水与地下水资源匮乏。20 世纪 60 年代以来, 由于人类活动加剧, 土地沙化面积仍不断扩大^[9]。

1.2 试验材料

以宁夏地区黑豆本土种为试验材料。柠条根际土水浸提液的制备: 于 2012 年 8 月, 在宁夏盐池县皖记沟村围栏封育建置 37 a 的柠条样地内, 多点采集柠条林冠下(滴水线区域)0~10 cm 土壤, 过 1 mm 筛, 去除掉落叶、树枝、石块等杂物, 称取 5 g 土壤样品加蒸馏水 100 mL 溶解, 玻璃棒搅拌均匀, 浸泡 48 h。随后经 4 层纱布过滤, 即制成质量分数为 R_1 (0.05000 g/mL) 的柠条林土壤水浸提取液的母液。最后再将母液分别稀释成 R_2 (0.02500 g/mL)、 R_3 (0.01250 g/mL)、 R_4 (0.00625 g/mL) 的

第一作者简介:王冰(1987-), 女, 硕士研究生, 研究方向为恢复生态。E-mail: icy715wb@163.com.

责任作者:璩向宁(1963-), 男, 硕士, 副教授, 现主要从事环境演化及旅游地理研究工作。E-mail: xn_qu@163.com.

基金项目:宁夏回族自治区自然科学基金资助项目(NZ12124)。

收稿日期:2013-08-27

测试溶液,装入棕色瓶内,置于 4℃ 条件下的冰箱备用。以蒸馏水作对照。

1.3 试验方法

1.3.1 种子萌发试验 将黑豆用 1% 的高锰酸钾灭菌 30 min,再用蒸馏水清洗干净,最后置于培养皿中。发芽床制备:用 75% 的酒精擦拭培养皿(直径 9 cm)上下内层消毒,铺上 2 层定性滤纸,每个培养皿中放置 30 粒黑豆,加覆盖种 1/3 体积的蒸馏水,置于温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$,光照为 8 h/d 的培养箱(LRH 系列生化培养箱)中培养。每天定时检查记录,并保持滤纸湿润,以胚根冲破种皮为发芽标准。

1.3.2 种子幼苗的培养 采用基质培养法进行培养。光照培养 7 d 后,选择发芽均匀一致的黑豆种子,转移至 250 mL 的烧杯中,每个烧杯中先放入定量的珍珠岩,然后放置 3 粒萌发的种子,以 Hoagland 营养液促进幼苗生长。将烧杯置于实验室中培养,培养条件为室温 25°C 、光照 8 h/d,每隔 1 d 补充 10 mL 柠条林土壤水浸提取液或蒸馏水。待每株具有 3~4 片成熟真叶后测定其光合生理指标。

1.4 项目测定

1.4.1 叶片光合生理特征参数的测定 参照文献[10-11]方法,用 CIRAS-2 便携式植物光合作用测定仪测定其光合指标。于上午 8:30~11:00 选取植株相同位置一小簇(片)叶(活体叶片),测定并通过换算获得叶片的净光合速率(Net photosynthesis rate, P_n)(单位鲜重 FW)、蒸腾速率(Transpiration rate, T_r)(单位鲜重)等参数,每次测定重复 3 次。测定时使用红蓝光源叶室,温度为 25°C 。叶片水分利用效率(Water use efficiency, WUE)计算公式: $WUE = P_n / T_r$ [12]。

1.4.2 光响应曲线的测定 采用 CIRAS-2 便携式植物光合作用测定仪测定光合-光响应曲线(P_n -PAR)。 P_n -PAR 曲线:设置 CO_2 浓度为大气 CO_2 浓度,由高到低设定光强为 1 200、1 000、800、600、400、200、100、50 和 $0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,运用自动测量程序测定。根据低光照强度($<200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)测得的光合速率值建立直线回归方程,直线与横坐标轴的交点即为光补偿点(LCP),直线斜率即为表观量子效率(AQY) [13]。

