

土壤不同砂砾含量对油茶生理生化指标的影响

廖皎, 渠心静, 刘书彤, 王楠, 唐润玉, 李建安*

中南林业科技大学, 经济林培育与保护省部共建教育部重点实验室, 长沙410004

摘要: 为探明土壤不同砂砾含量对油茶生长及生理生化指标的影响, 以油茶‘湘林210’为试验材料, 设置4个砂砾含量处理, 分别为0%、15%、30%、45%。处理1年后测定植物生长及生理生化指标。结果表明: 与不添加砂砾相比, 在土壤中添加15%的砂砾促进了根系伸长; 叶片的光合能力在土壤添加15%砂砾时达到最大, 同时油茶叶和根的氮、磷、钾含量明显增多; 土壤添加15%的砂砾提高了油茶叶和根的POD、SOD和CAT活性, 降低了H₂O₂和MDA含量, 增加了游离脯氨酸含量和可溶性糖含量; 土壤添加15%砂砾提高了NR和NiR活性, 提高了游离氨基酸和可溶性蛋白含量。该研究表明适宜的土壤砂砾含量对油茶的生长有显著促进作用, 当土壤砂砾含量为15%时提高了油茶植株干物质累积及根系伸长, 提高光合能力, 促进养分吸收; 提高植株活性氧清除能力, 增强细胞渗透调节能力, 有利于维持内环境稳定; 同时, 增强碳氮代谢能力, 促进有机物合成。

关键词: 油茶; 砂砾含量; 生长; 光合; 抗氧化酶; 渗透调节

油茶(*Camellia oleifera*)是山茶科山茶属植物, 是我国特有的木本食用油料树种(朱勇等2013)。因其油脂中不饱和脂肪酸含量高, 是健康的食用油, 被誉为“东方橄榄油”, 与橄榄、油棕、椰子并称为世界四大木本油料树种(李志晓等2015)。油茶因其根系发达, 耐旱耐瘠薄能力强, 在我国南方低山丘陵地区广泛种植, 种植面积达 3.67×10^6 hm², 其中以湖南、江西、广西种植面积最广(乔航等2019)。随着市场需求量的增加以及国家的大力扶持, 油茶的种植面积不断扩大, 但目前油茶产量低、效益低、栽培管理缺乏科学性等问题仍待改善(彭邵锋等2012)。

土壤质地是影响植物生长的重要因素(贾立华等2013)。我国南方红壤区土壤风化程度高, 多为粒径较小的黏土, 其通气透水性差, 使得土壤与大气之间气体交换能力减弱, 易产生还原性气体, 对植物生长产生不利影响(孙波等2018); 此外, 黏粒土壤质地紧实易于板结, 影响根系生长(葛楠楠等2017)。而我国南方低山丘陵区土层薄弱, 土壤砂石含量高, 通透性强, 保水保肥性差, 对于林木的生长亦有不利影响(赵其国等2013)。油茶作为我国南方红壤区的重要经济树种, 高温干旱以及立地条件等因素对油茶产量有明显的影响(刘洁等2017)。但是, 目前土壤质地和通气透水性影响油茶生长方面的研究甚少。因此, 探究油茶最适生长的土壤

质地对促进油茶生长发育、提高产量等有积极作用。本试验通过在土壤中添加不同含量的砂砾改变土壤质地、改善土壤通气透水性来研究其对油茶生长、光合及生理生化指标的影响, 以期探索油茶种植的适宜土壤环境及水分要求提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在中南林业科技大学林学院苗圃基地进行, 以油茶(*Camellia oleifera* Abel.)优良品种‘湘林210’为试验材料。2018年7月14日选取长势一致的3年生扦插苗移栽。试验土壤为第四纪网纹红壤, 砂砾直径为5~8 mm。

1.2 试验设计

试验采用盆栽试验, 土壤和砂砾按体积比混合均匀, 设置土壤中砂砾含量分别为0 (H1)、15% (H2)、30% (H3)、45% (H4), 共4个处理, 每个处理3次重复, 采用随机区组设计, 每组重复12株。供试容器为塑料盆(高31 cm, 上口径27.5 cm, 下口径22 cm)。盆栽苗放于露天苗圃, 进行正常的养护管理, 处理1年后进行各项指标测定。

收稿 2019-12-23 修定 2020-03-25

资助 湖南省科技重大专项专题项目(2018NK1030)。

* 通讯作者(lja0731@126.com)。

1.3 生长指标的测定

用米尺与游标卡尺分别测定油茶植株的苗高和地径后,收获苗木,将苗木分为根、茎、叶3部分。各部分洗净擦干并测定鲜重后,放入110℃烘箱中杀青30 min,然后调至60℃烘干至恒重,测定干重。根系构型分析是将各处理的新鲜根系冲洗干净,用Epson EU-88根系扫描仪扫描根系,并用WinRhizo Pro 2013软件分析根系长度、平均直径、表面积、体积、根尖数等根系构型参数。

