

套种大豆和单施尿素对油桐生长和土壤理化性质的影响*

彭丽媛,熊兴政,欧阳,陈佳玉,袁孝谦,万盼,刘芸
(西南大学资源环境学院,重庆400716)

摘要:【目的】探索三峡库区油桐(*Vernicia fordii*)的科学种植方法。【方法】将1年生油桐林分为套种大豆(*Glycine max*)组、单施尿素组、对照组等3个处理组,观察和测定油桐生长指标、净光合速率、蒸腾速率和水分利用率日变化特征及土壤理化性质。【结果】株高、地径、叶面积指数增长量和水分利用率的日变化均值均表现为单施尿素组最高,然后依次是套种大豆组和对照组;净光合速率、蒸腾速率日变化均值则表现为单施尿素组最高,然后依次是对照组和套种大豆组;单施尿素组土壤pH值较对照组低7.42%且具有统计学意义($p < 0.05$),并且除有机质含量外,单施尿素组其他各个养分含量均高于对照组并具有统计学意义($p < 0.05$),但套种大豆组土壤pH值和养分含量与对照组相比差异没有统计学意义。【结论】合理施用尿素能明显提高油桐净光合速率和土壤肥力,促进油桐生长,但需要适时补充有机肥防止土壤板结;油桐幼林套种大豆在一定程度上能促进油桐生长,提高油桐水分和土地利用效率,是库区油桐产业可持续发展的有效措施。

关键词:油桐;套种大豆;尿素;生长;土壤理化性质

中图分类号:S36

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2017)01-0100-08

油桐(*Vernicia fordii*)是中国南方地区特有的一种油料树种,在造船、医学、高分子合成材料、涂料、建筑、环境保护等方面用途广泛^[1-4],目前油桐产业呈现出良好的发展态势。三峡库区曾是中国油桐主产地,但现存的油桐树质量良莠不齐,远不能满足市场需求^[4]。因此,大面积恢复和发展油桐林成为三峡库区油桐产业发展的必经之路。施肥无疑是促进油桐高产、稳产和提升品质的重要手段。然而三峡库区生态环境脆弱,土壤环境质量有恶化趋势,N、P利用率低且流失率较高^[5],面源污染严重^[6];因此油桐的大面积种植及肥料的不合理施用将会加剧三峡库区的面源污染。三峡库区油桐产业可持续发展更需要科学合理种植及抚育油桐^[7]。目前关于如何科学合理种植油桐的报道很少,而有关油桐幼林抚育的报道则更为少见。汪孝廉等人^[8]通过不同种类肥料的施肥实验后认为,对油桐幼林进行施肥的效果是显著的,可促进油桐生长,提前形成丰产的树体结构和提早结果。张晓冬^[9]提出,油桐在幼年抚育期间需在生长季节每株施尿素100g;在生长旺盛的7月间,进行重点施肥,每株施尿素150g。间作套种是提高种植效益、保护环境的有效手段。在油桐幼苗中套种大豆(*Glycine max*)、花生(*Arachis hypogaea*)、红薯(*Ipomoea batatas*)等经济作物是人们普遍采用的方式^[10]。然而,间作套种的作物之间会对光热、水肥等资源产生相互竞争或补偿作用^[11-12]。有关油桐套种模式方面研究目前开展较少,徐永杰等人^[10]研究了油桐幼林套种花生和芝麻(*Sesamum indicum*)对林地土壤养分的影响,结果表明套种花生和芝麻均能提高土壤养分含量,促进油桐幼林生长。

三峡库区种植油桐必须把提高养分利用效率、减少面源污染作为重点,以减少过量施肥带来的环境污染问题。本研究以保护三峡库区生态环境、发展生态产业为出发点,将1年生油桐作为研究对象,初步考察了大豆套种和单施尿素对油桐生长及其土壤理化性质的影响,以期科学指导库区油桐种植和有效控制三峡库区面污染源提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究地与研究材料

