

不同复配土比例对苜蓿幼苗光合特性的影响

潘霞¹,高永¹,刘宗奇¹,任昱²

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古生态环境职业学院, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要:为了高效利用风沙土,将风沙土和黄绵土以不同体积比例混合,形成复配土(复配土比例为0%、25%、50%、75%和100%),并对苜蓿幼苗光合特性进行分析。结果表明:黄绵土配比的增大使苜蓿幼苗的Pn、Gs、Ci以及WUE均呈现先升高后降低的趋势,而Tr表现为不断升高的趋势。Pn、Tr、Gs、Ci以及WUE与纯沙土(CK)处理相比,均达到显著水平。配土比例为25%时苜蓿的Pn、Gs、Ci和WUE最高,而Tr的最大值出现在配土比例为100%处理。利用隶属函数法对其进行综合评价表明,25%的配土比例综合评价指数最高,即风沙土与黄绵土配比为25%时苜蓿的光合作用效果最佳。

关键词:复配土;苜蓿;光合特性;隶属函数法

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2017)04-0109-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.04.0109

风沙土是在沙源和风力作用下形成的一种隐域性幼年土壤,缺乏有机胶体和无机胶体,聚力小甚至无粘聚力,且普遍存在着质地粗、结构差、养分差、透水性好、保水性差等特点,从而使土壤中有有机质和细粒物质流失,土地生产力衰退^[1-2]。相较于风沙土而言,黄绵土具有胶体含量大、结构致密、持水性强、通透性差的特点,岩层的淡水含量多,从而成为富水层,严重影响植物生根^[3]。

苜蓿(*Medicago sativa*)作为一种广泛分布于我国干旱、半干旱地区的多年生豆科草本植物,素有“牧草之王,绿色黄金”的美称,具有耐贫瘠和忍受低营养水平的特点,并具有很高的营养、经济和药用价值,在畜牧业生产中具有至关重要的作用,是目前理想的水土保持植物^[4-5]。同时,苜蓿中的幼嫩部位也可作为人类食用的蔬菜,其风味鲜美、营养价值十分丰富,在我国的陕西地区也有历来吃头茬苜蓿的习惯。此外,水分是影响苜蓿生产力的首要条件,土壤水分条件的改善有利于苜蓿生产效率的发挥^[6-7]。

在理论上,风沙土中添加不同配比的黄绵土,可有效提高风沙土胶体含量,改善风沙土持水、保

肥等性能,从而为当地植物提供更好的生存条件。因此,研究风沙土与黄绵土不同配土比例对苜蓿幼苗光合特性的影响,对于风沙土的改良和土地生产力的提高具有重要的现实作用。同时,风沙土和黄绵土在我国中部和西部地区分布最为广泛,如果能合理充分的利用,将对其生态环境的改善具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料主要有风沙土、黄绵土、苜蓿幼苗等,其中,风沙土取自鄂尔多斯市乌审旗无定河镇国营纳林河林场内的沙地裸沙丘。黄绵土为采砂迹地下腹母质。试验所用苜蓿种子由鄂尔多斯市国营纳林河林场提供。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 本试验设置在内蒙古乌审旗无定河镇国营纳林河林场。2015年3月底,利用推土机整平试验样地,挖岷形成长50 m、宽5 m、深0.3 m(考虑到沙生灌木主要影响20~40 cm土层含水率,因此将复配土厚度设计为30 cm)的土坑。用搅拌机将挖出的风沙土与黄绵土以体积比0%、25%、50%、75%和100%充分混合,形成供试复配土,备用。

2015年4月初,在已建的土坑基础上建立试验小区,每个小区分别填入不同配比的复配土。每小区5个重复,随机排列。播种的前1 d要充分灌水,次日播种,苜蓿的种植密度为15 kg·hm⁻²,

收稿日期:2017-02-08

资助项目:国家科技支撑计划资助项目(2015BAC06B01-03)