1.4 光合特性测定

选择晴朗天气,用LI-6400XT光合仪测定油茶当年生枝条第2片叶的净光合速率(net photosynthetic rate, P_n)、蒸腾速率(transpiration rate, T_r)、气孔导度(stomatal conductance, G_s)、胞间 CO_2 浓度(intercellular CO_2 concentration, C_i)。光照强度设置为1 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,温度设置为25℃, CO_2 浓度设置为400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。测定时间为9:00~11:00。

1.5 油茶养分含量的测定

将烘干至恒重的油茶根和叶粉碎过筛用于氮(N)、磷(P)、钾(K)含量测定。各处理样品消解后用全自动间断式化学分析仪测定氮、磷含量,用火焰光度计测定钾含量(鲁如坤2000)。

1.6 油茶丙二醛、游离脯氨酸、可溶性糖含量测定

参照王学奎和黄见良(2015)的方法测定丙二醛(malondialdehyde, MDA)、游离脯氨酸、可溶性糖含量。丙二醛含量采用硫代巴比妥酸法测定,游离脯氨酸含量采用茚三酮显色法测定,可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定。

1.7 油茶抗氧化酶活性及 H_2O_2 含量测定

过氧化物酶(peroxide, POD)和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的测定采用北京索莱宝科技有限公司生产的试剂盒,过氧化氢酶(catalase, CAT)活性采用紫外吸收法测定(Jablonski和Anderson 1981),过氧化氢(hydrogen peroxide, H_2O_2)含量采用二甲酚橙法测定(张志良等2016)。

1.8 游离氨基酸、可溶性蛋白、NR和NiR活性的测定

游离氨基酸、可溶性蛋白含量测定均参照王学奎和黄见良(2015)的方法。游离氨基酸含量采用茚三酮溶液显色法测定,可溶性蛋白含量采用考马

斯亮蓝G-250法测定。硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)和亚硝酸还原酶(nitrite reductase, NiR)活性的测定采用北京索莱宝科技有限公司生产的试剂盒。

1.9 数据处理

使用Excel 2010软件进行绘图和数据处理。用SPSS 22计算均值、单因素方差分析,其中,单因素方差分析采用Duncan进行比较。

2 实验结果

2.1 土壤不同砂砾含量对油茶生长的影响

由表1可知, H2、H3、H4处理的油茶株高、地径、地上部分干重、地下部分鲜重和干重、根冠比以及植株干重与H1处理无明显差异, H2处理的油茶株高、地径、地上部分鲜重和干重、地下部分鲜重和干重以及植株干重均略高于其余处理, H4处理的油茶地上部分鲜重显著低于其余处理。表明土壤中添加砂砾对油茶植株的生长和生物量累积无明显促进作用。

2.2 土壤不同砂砾含量对油茶根系生长的影响

由表2可知, H2、H3、H4处理的油茶根总面积、根平均直径、根总体积与H1处理无明显差异。H2处理的油茶根总长度和根尖数量显著高于其余处理, 而H4处理油茶的根总长度、根总面积、根平均直径、根总体积、根尖数量均低于其余处理。表明添加一定比例的砂砾对油茶根系生长有促进作用, 但是超过这个值对油茶根系生长无明显促进甚至产生抑制作用。

2.3 土壤不同砂砾含量对油茶叶片光合特性的影响

如图1-A所示, H2处理油茶叶片 P_n 显著高于H1、H3和H4处理, 分别提高了21.04%、20.52%、61.74%; H2处理油茶叶片 G_s 显著高于其余处理, H1、H3和H4处理间无显著差异(图1-B); 油茶叶片 C_i 在各处理间无明显差异(图1-C); T_r 以H2处理最高, 其次是H1和H3处理, H4处理 T_r 显著低于H2处理(图1-D)。

2.4 土壤不同砂砾含量对油茶养分含量的影响

油茶植株各部位氮、磷、钾含量测定结果见表3。油茶植株叶和根氮含量均是H2处理最高; 随着添加砂砾含量的增多叶的氮含量先显著上升后显著下降, 而根的氮含量随砂砾含量增多变动幅

表1 土壤不同砂砾含量对油茶生长的影响

Table 1 Effects of different gravel contents in soil on the growth of *C. oleifera*

处理	株高/cm	地径/cm	地上部		地下部		根冠比	植株干重/g·株 ⁻¹
			鲜重/g·株 ⁻¹	干重/g·株 ⁻¹	鲜重/g·株 ⁻¹	干重/g·株 ⁻¹		
H1	91.60±3.05 ^{ab}	1.31±0.12 ^{ab}	98.23±6.53 ^a	46.77±5.92 ^{ab}	85.77±6.27 ^{ab}	31.20±3.34 ^{ab}	0.67±0.07 ^a	77.97±8.40 ^{ab}
H2	98.43±2.49 ^a	1.55±0.14 ^a	100.19±6.84 ^a	49.51±2.05 ^a	93.90±5.38 ^a	35.60±2.63 ^a	0.72±0.05 ^a	85.12±3.73 ^a
H3	93.77±5.52 ^{ab}	1.27±0.28 ^{ab}	91.58±4.95 ^a	46.62±6.92 ^{ab}	82.28±10.64 ^{ab}	32.20±4.33 ^{ab}	0.69±0.02 ^a	78.82±11.19 ^{ab}
H4	87.60±4.81 ^b	1.17±0.12 ^b	78.54±1.39 ^b	37.76±2.14 ^b	76.87±4.73 ^b	26.75±2.57 ^b	0.71±0.05 ^a	64.52±4.35 ^b