研究地位于重庆市西南大学后山实验园(北纬29°48'55",东经106°24'55")。研究地所在区域的气候为亚热

* 收稿日期:2016-01-07 修回日期:2016-11-25 网络出版时间:2017-01-12 11:34

资助项目:国家自然科学基金(No. 31370602);西南大学资源环境学院大学生科技创新“光桐”培养重点项目(No. 20130215)

第一作者简介:彭丽媛,女,研究方向为植物营养,E-mail:ply9116@swu.edu.cn;通信作者:刘芸,教授,E-mail:dutchsky@swu.edu.cn

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20170112.1134.032.html

带季风湿润气候,年平均气温 16~18 ℃,最热月平均气温 26~29 ℃,每年 7~9 月会出现数日 40 ℃ 以上的极端高温天气^[13]。研究地土壤为紫色土,土壤 pH 值为 7.76,碱解 N、有效 P 和速效 K 的含量分别为 64.01,14.68,133.79 mg·kg⁻¹;全 N、全 P、全 K 和有机质的含量分别为 0.31,0.62,23.21,9.69 g·kg⁻¹。研究材料选用云阳大米桐一年生幼苗,大豆选用渝豆一号,施肥用尿素为市售尿素(N 的质量分数为 46%左右)。

1.2 研究设计

本研究设 3 个处理组,其中:对照组不进行套种大豆和外施尿素处理;套种大豆组于 2013 年 5 月初,每两行油桐幼苗之间均匀播 2 行大豆种子,行向与油桐幼苗行向一致,距离油桐幼苗行为 50 cm,大豆株距为 50 cm×50 cm,大豆采用穴播,每穴 4 粒种子,出苗后进行间苗,每穴留大豆苗 1 株;单施尿素组的尿素用量为实际生产用量的一半,即分别于 2013 年 5 月和 7 月每株油桐幼苗施尿素 50 g,施肥方法为溶解施肥(将尿素溶于定量水中,浇灌油桐周围的土壤)。小区面积 40.5 m²,油桐株距为 150 cm×150 cm,重复 3 次共 9 个小区。日常管理方式如拔草、松土、浇水等 3 个处理组均保持一致。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 植株生长指标测定 2013 年 5~11 月的每月 7 号从每个处理组中各随机抽选 8 株油桐幼苗,用卷尺、游标卡尺分别测量植株的株高、地径。与此同时,在各处理组中随机抽选 8 株油桐幼苗,记录叶片数,测定油桐叶片的中肋长(L)和最大宽(C),并计算油桐叶面积(S),具体公式参考文献^[14],为:

$$S=0.7495 \times L \times C - 2.500。$$

进而得到油桐幼苗群体绿叶面积,再折算成单位平均值。最后用公式“叶面积指数=单位土地面积总绿叶面积/单位土地面积”计算各处理组油桐幼苗的叶面积指数。

1.3.2 植株光合作用指标测定 采用 Li-6400 便携式光合作用测量系统(LI-COR, USA),在 2013 年 8 月选择晴朗无风的日子,连续 3 日测定自然条件下油桐幼苗叶片的光合参数日变化,并求出平均值。不同处理组油桐中各随机选取 8 株幼苗,每株均选取相同部位、生长健壮、无病斑的成熟叶进行测量。从 8:00 至 20:00 每 2 h 测定 1 次。

1.3.3 土壤样品测定 在 2013 年 5,7,9 月采集土样。用精密 pH 计测定样品 pH 值,分别采用碱解扩散法、0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提法、1 mol·L⁻¹乙酸铵浸提-火焰光度法、半微量开氏法、氢氧化钠熔融-钼锑抗、氢氧化钠碱熔-火焰光度法比色法和重铬酸钾氧化-外加热法测定样品中的碱解 N、有效 P、速效 K、全 N、全 P、全 K 和有机质的含量^[15]。

1.4 数据统计

运用 Microsoft Excel 2013、SPSS 19.0 对研究数据进行统计分析,所有数据均采用“平均值±标准差”表示,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异,当 $p < 0.05$ 时视为差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 大豆套作和单施尿素对油桐生长的影响