1.5 数据分析

数据采用 Excel 进行图表处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度柠条林土壤水浸提液对黑豆叶片胞间 CO_2 浓度影响

由图 1 可以看出,柠条林土壤浸提液对黑豆叶片的胞间 CO_2 浓度(C_i)产生了影响,各处理黑豆的 C_i -PAR 曲线之间存在梯度关系,为 $R_1 > R_2 > R_3 > R_4 > \text{CK}$,并随着光强的上升,响应曲线呈下降趋势;当 $\text{PAR} >$

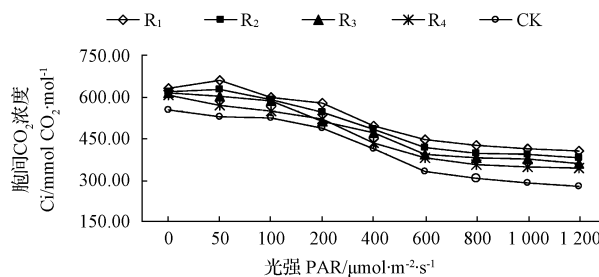


图 1 不同浓度柠条林土壤水浸液对黑豆叶片胞间 CO_2 浓度的影响

Fig. 1 Effect of different *C. intermedia* rhizosphere soil treatments on intercellular CO_2 concentration curve of photosynthesis in soybean leaves

$600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,曲线下降趋于平缓。

2.2 不同浓度柠条林土壤水浸提液对黑豆叶片蒸腾速率的影响

蒸腾作用是植物吸收水分和转运水分的主要动力,能维持植物各部分的水分饱和,保持细胞组织的形态,促进无机盐类在植物体内的分布,而且能将植物在光合作用和氧化代谢中产生的多余热能散出 [14]。从图 2 可以看出,各处理黑豆的 T_r -PAR 响应曲线之间存在明显的梯度关系,为 $R_1 < R_2 < R_3 < R_4 < \text{CK}$,随着 PAR 的增强,响应曲线平缓上升;当 $\text{PAR} > 600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,曲线上升呈平稳趋势。

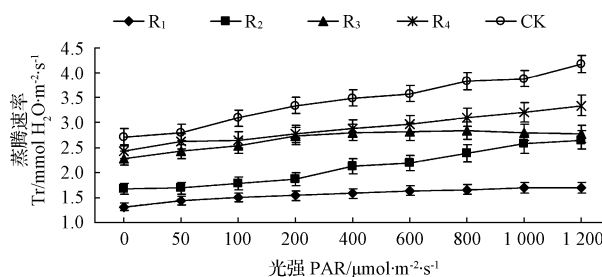


图 2 不同浓度柠条林土壤水浸液对黑豆叶片蒸腾速率的影响

Fig. 2 Effect of different *C. intermedia* rhizosphere soil treatments on transpiration rate curve of photosynthesis in soybean leaves

2.3 不同浓度柠条林土壤水浸提液对黑豆水分利用效率的影响

植物的水分利用效率可用叶片瞬时的光合速率与蒸腾速率之比来表示,反映植物的逆境条件下水分利用状况。从图 3 可知,随着光强(PAR)增强,在低光强区域内($0 \sim 400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),各柠条林土壤水浸提液处理下黑豆叶片 WUE 呈明显上升趋势;随着 PAR 的增大,响应曲线的增幅逐渐减少,曲线渐变低平;当 $\text{PAR} > 600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,各柠条林土壤水浸提液处理的 WUE 差异显著,为 $R_1 > R_2 > R_3 > R_4 > \text{CK}$ 。

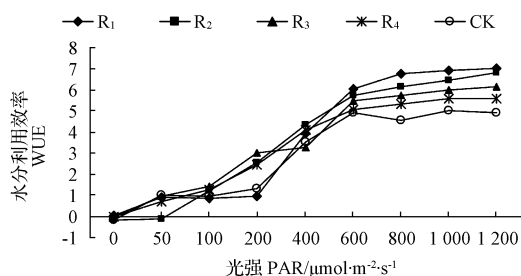


图3 不同浓度柠条林土壤水浸提液对黑豆叶片水分利用效率的影响

Fig. 3 Effect of different *C. intermedia* rhizosphere soil treatments on water use efficiency curve of photosynthesis in soybean leave