同一指标数据用不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 表2同。

表 2 土壤不同砂砾含量对油茶苗根系生长的影响

Table 2 Effects of different gravel contents in soil on root growth of *C. oleifera*

处理	根总长度/m	根总表面积/cm ²	根平均直径/mm	根总体积/cm ³	根尖数量/10 ³ 个
H1	99.80±4.08 ^b	1 978.59±176.61 ^{ab}	0.64±0.01 ^a	31.67±2.23 ^{ab}	14.59±1.95 ^c
H2	112.39±0.54 ^a	2 299.34±159.22 ^a	0.65±0.04 ^a	37.86±4.84 ^a	29.83±1.64 ^a
H3	89.37±3.57 ^c	1 821.16±94.93 ^{ab}	0.65±0.01 ^a	29.74±1.98 ^{ab}	21.27±0.61 ^b
H4	69.26±4.26 ^d	1 344.06±387.66 ^b	0.62±0.03 ^a	21.05±6.75 ^b	20.30±1.16 ^b

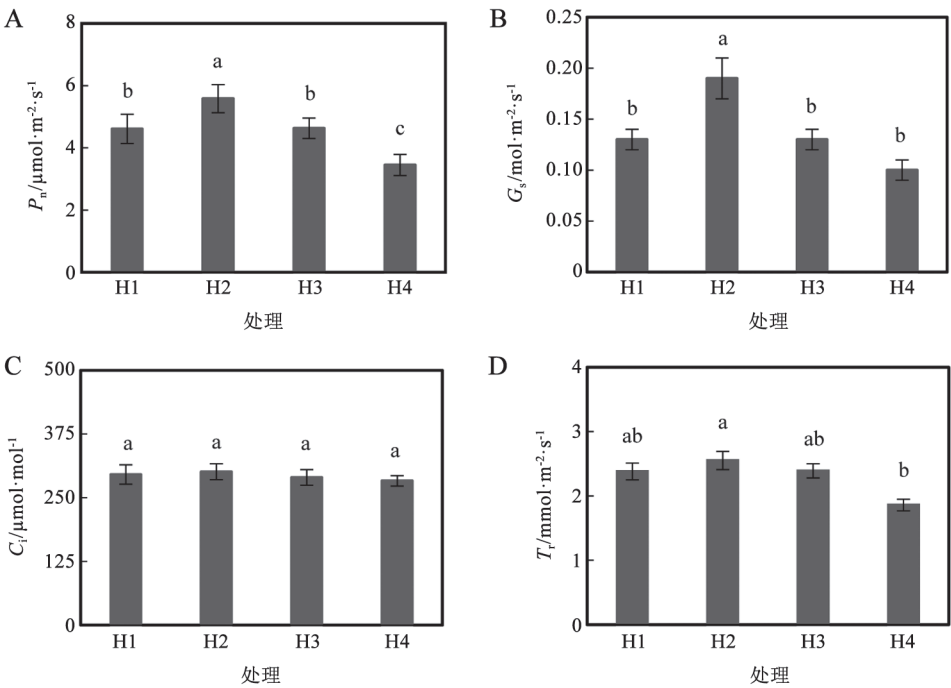


图1 土壤不同砂砾含量对油茶光合作用的影响

Fig.1 Effects of different gravel contents in soil on photosynthesis of *C. oleifera*

柱形图上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

度较小。H3和H2处理油茶叶的磷含量显著高于其他处理,二者无明显差异;油茶根的磷含量以H2处理最高, H2处理根的磷含量显著高于其他处理,四个处理根的磷含量顺序为: H2>H3>H4>H1。油茶

表3 土壤不同砂砾含量对油茶各器官养分含量的影响
Table 3 Effects of different gravel contents in soil on nutrient content in *C. oleifera* organs

处理	部位	氮/g·kg ⁻¹	磷/g·kg ⁻¹	钾/g·kg ⁻¹
H1	叶	7.80±0.18 ^c	0.57±0.01 ^b	3.38±0.18 ^c
	根	7.75±0.40 ^a	0.52±0.01 ^c	6.50±0.13 ^a
H2	叶	11.37±0.08 ^a	0.79±0.08 ^a	4.88±0.18 ^a
	根	8.33±0.06 ^a	0.73±0.03 ^a	6.76±0.01 ^a
H3	叶	9.84±0.23 ^b	0.83±0.05 ^a	4.25±0.35 ^{ab}
	根	7.98±0.03 ^a	0.59±0.02 ^b	5.13±0.53 ^b
H4	叶	9.57±0.27 ^b	0.58±0.03 ^b	4.13±0.18 ^b
	根	6.08±0.34 ^b	0.57±0.03 ^{bc}	4.12±0.15 ^c