从表 1 可知,套种大豆组和单施尿素组株高与对照组株高相比,分别比后者多 38.83%,154.39%,且与后者的差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。而由图 1a 可知,套种大豆组在前期生长速度较对照组慢,但进入 6 月后,油桐幼苗增长速率提高。同样地,套种大豆和单施尿素处理均能促进油桐地径的增长(表 1)。套种大豆组和单施尿素组地径分别比对照组地径高 19.83%和 136.44%;但套种大豆组与对照组地径差异没有统计学意义,而单施尿素组与对照组地径之间的差异具有统计学意义($p < 0.05$)。图 1b 显示,套种大豆组地径从 6 月开始比对照组地径增长得更快,单施尿素组地径在 7 月进行追肥处理后增长迅速。表 1 还显示,单施尿素促进油桐分枝,而套种大豆组和对照组油桐均未出现分枝现象。从图 1c 可知,叶面积指数最高的为单施尿素组,然后依次为套种大豆组、对照组;对照组、套种大豆组及单施尿素组的叶面积指数分别在 8,9 和

表 1 油桐幼苗 6 个月总生长量
Tab.1 Growth change of tung oil tree seedlings in 6 months

	对照组	套种大豆组	单施尿素组
株高/cm	13.11±0.61 ^c	18.20±0.96 ^b	33.35±0.47 ^a
地径/mm	3.43±0.66 ^b	4.11±0.31 ^b	8.11±0.75 ^a
分枝率/%	0	0	25.00±1.03

注:每一行上标不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

10 月达到峰值,其中单施尿素组峰值分别是套种大豆组和对照组的 2.0,2.5 倍,与后两者之间的差异具有统计学意义($p < 0.05$),而套种大豆组和对照组之间的差异没有统计学意义。

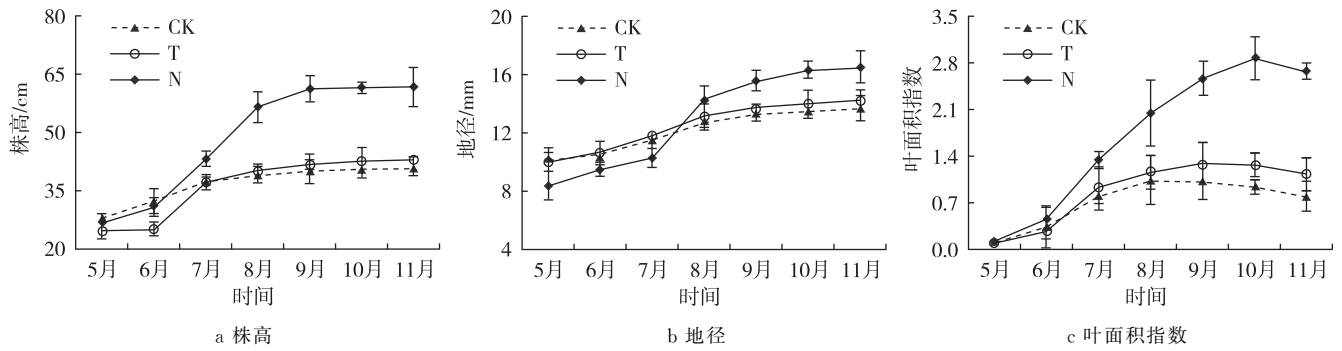


图 1 油桐幼苗株高、地径和叶面积指数

Fig. 1 The height, ground diameter, and leaf area index of tung oil tree seedling

2.2 净光合速率日变化

3 个处理组的油桐幼苗净光合速率日变化均呈明显的“双峰”曲线,变化规律相似(图 2)。对照组和套种大豆组在 10:00 出现第一个峰值,单施尿素组在 12:00 出现第一个峰值,过后逐渐下降,至 14:00 出现“午休”现象,在 16:00 出现第二个峰值。单施尿素组净光合速率日变化均值最高,然后依次为对照组和套种大豆组;单施尿素组与其他两个处理组净光合速率日变化均值的差异具有统计学意义($p < 0.05$),对照组和套种大豆组净光合速率日变化均值的差异没有统计学意义。