第一作者简介:潘霞(1993-),女,内蒙古自治区包头市人,在读硕士,从事荒漠化防治研究。E-mail: panxia2016@126.com。

通讯作者:高永(1962-),男,内蒙古自治区包头市人,博士,博士生导师,教授,从事荒漠化防治研究。E-mail: 13948815709@163.com。

配土深度 30 cm。出苗后,按照当地 30 a 来 4-9 月平均降雨量进行浇水,每 7 d 浇 1 次水,于 8:00 浇水。为消除降水影响,小区建立简易温室。

1.2.2 测定项目及方法 栽植管护 95 d 后,选择晴朗的天气,于 9:30 采用 Li-6400xl 进行光合指标的测定,包括苜蓿叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)以及水分利用效等指标,每个小区重复选择 5 株苗木进行测量,共计测量 125 株。

1.2.3 数据处理方法 数据采用 Excel2003、SAS9.0 进行整理、计算和统计分析,对组间数据进行方差分析以及相关性分析,最后运用隶属函数法对不同处理下苜蓿的光合指标进行综合评价,以探讨最适苜蓿光合特性的复配土配比。

2 结果与分析

2.1 黄绵土不同配比对苜蓿净光合速率(P_n)的影响

从图 1 可知,随着黄绵土配比的逐渐增大,净光合速率先呈现升高的趋势,然而当黄绵土配比超过 25% 比例之后,净光合速率又呈现下降的趋势,但仍高于纯沙土(CK)。净光合速率的最大值($32.37 \mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)出现在 25% 处理,即风沙土与黄绵土的配土比例为 25% 处理,较对照($13.45 \mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)增加了 2.41 倍。当配土比例为 50%、75%、100% 时,其分别比对照增加了 2.14 倍、1.90 倍、1.54 倍。方差分析结果表明,配土比例为 25%、50%、75% 和 100% 处理较 CK 处理都达到显著水平($P < 0.05$)。其中,配土比例为 25% 处理其它 4 种处理($P < 0.05$)。

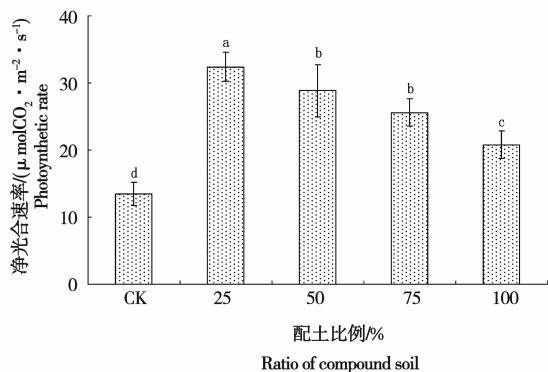


图 1 黄绵土不同配比对净光合速率的影响

Fig. 1 Effect of different ratio of compound soils on photosynthetic rate

2.2 黄绵土不同配比对苜蓿蒸腾速率(Tr)的影响

从图 2 看出,苜蓿的蒸腾速率随着黄绵土配比的增加而增大,呈现出上升的趋势。100% 的配土比例下苜蓿的蒸腾速率在 5 个处理中最高,其值为 $20.04 mmol H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,CK 处理下最低,其值为 $9.34 mmol H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,最大值比最小值增加了 2.14 倍。配土比例为 25%、50%、75% 三种处理下分别比对照增加了 1.18 倍、1.48 倍、1.72 倍。方差分析后发现配土比例为 100% 处理较其它 4 种处理均达到了显著性水平($P < 0.05$)。配土比例为 25% 处理较 50%、75% 和 100% 达到了显著水平($P < 0.05$)。