同一器官同一指标数据用不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

叶和根的钾含量随砂砾含量的增多先上升后降低,均以H2处理含量最高,四个处理叶和根的钾含量顺序分别为: H2>H3>H4>H1、H2>H1>H3>H4。

2.5 土壤不同砂砾含量对MDA、游离脯氨酸、可溶性糖含量的影响

如图2-A所示,油茶叶片和根的MDA含量随

土壤砂砾含量的增加先降低后上升, H2处理含量最低, H4处理含量最高。油茶叶片和根的游离脯氨酸、可溶性糖含量均是H2处理最高, 其余处理间无明显差异(图2-B和C)。

2.6 土壤不同砂砾含量对油茶抗氧化酶及H₂O₂含量的影响

如图3-A~C所示, 随砂砾含量的增多油茶叶和根的POD、SOD、CAT活性均先上升后下降, 均在H2处理时活性最高, 油茶根的SOD和CAT活性均高于叶。H₂O₂含量先降低后上升, 在H2处理时达到最低, 油茶叶片的H₂O₂含量高于根(图3-D)。

2.7 土壤不同砂砾含量对油茶NR和NiR活性以及游离氨基酸和可溶性蛋白含量的影响

如图4-A和B所示, 提高土壤砂砾含量均对油茶NR和NiR活性有显著影响。油茶叶和根的NR和NiR活性随土壤砂砾含量的增多先上升, 随后下降, 均在H2处理时活性最高。H1处理的油茶叶片游离氨基酸含量低于其余处理, H2处理最高, 油茶根的

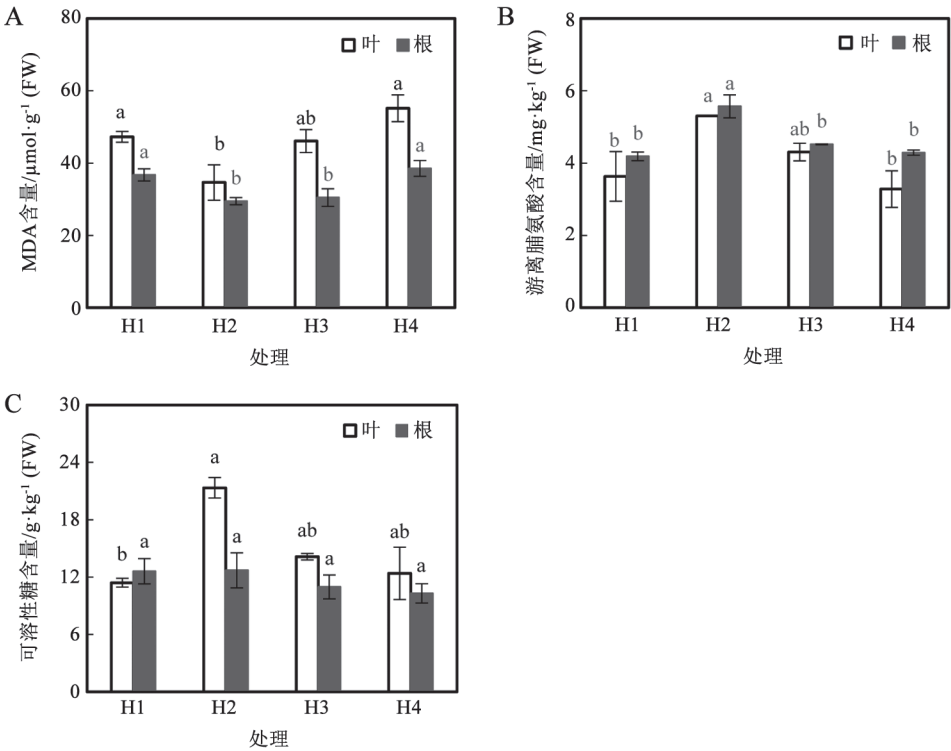
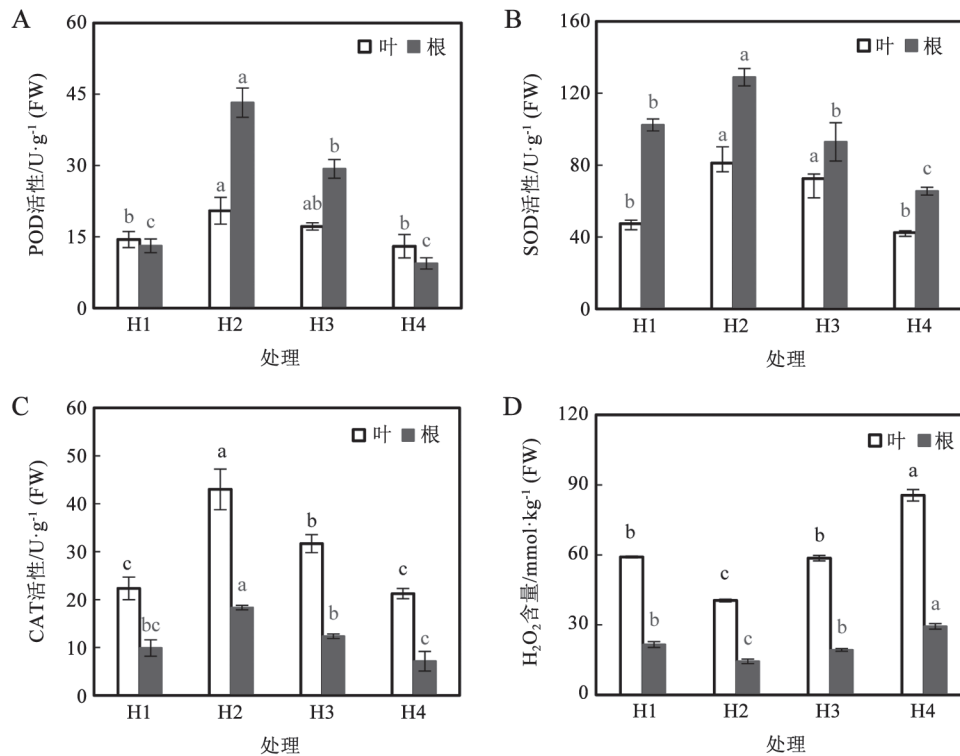