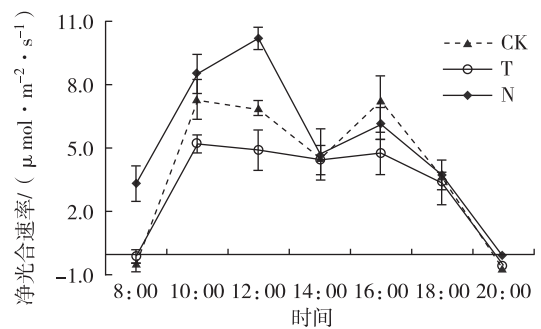


图 2 油桐幼苗净光合速率日变化特征

Fig. 2 Diurnal variation of net photosynthetic rate of tung oil tree seedlings

2.3 蒸腾速率日变化

如图 3 所示,单施尿素组蒸腾速率日变化均值最高,然后依次为对照组和套种大豆组,单施尿素组与其他两个处理组蒸腾速率日变化均值的差异具有统计学意义($p < 0.05$),对照组和套种大豆组蒸腾速率日变化均值的差异没有统计学意义。

2.4 水分利用率日变化

由图 4 可知,3 个处理组的油桐幼苗水分利用率日变化呈明显双峰曲线,对照组和套种大豆组的水分利用率均在 10:00,18:00 出现峰值,单施尿素组的水分利用率则在 12:00,18:00 出现峰值。总体上看,油桐幼苗水分利用率表现为单施尿素组最高,然后依次为套种大豆组、对照组;值得注意的是在 14:00 和 18:00 时,套种大豆处理组的瞬时水分利用率均高于另外两个处理组,并具有统计学意义($p < 0.05$)。

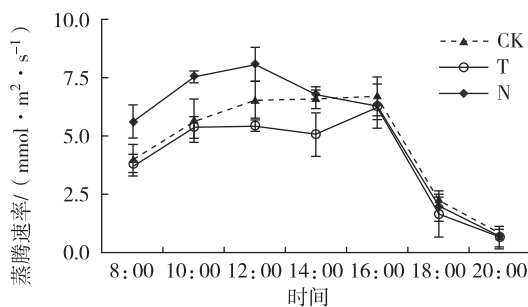


图 3 油桐幼苗蒸腾速率日变化

Fig. 3 Diurnal variation of transpiration rate of tung oil tree seedlings

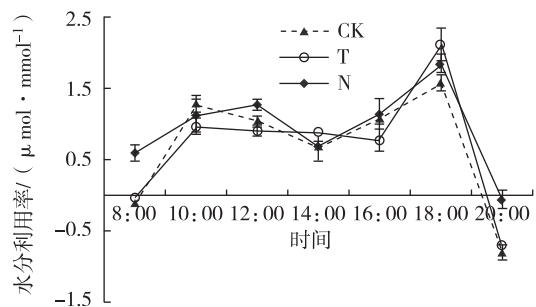


图 4 油桐幼苗水分利用率日变化

Fig. 4 Diurnal variation of water use efficiency of tung oil tree seedlings

2.5 对土壤理化性质的影响

2.5.1 对土壤 pH 值的影响 套种大豆组和对照组的土壤 pH 值变化趋势一致,两者 9 月与各自 5 月的土壤 pH 值相比均有统计学意义上的明显升高($p < 0.05$),但在同一月份两个组的土壤 pH 值没有统计学意义上的差异;在 9 月,单施尿素组与对照组的土壤 pH 值之间存在统计学意义上的差异($p < 0.05$),且前者低于后者;单施尿素组土壤 pH 值在 7,9 月测得数据均低于对照组并具有统计学意义($p < 0.05$),其中 9 月的数据较对照组低 7.42%(表 2)。