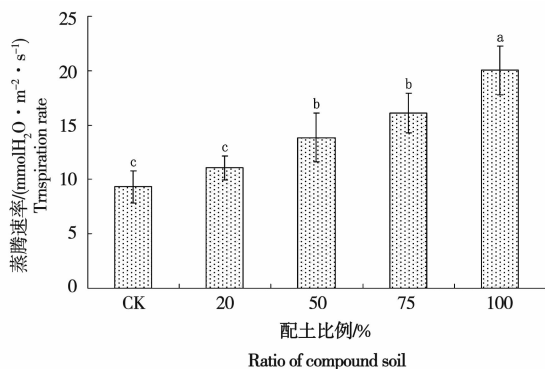


图 2 黄绵土不同配比对蒸腾速率的影响

Fig. 2 Effect of different ratio of compound soils on transpiration rate

2.3 黄绵土不同配比对苜蓿气孔导度(G_s)的影响

从图 3 看出,苜蓿的气孔导度随着黄绵土配比的增加呈现出先升高后降低的趋势。苜蓿气孔导度的最大值出现在配土比例为 25% 处理,其值为 $0.44 mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,最小值出现在 CK 处理下,其值为 $0.10 mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,最大值是最小值的 4.4 倍。配土比例为 50%、75%、100% 三种处理下分别比对照增加了 3.4 倍、2.5 倍、1.7 倍。单因素方差分析后发现,配土比例为 25% 处理较其它 4 个处理均达到了显著性水平($P < 0.05$)。

2.4 黄绵土不同配比对苜蓿胞间 CO_2 浓度(C_i)的影响

从图 4 看出,胞间 CO_2 浓度随着黄绵土比例的不断增加,呈现出先升高后降低的趋势。当风

沙土与黄绵土配土比例为 25% 时,苜蓿幼苗的胞间 CO_2 浓度最高,为 $476.14 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,比最低值纯沙土($132.43 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)条件下增加了 3.59 倍,其它处理 50%、75%、100% 与最小值相比,分别增大了 3.07 倍、2.79 倍、2.18 倍。方差分析表明,配土比例为 25% 处理较其它 4 个处理均达到了显著性水平($P<0.05$)。

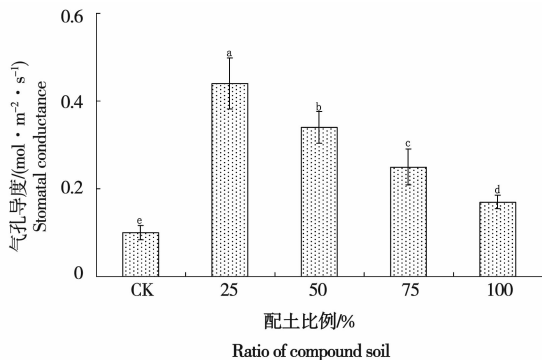


图 3 黄绵土不同配比对气孔导度的影响

Fig. 3 Effect of different ratios of compound soils on stomatal conductance

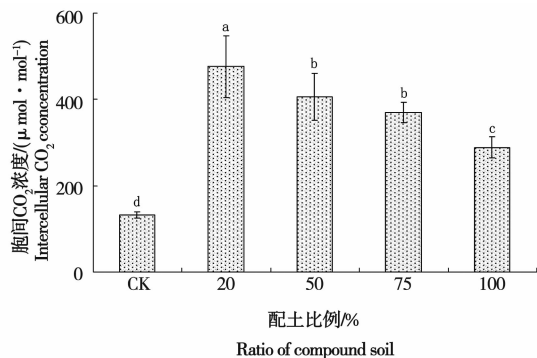


图 4 黄绵土不同配比对胞间 CO_2 浓度的影响

Fig. 4 Effect of different ratios of compound soils on intercellular CO_2 concentration

2.5 黄绵土不同配比对苜蓿水分利用效率的影响

本文水分利用效率是以净光合速率与蒸腾速率的比值来表示。苜蓿幼苗的水分利用效率随着黄绵土比例的增加呈现先升高后降低的趋势,最大值($2.93 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$)出现在配土比例 25% 处理,最小值 $1.04 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 出现在配土比例为 100% 处理,最高值较最低值升高了 2.81 倍,最大值较 CK 升高了 2.03 倍。方差分析后发现,配土比例为 25% 处理较其它 4