图2 土壤不同砂砾含量对油茶MDA、游离脯氨酸、可溶性糖含量的影响
Fig.2 Effects of different gravel contents in soil on MDA, free proline and soluble sugar contents of *C. oleifera*
同一器官柱形图上不同小写字母表示差异显著(P<0.05), 下同。

图3 土壤不同砂砾含量对油茶抗氧化酶活性及H₂O₂含量的影响Fig.3 Effects of different gravel contents in soil on antioxidant enzyme activities and H₂O₂ content of *C. oleifera*

游离氨基酸含量在各处理间差异不显著(图4-C)。H1处理后油茶叶的可溶性蛋白含量与其余处理均无显著差异; 油茶根的可溶性蛋白含量在H2处理时含量最高, H1、H3和H4处理间无明显差异(图4-D)。

3 讨论

土壤质地是影响植物生长的重要因素, 南方酸性红壤风化程度高、土壤粒径小、通气透水性差, 严重影响植物生长发育, 而在土壤中添加砂砾可以改善土壤的通透性, 促进植物的生长发育。本实验表明随着土壤砂砾含量增加, 油茶‘湘林210’的各生长指标和N、P、K等养分含量均随着砂砾含量的增多先上升后降低, 在土壤砂砾含量为15%时各指标最高。表明土壤中添加适量的砂砾, 可以增加土壤的通气透水性(Heisner等2004), 使水、肥、气、热达到平衡状态(杨启良等2015), 有助于增强根系活动和根系吸收能力(Niu等2012), 促进植物根系的生长吸收, 提高油茶植株干物质

的累积; 而过多的砂砾不利于根系的延伸, 抑制根系的伸长, 同时, 过多的砂砾导致土壤保水保肥性变差, 不利于根系吸收养分和水分。

植物生命活动需要的能量是通过光合作用合成有机物完成的(高冠龙等2018)。一般情况下, 逆境胁迫会导致植物叶片的光合速率下降, 从而影响碳水化合物的累积(惠基运等2019)。本研究发现, 各处理油茶叶片C_i无明显变化, 但是叶片G_s、T_i和P_n均随着砂砾含量的增加先上升后下降。在砂砾含量为15%时光合作用最强, 砂砾含量45%时光合作用最弱。高含量的砂砾使土壤中的含水量显著下降, 根系生长受到抑制。植物根系吸收水分的能力受到阻碍使体内水分缺乏, 植物通过降低T_i和G_s来维持植物体内基本代谢活动(董斌等2018)。P_n是植物光合能力最直接的体现, 直接决定着植物光合作用的强弱(杨标等2017)。影响光合速率的因素分为气孔因素和非气孔因素(李泽等2017)。气孔关闭引起的光合速率降低一般会导致C_i降低, 而本研究各处理间C_i无明显变化, 表明油