2.4 不同浓度柠条林土壤水浸提液对黑豆的叶片净光合速率的影响

净光合速率是反映光合作用强弱的最重要指标。光合速率大,表明植物光合作用的水平高,反之亦然。从图4可知,随着PAR的增强,在光强 $<200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,各浓度柠条林土壤水浸提液下黑豆Pn呈上升趋势,但是各处理之间的差异不显著;随着PAR的继续增强,Pn上升逐渐缓和并呈稳定趋势;当Pn $>600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,各柠条林土壤水浸提液处理间的Pn差异显著,为 $R_1 < R_2 < R_3 \approx R_4 < \text{CK}$ 。

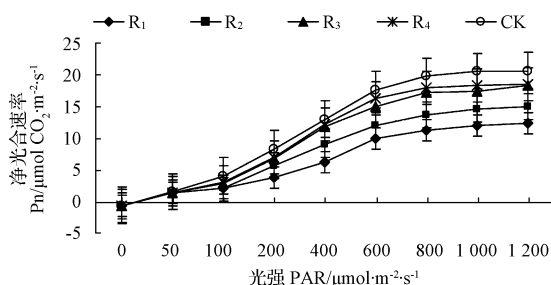


图4 不同浓度柠条林土壤水浸液对黑豆叶片净光合速率的影响

Fig. 4 Effect of different *C. intermedia* rhizosphere soil treatments on net of photosynthetic in soybean leaves

在一定环境条件下,叶片的最大光合速率表示叶片的最大光合作用能力^[15],表观量子效率反映了叶片光合作用的光能利用效率,尤其是对弱光的利用能力^[16]。当光照强度在 $0 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,5个处理的光照强度(X)和净光合速率(Y)变化之间的线性方程见表1。当 $y=0$ 时,线性方程与x轴的交点即为各处理的光补偿点, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 与CK光补偿点(LCP)分别是:17.61、17.31、17.00、16.89、15.04 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

线性方程的斜率即为各处理的表观量子效率, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 与CK表观量子效率分别为:0.028、0.029、0.036、0.037、0.047 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。表观量子效率为 $R_1 < R_2 < R_3 < R_4 < \text{CK}$ 。随着光合强度的增加,初始阶段

各处理的光合速率上升较快,后逐渐变缓,当超过一定限度时,即使再增加光照强度,净光合强度也不再增加,这种现象称为光饱和现象,光饱和时的光照强度称为光饱和点(LSP)^[17]。 R_1 、 R_2 的光饱和点为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, R_3 、 R_4 、CK的光饱和点均为 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。达到光饱和点时,最大净光合速率(Pmax)为 $R_1 < R_2 < R_3 \approx R_4 < \text{CK}$ 。

表1 5个处理的光强和净光合速率变化之间的线性方程

Table 1 The linear equation to variety of light intensities and net photosynthetic rate under five treatments

处理	Pn-PFD 直线回归方程		
R_1	$y=0.028x-0.493$	$R^2=0.928$	$y=0$ 时, $x=17.61$
R_2	$y=0.029x-0.502$	$R^2=0.935$	$y=0$ 时, $x=17.31$
R_3	$y=0.036x-0.612$	$R^2=0.991$	$y=0$ 时, $x=17.00$
R_4	$y=0.037x-0.625$	$R^2=0.994$	$y=0$ 时, $x=16.89$
CK	$y=0.047x-0.707$	$R^2=0.999$	$y=0$ 时, $x=15.04$