个处理均达到了显著性水平($P<0.05$)。

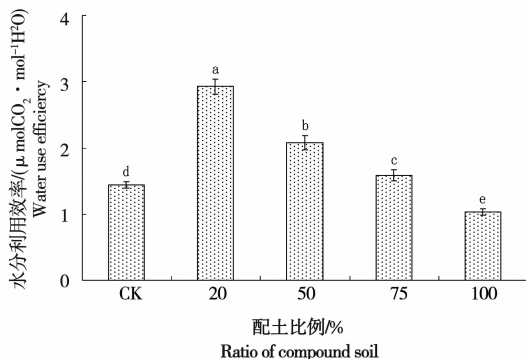


图 5 黄绵土不同配比对水分利用效率的影响

Fig. 5 Effect of different ratios of compound soils on water use efficiency

2.6 不同处理下苜蓿幼苗光合作用综合评价

不同复配土配比对苜蓿幼苗生长的影响是一个错综复杂的过程。在特定的土壤配比下,用单一的因素或指标,对苜蓿幼苗生长影响进行评价是不科学的,也不能说明苜蓿幼苗生长的本质,所以本研究选取隶属函数法对苜蓿幼苗光合特性指标进行了综合评价。将各指标的隶属函数值求和后再求平均值,对最终的均值进行排序,序号的大小可以用来说明综合评价的好坏。其中,序号越小说明综合评价结果越好,用以反映不同处理对苜蓿幼苗光合作用的综合影响,从而筛选最有利于苜蓿幼苗生长的复配土配比。各指标隶属函数值按公式计算:

若指标与苜蓿生长呈正相关,则

$$X = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

若指标与苜蓿生长呈负相关,则

$$X = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: X 为测定值的平均值; X_{\max}/X_{\min} 分别指测定值的最大值和最小值。

由表 1 不同处理苜蓿幼苗光合作用综合评价表可知,苜蓿幼苗各指标隶属函数平均值大小顺序为 25% > 50% > 75% > CK > 100%。配土比例为 25% 处理时,苜蓿幼苗光合指标隶属函数平均值达到最大,其值为 0.68。配土比例为 100% 处理时,苜蓿幼苗光合指标隶属函数平均值最小,其值为 0.44,最大值较最小值增加了 54.55%。即在风沙土与黄绵土体积比为 25% 处理时,苜蓿幼苗光合综合指标与其它处理相比较强,对苜蓿的光合作用效果最强。

表 1 不同处理苜蓿幼苗光合作用综合评价

Table 1 Comprehensive evaluation of photosynthesis of *Medicago sativa* under different ratio

处理/% Treatments	Pn	Tr	Gs	Ci	WUE	均值 Average	排序 Order
0	0.47	0.44	0.45	0.51	0.44	0.46	4
25	0.79	0.70	0.63	0.58	0.72	0.68	1
50	0.54	0.49	0.59	0.64	0.68	0.59	2
75	0.66	0.46	0.55	0.38	0.47	0.50	3
100	0.41	0.51	0.44	0.41	0.42	0.44	5

3 结论与讨论

随着黄绵土配比的逐渐增大,苜蓿幼苗 Pn、Gs、Ci 和 WUE 均呈现先升高后降低的趋势,这与张文^[1]、邓恒芳^[8]、王克勤^[9]等分别对榆叶梅、石榴和金矮生苹果在不同土壤水分条件下光合作用的研究结果基本一致。原因是在较低的土壤水分条件下,水分是光合作用的主要限制因子,由于土壤水分的持续升高,导致植物体内水分也有所上升,气孔张开,从而使其 Pn、Gs、Ci 和 WUE 升高,光合作用逐渐受到促进。然而,当黄绵土的比例为 50%时,Pn、Gs、Ci 和 WUE 均呈现出下降的趋势,原因是在较高的土壤水分条件下,水分并不是光合作用的主要限制因子,而此时与高水分条件下的土壤温度、植株体内温度和环境温度所导致的酶活性变化有关。同时,研究表明,土壤含水量为 16%时,苜蓿的净光合速率最高,且存在明显的土壤含水量阈值^[10]。此外,气孔导度对环境因子的变化十分敏感^[11]。适宜的光强有利于气孔开张,气孔阻力降低,气孔导度增大。气孔导度是植物气孔传导 CO₂ 和水的能力,它的变化首先影响水分的交换,其次是 CO₂ 的交换,进而影响水分利用效率^[12],它可以调节植物的碳固定和水分散失的平衡关系,从而对光合作用与蒸腾作用有一定的调节功能,气孔关闭,CO₂ 和水汽无法从外界进入到植物体内,所以 Pn、Gs、Ci 之间都呈现出一致的变化趋势,相关分析结果也证明了这一点。这与邢月华等^[13]的研究结果基本一致。