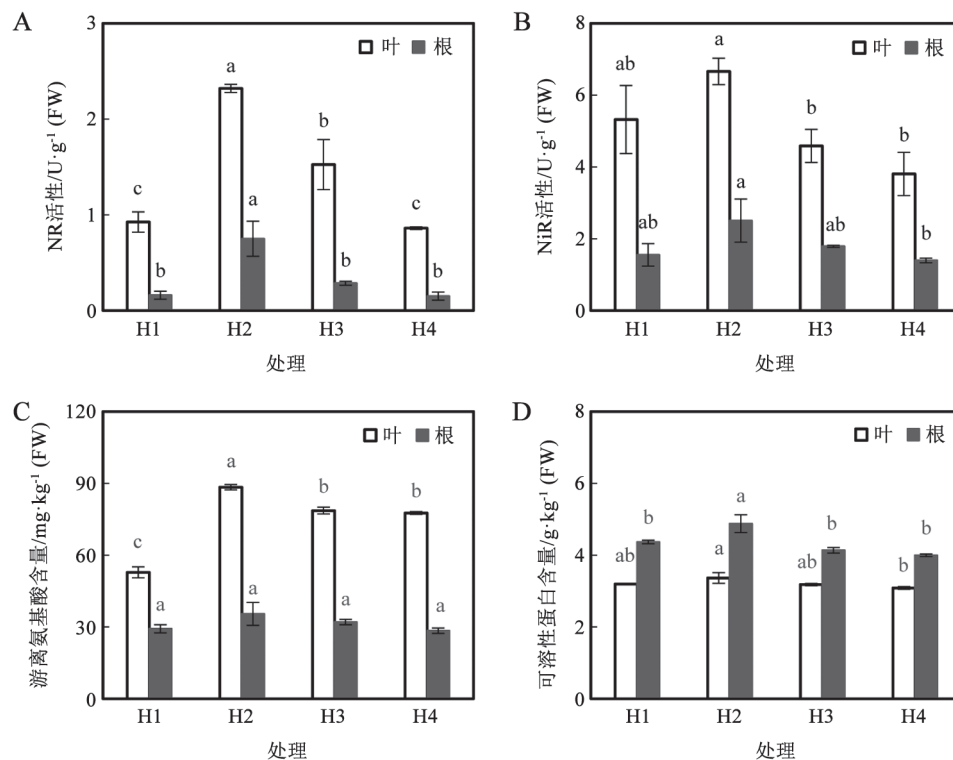


图4 土壤不同砂砾含量对油茶NR和NiR活性以及游离氨基酸和可溶性蛋白含量的影响

Fig.4 Effects of different gravel contents in soil on NR and NiR activities, free amino acid and soluble protein contents of *C. oleifera*

茶光合速率的下降不是气孔因素导致的,可能是长期的胁迫使得光合系统受到损伤,逐渐转变为非气孔因素的光合抑制。

植物主要以硝酸盐和氨的形式从土壤中吸收氮元素,硝态氮需还原为氨才能供植物吸收利用,硝酸还原过程需要NR和NiR的参与(Kyaing等2011)。植物吸收的 NO_3^- 经NR还原为 NO_2^- , NO_2^- 进入原生质体后在NiR的作用下还原为 NH_4^+ 用于含氮化合物的合成(杨洪兵2013)。本实验结果表明, H2处理提高了含氮化合物游离氨基酸和可溶性蛋白的合成,促进了根和叶的氮同化,显著诱导了NR和NiR活性的提高,增强了氮代谢。同时, H2处理增强了油茶叶片光合碳同化速率,使得油茶叶片和根系可溶性糖含量显著提高,增强了植株的碳代谢。

植物自身代谢与逆境胁迫时必定会产生活性氧(reactive oxygen species, ROS),而过量产生的ROS能导致脂质、蛋白、核酸等生物大分子的氧化损伤(Møller等2007; 王玉魁等2010),甚至导致植物死

亡,而SOD将植物体内 O_2^- 歧化为 H_2O_2 和 O_2 , POD和CAT催化分解 H_2O_2 为 H_2O 和 O_2 ,从而降低ROS的累积(Quan等2008)。本研究表明, H2处理显著提高了SOD、POD、CAT的活性,促进ROS的清除,而MDA含量在H2处理时最低,进一步表明ROS的有效清除降低了膜脂过氧化损伤。同时, H2处理脯氨酸的提高有效维持了细胞的渗透平衡,为油茶生长提供稳定的细胞内环境(王娟和李德全2001)。

在土壤中添加砂砾(15%)能提高土壤的通透性,促进油茶植株生长和养分吸收,光合作用提高,提高了叶和根的碳氮代谢,同时,提高了油茶抗氧化酶活性,清除植物体内活性氧,增加体内渗透调节物质,促进油茶生长发育。但高含量的砂砾(>30%)导致土壤保水保肥能力降低,根生长吸收受到抑制,油茶的生长、光合作用减弱,各养分吸收、酶活性和渗透调节能力降低,抑制了油茶生长。

参考文献(References)