3 结论与讨论

该试验各处理黑豆的光合-光响应曲线,随着光强(PAR)的增强,响应曲线平缓上升;当 $\text{PAR} > 600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,曲线上升呈平稳趋势,且各柠条林土壤水浸提液处理间存在显著差异。随着光强(PAR)的增强,在低光强($<200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)时,各浓度柠条林土壤水浸提液下黑豆净蒸腾速率(Tr)呈上升趋势,各处理之间的差异不显著;随着PAR的继续增强($\text{Pn} > 600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), Tr 上升逐渐缓和并呈稳定趋势。各处理黑豆的胞间 CO_2 浓度-光响应曲线之间存在梯度关系,并随着光强的上升,响应曲线呈下降趋势;当 $\text{PAR} > 600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,曲线下降趋于平缓。

化感作用是1937年由德国科学家Molish提出的。植物化感作用广泛存在于自然界,它是影响植物群落变化的重要因素之一^[18]。化感作用是指植物以及微生物释放化学物质到外部环境,促进或者抑制临近植物(异种或者同种个体)的生长发育的现象^[19]。植物的根、茎、叶、花、林土壤都可以产生化感物质,已阐明全世界有100多种植物具有化感潜力^[20]。化感物质首先作用于植物根细胞的细胞膜,通过影响膜电位、膜活性和膜透性等来影响细胞膜功能,进而通过一系列作用机制最终影响植物的光合作用等生理生化过程^[21]。它可以通过影响Gs、Ci、Tr等气孔因素直接影响光合作用。该研究表明,柠条林土壤水浸提液对黑豆叶片的Ci、Tr均有影响,进而影响到了黑豆叶片的Pn。化感物质对受体植物的影响存在浓度效应^[22-24],即在低浓度下化感有促进作用,高浓度下则表现为抑制作用。该研究表明,柠条林土壤水浸提液对受试植物黑豆幼苗生长具有明显的化感作用,并表现出低浓度时影响小,高浓度时抑制作用显著

的规律。这与其它物种化感作用研究结果相类似。高浓度的化感物质有抑制幼苗生长的影响^[25-26],可降低植物的光合速率^[27-28]。

参考文献

- [1] Rao M R, Nair P K R, Ong C K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems[J]. *Agroforestry Systems*, 1998, 38: 3-50.
- [2] 刘兴宇, 曾德慧. 农林复合系统种间关系研究进展[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1464-1470.
- [3] Politycka B. Peroxidase activity and lipid peroxidation in roots of cucumber seedlings influenced by derivatives of cinnamic and benzoic acids[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 1996, 18(4): 365-370.
- [4] Leather G R, Einhellig F A. Bioassays in the study of allelopathy[M]// Putnam A R, Tang C S. *The Science of Allelopathy*. New York: John Wiley and Sons, 1986: 133-145.
- [5] Einhellig E A. Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy[J]. *Allelopathy*, 1995, 10(1): 97-115.
- [6] Baziramakenga R, Leroux G D, Simard R R, et al. Allelopathic effects of phenolic acids on nucleic acid and protein levels in soybean seedlings[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1997, 75(3): 445-450.
- [7] Barkosky R R, Einhellig F A. Effects of salicylic acid on plant-water relationships[J]. *Chemical Ecology*, 1993(19): 237-247.
- [8] 吕卫光, 张春兰, 袁飞, 等. 化感物质抑制连作黄瓜生长的作用机制[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(1): 106-109.
- [9] 宋乃平, 杨新国, 何秀珍, 等. 荒漠草原人工柠条林重建的土壤养分效应[J]. *水土保持通报*, 2012, 32(4): 21-26.
- [10] Lu C M, Qiu N W, Wang B S, et al. Salinity treatment shows no effects on photosystem II photochemistry, but increases the resistance of photosystem II to heat stress in halophyte *Suaeda salsa* [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2003, 54: 851-860.
- [11] 邱念伟, 孔甜甜. 不规则植物材料单位鲜重光合速率的测定[J]. *植物生理学报*, 2011, 47(4): 406-408.
- [12] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317-345.
- [13] 丁顺华, 李艳艳, 王宝山. 外源海藻糖对小麦幼苗耐盐性的影响[J].