配土比例在 25%的处理下,苜蓿幼苗光合特性指标的综合评价指数最高。随着黄绵土比例的提高或降低,苜蓿幼苗各指标隶属函数平均值均基本维持在相近水平(变动范围为 0.44~0.59),这说明,较其它配土而言,风沙土和黄绵土配土比例为 25%时,对苜蓿的光合作用最有利。继而随着黄绵土比例的升高或降低,都会对苜蓿光合作

用产生不利影响。这与王猛^[14]、赵文丽^[15]、宋桂龙^[16],分别对野生茅和落草、运动场草坪草的研究结果一致。其主要原因是植物的光合和生长发育除了与不同复配土比例的有效含水量相关外,还与土壤通透性有关。虽然高粘性的土壤具有较强的持水性能,却对土壤通透性产生了负面影响,影响植物根系的正常呼吸,从而对植物的生长发育产生不利影响。

随着水资源的短缺,如何提高植物的水分利用效率,是节水农林业研究的关键。对于水分与光合作用之间的关系在农作物中已经有了广泛的研究^[17-20]。值得注意的是,植物吸收和利用土壤水分还与土壤水分的有效性有关。土壤水分的有效性随着土壤质地、盐分、水分形态、所受吸持力、根毛吸水力和移动难易不同而有显著差异。一般壤土中有效水含量比沙土和粘土多。沙土中虽然有大量的水分,但由于缺乏毛管结构,保持水分的能力很差,灌溉后多以无效水渗漏;粘土虽然可保持较多水分,但由于吸持力大,能释放出的、可以被植物利用的有效水却不多。本试验中,当黄绵土配比逐渐增大,后期土壤中过多的水分含量会对苜蓿的生长产生水分胁迫。此外,25%的最适配土比例说明苜蓿具有较高的适应干旱能力,罗永忠等^[21]的研究也证明了这一点。

随着黄绵土配比的逐渐增大,苜蓿幼苗 Pn、Gs、Ci 和 WUE 均呈现先升高后降低的趋势,Tr 表现为不断升高的趋势。5 个配土比例下,Pn、Gs、Ci 和 WUE 最大值出现在风沙土与黄绵土 25%的配土比例下。配土比例为 100%处理时,Tr 的值最大。Pn、Tr、Gs、Ci 和 WUE 与纯沙土处理相比,均达到显著水平。利用隶属函数法对不同处理苜蓿幼苗光合作用各指标进行综合评价,结果表明风沙土与黄绵土 25%的配土比例下光合特性指标的综合评价指数最高,即风沙土与

黄绵土体积比 25% 的土壤配比更能促进苜蓿的光合作用。

参考文献:

- [1] 张文. 复配土对榆叶梅幼苗光合作用的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- [2] 曹丽花, 赵世伟, 赵勇钢, 等. 土壤结构改良剂对风沙土水稳性团聚体改良效果及机理的研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 65-68.
- [3] 尹强. 苜蓿干草调制贮藏技术时空异质性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [4] 孙启忠. 我国西北地区苜蓿种子产业化发展优势与对策[J]. 草业科学, 2000, 17(2): 65-59.
- [5] 黄玺, 李春杰, 南志标. 紫花苜蓿与醉马草的竞争效应[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 59-65.
- [6] 孙洪仁, 张英俊, 历卫宏, 等. 北京地区紫花苜蓿建植当年的耗水系数和水分利用效率[J]. 草业学报, 2007, 16(1): 41-46.
- [7] 王俊, 刘文兆, 钟良平, 等. 长期连续种植苜蓿草地上部分生物量与土壤水分的空间差异性[J]. 草业学报, 2009, 18(4): 41-46.
- [8] 邓恒芳, 王克勤. 土壤水分对石榴光合速率的影响[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(3): 277-281.
- [9] 王克勤, 王斌瑞. 土壤水分对金矮生苹果光合速率的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 206-214.
- [10] 于晓娜, 赵杰, 祁瑜, 等. 羊草和紫花苜蓿生长特征及光合特性对不同土壤水分的响应[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6067-6075.
- [11] 谢田玲, 沈禹颖, 邵新庆, 等. 黄土高原 4 种豆科牧草的净

光合速率和蒸腾速率日动态及水分利用效率[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1679-1686.

- [12] 刘庚山, 郭安红, 任三学, 等. 不同覆盖对夏玉米叶片光合和水分利用效率日变化的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 152-156.
- [13] 邢月华, 谢甫锦, 汪仁, 等. 钾肥对苜蓿光合特性和品质的影响[J]. 草业科学, 2005, 22(12): 40-43.
- [14] 陈士超, 王猛, 高永, 等. 风沙土与黄绵土复配对榆叶梅幼苗光合特性及长势的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(4): 96-101.
- [15] 赵文丽, 王艳荣, 花梅, 等. 野生羊茅和落草在不同沙/土配比坪床上的生长适应性[J]. 中国草地学报, 2011, 33(1): 18-23.
- [16] 宋桂龙. 运动场草坪土壤配比及其对草坪草生长影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [17] 刘东霞, 刘贵河, 杨志敏. 种植及收获因子对紫花苜蓿干草产量和茎叶比的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(3): 48-57.
- [18] 沈国强, 郑海峰, 雷振锋. SPEI 指数在中国东北地区干旱研究中的适用性分析[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 1-9.
- [19] Philip J R. Plant water relations: Some physical aspects[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1966, 17: 245-268.
- [20] Zur B, Jones J W. A model for the water relations, photosynthesis, and expensive growth of crop[J]. Water Resources Research, 1981, 17(2): 311-320.
- [21] 罗永忠, 成自勇. 水分胁迫对紫花苜蓿叶水势、蒸腾速率和气孔导度的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(2): 215-221.

Effects of Compound Soil Ratio on Photosynthesis of *Medicago sativa* Seedlings

PAN Xia¹, GAO Yong¹, LIU Zong-qi¹, REN Yu²

(1. College of Desert Control and Management, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018; 2. Inner Mongolia Ecological Environment Professional College, Ordos, Inner Mongolia 017000)

Abstract: In order to efficiently use aeolian sandy soil, the aeolian sand and loess soil ratio was set as 0%, 25%, 50%, 75% and 100% respectively for observation and analysis, the effect of different compound soil ratio on photosynthesis of *Medicago sativa* seedlings was studied. The results showed that photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), intercellular CO_2 concentration (C_i) and water use efficiency (WUE) of *Medicago sativa* were increased at first and then decreased, while transpiration rate (Tr) showed a rising trend with the loess soil ratio increased gradually. Each index was at significant level compared with CK. The maximum photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), intercellular CO_2 concentration (C_i) and water use efficiency (WUE) were occurred in 25% treatment. However, transpiration rate (Tr) was at maximum in 100% treatment. Using subordinate function to evaluate comprehensively, it was showed that comprehensive evaluation index of *Medicago sativa* was at the highest in 25% treatment, indicating that the aeolian sand and loess soil at 25% ratio was better to promote the growth of *Medicago sativa* seedlings.

Keywords: compound soil; *Medicago sativa*; photosynthesis; subordinate function