Dong B, Wei XF, Lan LJ, et al (2018). Effects of drought

- stress on photosynthetic characteristics of four *Camellia oleifera* clones. Non-wood For Res, 36 (4): 9–15 (in Chinese with English abstract) [董斌, 韦雪芬, 蓝来娇等(2018). 干旱胁迫对4个油茶品种光合特性的影响. 经济林研究, 36 (4): 9–15]
- Gao GL, Feng Q, Zhang XY, et al (2018). An overview of stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis of plants. Arid Zone Res, 35 (4): 929–937 (in Chinese with English abstract) [高冠龙, 冯起, 张小由等(2018). 植物叶片光合作用的气孔与非气孔限制研究综述. 干旱区研究, 35 (4): 929–937]
- Ge NN, Shi Y, Yang XL, et al (2017). Distribution of soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and water stable aggregates of cropland with different soil textures on the Loess Plateau, Northwest China. Chin J Appl Ecol, 28 (5): 1626–1632 (in Chinese with English abstract) [葛楠楠, 石芸, 杨宪龙等(2017). 黄土高原不同土壤质地农田土壤碳、氮、磷及团聚体分布特征. 应用生态学报, 28 (5): 1626–1632]
- Heisner U, Raber B, Hildebrand EE (2004). The importance of the soil skeleton for plant-available nutrients in sites of the Southern Black Forest, Germany. Eur J Forest Res, 123 (4): 249–257
- Hui JY, Xiao W, Chen CY, et al (2019). Effects of spraying defoliant on photosynthetic characteristics and fruit quality in greenhouse peach. Plant Physiol J, 55 (5): 676–684 (in Chinese with English abstract) [惠基运, 肖伟, 陈春燕等(2019). 喷施脱叶剂对设施桃树光合特性和果实品质的影响. 植物生理学报, 55 (5): 676–684]
- Jablonski PP, Anderson JW (1981). Light-dependent reduction of dehydroascorbate by ruptured pea chloroplasts. Plant Physiol, 67 (6): 1239–1244
- Jia LH, Zhao CX, Wang YF, et al (2013). Effects of different soil textures on the growth and distribution of root system and yield in peanut. Chin J Plant Ecol, 37 (7): 684–690 (in Chinese with English abstract) [贾立华, 赵长星, 王月福等(2013). 不同质地土壤对花生根系生长、分布和产量的影响. 植物生态学报, 37 (7): 684–690]
- Li Z, Tan XF, Lu K, et al (2017). Influence of drought stress on the growth, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence in two varieties of tung tree seedlings. Acta Ecol Sin, 37 (5): 1515–1524 (in Chinese with English abstract) [李泽, 谭晓风, 卢锟等(2017). 干旱胁迫对两种油桐幼苗生长、气体交换及叶绿素荧光参数的影响. 生态学报, 37 (5): 1515–1524]
- Li ZX, Jin QZ, Ye XF, et al (2015). Changes of bioactive constituents and antioxidant activity of oil-tea camellia seed oil during refining. China Oils Fats, 40 (8): 1–5 (in Chinese with English abstract) [李志晓, 金青哲, 叶小飞等(2015). 精炼过程中油茶籽油活性成分和抗氧化性的变化. 中国油脂, 40 (8): 1–5]
- Liu J, Li M, Wu LC (2017). Soil fertility quality indicators and evaluation of the soil of *Camellia oleifera* in southern China red regions. J Northwest For Univ, 32 (4): 73–80 (in Chinese with English abstract) [刘洁, 李茗, 吴立潮(2017). 南方红壤区油茶林土壤肥力质量指标及评价. 西北林学院学报, 32 (4): 73–80]
- Lu RK (2000). Soil Agrochemical Analysis Methods. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 50–226 (in Chinese) [鲁如坤(2000). 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 50–226]
- Kyaing MS, Gu LH, Cheng HM (2011). The role of nitrate reductase and nitrite reductase in plant. Curr Biotechnol, 1 (3): 159–164 (in Chinese with English abstract) [May Sandar Kyaing, 顾立江, 程红梅(2011). 植物中硝酸还原酶和亚硝酸还原酶的作用. 生物技术进展, 1 (3): 159–164]
- Møller IM, Jensen PE, Hansson A (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. Annu Rev Plant Biol, 58: 459–481
- Niu WQ, Jia ZX, Zhang X, et al (2012). Effects of soil rhizosphere aeration on the root growth and water absorption of tomato. Clean-Soil Air Water, 40 (12): 1364–1371
- Peng SF, Chen YZ, Ma L, et al (2012). The main business model of oil tea industry and its influencing factors. Chin For Sci Technol, 26 (5): 1–8 (in Chinese) [彭邵锋, 陈永忠, 马力等(2012). 油茶产业主要经营模式及其影响因素. 林业科技开发, 26 (5): 1–8]
- Quan LJ, Zhang B, Shi WW, et al (2008). Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. J Integr Plant Biol, 50 (1): 2–18
- Qiao H, Mo XQ, Luo YH, et al (2019). Patterns of soil ecoenzymatic stoichiometry and its influencing factors during stand development in *Camellia oleifera* plantations. Acta Ecol Sin, 39 (6): 1887–1896 (in Chinese with English abstract) [乔航, 莫小勤, 罗艳华等(2019). 不同林龄油茶人工林土壤酶化学计量及其影响因素. 生态学报, 39 (6): 1887–1896]
- Sun B, Liang L, Xu RK, et al (2018). Long-term research on red soil degradation and remediation promotes development of ecological recycling agriculture in hilly region of Southeast China. Bull Chin Acad Sci, 33 (7): 746–757 (in Chinese with English abstract) [孙波, 梁音, 徐仁扣等(2018). 红壤退化与修复长期研究促进东南丘陵区生态循环农业发展. 中国科学院院刊, 33 (7): 746–757]
- Wang J, Li DQ (2001). The accumulation of plant osmoticum and activated oxygen metabolism under stress. Chin Bull Bot, 18 (4): 459–465 (in Chinese with English abstract) [王娟, 李德全(2001). 逆境条件下植物体内渗透调节物