西北植物学报, 2005, 25(3): 513-518.

- [14] 周玉梅, 韩士杰, 胡艳玲, 等. 高浓度 CO₂ 对红松(*Pinus koraiensis*) 针叶光合生理参数的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(1): 423-429.
- [15] 陆佩玲, 罗毅, 刘建栋, 等. 华北地区冬小麦光合作用的光响应曲线的特征参数[J]. *应用气象学*, 2000, 11(2): 236-241.
- [16] 蹇洪英, 邹寿青. 地毯草的光合特性研究[J]. *广西植物*, 2003, 23(2): 181-184.
- [17] 关洪斌, 王晓兰, 智艳阳. 海藻糖对大豆植物抗性的影响[J]. *贵州农业科学*, 2007, 35(1): 13-15.
- [18] Nilsson M C. Separation of allelopathy and resource competition by the boreal dwarf shrub *Empetrum hermaphroditum* Hagerrup [J]. *Oecologia*, 1994, 98: 1-7.
- [19] 杨期和, 叶万辉, 廖富林, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(12): 1459-1465.
- [20] 闫世江, 张继宁, 刘浩. 化感作用及其在蔬菜中的应用[J]. *种子*, 2009, 28(2): 103-105.
- [21] Einhellig F A. Allelopathy: Current status and future goals[M]// Dakshini K M M, Einhellig F A, eds. *Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications*. Washington, DC: American Chemical Society, 1995: 1-24.
- [22] 张新慧, 张恩和, 何庆祥, 等. 2,4-二叔丁基苯酚对啤酒花幼苗生长与光合特性的影响[J]. *草业学报*, 2008, 17(6): 47-51.
- [23] 韩丽梅, 沈其荣, 王树起, 等. 大豆根茬木霉腐解产物的鉴定及其化感作用的研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(10): 1295-299.
- [24] 刘爱荣, 张远兵, 张雪梅, 等. 空心莲子草水浸液对黑麦草和高羊茅种子发芽和幼苗生长的影响[J]. *草业学报*, 2007, 16(5): 96-101.
- [25] 张中信, 张小平, 刘慧君, 等. 加拿大一枝黄花和一枝黄花化感作用比较研究[J]. *武汉植物学研究*, 2010, 28(2): 191-198.
- [26] 王岑, 党海山, 谭淑端, 等. 三峡库区苏门白酒草(*Conyza sumatrensis*) 化感作用与入侵性研究[J]. *武汉植物学研究*, 2010, 28(1): 90-98.
- [27] 高兴祥, 李美, 高宗军, 等. 苍耳对不同植物幼苗的化感作用研究[J]. *草业学报*, 2009, 18(2): 95-101.
- [28] 郁继华, 张韵, 牛彩霞, 等. 两种化感物质对茄子幼苗光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1629-1632.

Effects of Soil Aqueous Extracts of Artificial Caragana Forest on Photosynthetic Characteristics of Soybean Seedling

WANG Bing, CHEN Lin, QU Xiang-ning

(Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration of North-western China, Key Lab. for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Union Research Center for Ecology and Exploitation of Biological Resources in Western China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking native species of local soybean as materials, by using medium culture method, the allelopathy of different aqueous extracts (0.05000, 0.02500, 0.01250, 0.00625 g/mL) from soil of artificial caragana forest on soybean seedling were studied. The results showed that with the increasing light intensities, the net photosynthetic rate and transpiration rate except the intercellular CO₂ concentration showed an obvious upward trend under the same treatment. The intercellular CO₂ concentration increased by the concentrations of aqueous extracts addition, while the net photosynthetic rate and transpiration rate were significantly lower than those of the control. It was suggested that the allelopathic substances from soil of artificial caragana stands released and acted on receptor plants.

Key words: artificial caragana forest soil; aqueous extracts; soybean; allelopathy; photosynthetic characteristics; agroforestry system