- 质的积累与活性氧代谢. 植物学通报, 18 (4): 459–465]
- Wang XK, Huang JL (2015). Principle and Technology of Plant Physiological and Biochemical Experiments. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 103–294 (in Chinese) [王学奎, 黄见良(2015). 植物生理生化实验原理与技术. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 103–294]
- Wang YK, Yan YX, Yu XX, et al (2010). Activity of protective enzymes of *Atriplex canescens* and its drought resistance physiological characters under drought stress. J Arid Land Resour Environ, 24 (10): 122–126 (in Chinese with English abstract) [王玉魁, 阎艳霞, 余新晓等(2010). 干旱胁迫下灰白滨藜保护酶活性及抗旱生理特性研究. 干旱区资源与环境, 24 (10): 122–126]
- Yang B, Liu ZZ, Peng FR, et al (2017). Growth and photosynthetic characteristics for pecan cultivars during drought stress and recovery, J Zhejiang Agric For Univ, 34 (6): 991–998 (in Chinese with English abstract) [杨标, 刘壮壮, 彭方仁等(2017). 干旱胁迫和复水下不同薄壳山核桃品种的生长和光合特性. 浙江农林大学学报, 34 (6): 991–998]
- Yang HB (2013). Effects of osmotic and salt stress on nitrate reductase and nitrite reductase activities of buckwheat. Crops, 29 (3): 53–55 (in Chinese with English abstract) [杨洪兵(2013). 渗透胁迫和盐胁迫对荞麦硝酸还原酶及亚硝酸还原酶活性的影响. 作物杂志, 29 (3): 53–55]
- Yang QL, Wu ZZ, Chen JJ, et al (2015). Research status of phytoremediation of heavy metals contaminated soil and prospects of water and fertilizer regulating technology. Ecol Environ Sin, 24 (6): 1075–1084 (in Chinese with English abstract) [杨启良, 武振中, 陈金陵等(2015). 植物修复重金属污染土壤的研究现状及其水肥调控技术展望. 生态环境学报, 24 (6): 1075–1084]
- Zhang ZL, Qu WJ, Li XF (2016). Experimental Guidance on Plant Physiology. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 103–270 (in Chinese) [张志良, 瞿伟菁, 李小方(2016). 植物生理学实验指导. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 103–270]
- Zhao QG, Huang GQ, Ma YQ (2013). The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures. Acta Ecol Sin, 33 (24): 7615–7622 (in Chinese with English abstract) [赵其国, 黄国勤, 马艳芹(2013). 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策. 生态学报, 33 (24): 7615–7622]
- Zhu Y, Wang XY, Ma JL, et al (2013). Oil content in seed and fatty acid composition in oil of different species of *Camellia oleifera*. Non-wood For Res, 31 (2): 134–137 (in Chinese with English abstract) [朱勇, 王湘莹, 马锦林等(2013). 不同物种油茶籽仁含油率及其茶油的脂肪酸组成. 经济林研究, 31 (2): 134–137]

Effects of different gravel contents in soil on physiological and biochemical indexes of *Camellia oleifera*

LIAO Jiao, QU Xinjing, LIU Shutong, WANG Nan, TANG Runyu, LI Jian'an*

Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-wood Forest Trees, Ministry of Education, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

Abstract: In order to find out the effect of different gravel contents in soil on the growth, physiological and biochemical indexes of *Camellia oleifera*, 'Xianglin210' seedlings were used as experimental materials in this study. Four gravel content treatments were set up, including 0, 15%, 30% and 45%, respectively. Growth status, physiological and biochemical indexes of seedlings were measured and analyzed after treatment for one year. The results showed that compared with no gravel, adding 15% gravel to the soil promoted root elongation of *C. oleifera*. The photosynthetic capacity of leaves reached the maximum when 15% gravel were added to the soil, and the content of nitrogen, phosphorus and potassium in roots and leaves of *C. oleifera* increased significantly. Adding 15% gravel in soil increased the POD, SOD and CAT activities, reduced the H₂O₂ and MDA content, and increased the free proline, soluble sugar content in leaves and roots of *C. oleifera*. The addition of 15% gravel to soil increased the activity of NR and NiR, and the content of free amino acid and soluble protein. This study indicated that the suitable gravel content had a significant promoting effect on the growth of *C. oleifera*, and when the soil gravel content was 15%, it increased the dry matter accumulation, root elongation and the photosynthetic capacity of *C. oleifera*, it also promoted nutrient absorption. It was beneficial to maintain the stability of internal environment by improving the scavenging ability of reactive oxygen species in plants, enhancing the ability of osmotic adjustment. Moreover, the ability of carbon and nitrogen metabolism and the synthesis of organic compounds were enhanced.

Key words: *Camellia oleifera*; gravel content; grow; photosynthesis; antioxidant enzyme; osmotic adjustment

Received 2019-12-23 Accepted 2020-03-25

This work was supported by Special Topics of Science and Technology in Hunan Province (2018NK1030).

*Corresponding author (lja0731@126.com).