2.5.2 对土壤有效养分的影响 表 2 显示,单施尿素促进土壤碱解 N、有效 P 和速效 K 的含量增加;套种大豆使土壤碱解 N 和速效 K 的含量也有不同程度增加,有效 P 含量则有所降低。其中,对比 9 月的土壤有效养分含量,单施尿素组土壤碱解 N、有效 P 和速效 K 的含量分别比对照组高 4.40%,14.09%,17.76%,且具有统计学意义($p < 0.05$);套种大豆组土壤碱解 N 和速效 K 的含量分别比对照组高 1.03%,0.01%,有效 P 含量比对照组低 3.51%,但有关差异没有统计学意义。

表 2 土壤理化性质的变化

Tab. 2 Changes of soil physicochemical properties

指标	处理	5 月	7 月	9 月
pH	对照	7.69±0.27 ^{Ab}	8.27±0.13 ^{Aa}	8.49±0.12 ^{Aa}
	套种大豆	7.87±0.09 ^{Ab}	8.44±0.02 ^{Aa}	8.58±0.05 ^{Aa}
	单施尿素	7.73±0.07 ^{Aa}	7.79±0.30 ^{Ba}	7.86±0.10 ^{Ba}
碱解 N 含量/(mg·kg ⁻¹)	对照	63.67±6.09 ^{Ab}	65.37±1.78 ^{Ab}	68.11±1.26 ^{Ba}
	套种大豆	64.46±2.49 ^{Ab}	67.32±3.04 ^{Aa}	68.81±3.15 ^{Ba}
	单施尿素	63.86±10.83 ^{Ab}	65.77±2.86 ^{Ab}	71.11±1.83 ^{Aa}
有效 P 含量/(mg·kg ⁻¹)	对照	14.54±0.85 ^{Aa}	15.51±0.68 ^{Aa}	15.40±0.60 ^{Ba}
	套种大豆	14.94±0.71 ^{Aa}	14.14±1.59 ^{Aa}	14.86±1.27 ^{Ba}
	单施尿素	14.56±0.35 ^{Ab}	15.76±0.22 ^{Ab}	17.57±0.35 ^{Aa}
速效 K 含量/(mg·kg ⁻¹)	对照	135.75±2.13 ^{Aa}	133.55±4.21 ^{ABa}	140.88±3.14 ^{Ba}
	套种大豆	133.81±4.38 ^{Aa}	136.44±6.68 ^{Aa}	141.02±4.41 ^{Ba}
	单施尿素	131.80±4.70 ^{Ab}	130.49±6.36 ^{Bb}	165.90±5.84 ^{Aa}
全 N 含量/(g·kg ⁻¹)	对照	0.30±0.03 ^{Aa}	0.28±0.01 ^{Ab}	0.27±0.02 ^{Bb}
	套种大豆	0.32±0.01 ^{Aa}	0.26±0.01 ^{Ab}	0.25±0.02 ^{Bb}
	单施尿素	0.29±0.08 ^{Aa}	0.30±0.03 ^{Aa}	0.33±0.05 ^{Aa}
全 P 含量/(g·kg ⁻¹)	对照	0.61±0.10 ^{Aa}	0.52±0.02 ^{Bb}	0.55±0.02 ^{Bab}
	套种大豆	0.64±0.04 ^{Aa}	0.54±0.01 ^{Bb}	0.53±0.04 ^{Bb}
	单施尿素	0.60±0.01 ^{Ab}	0.65±0.04 ^{Ab}	0.73±0.11 ^{Aa}
全 K 含量/(g·kg ⁻¹)	对照	23.19±0.35 ^{Aa}	22.86±0.18 ^{Ba}	23.39±0.52 ^{Ba}
	套种大豆	23.20±1.23 ^{Ab}	22.55±0.11 ^{Bb}	23.79±0.54 ^{Ba}
	单施尿素	23.25±0.90 ^{Ab}	23.80±0.66 ^{Ab}	26.18±0.62 ^{Aa}
有机质含量/(g·kg ⁻¹)	对照	9.80±0.79 ^{Ab}	10.37±0.40 ^{Ab}	11.06±0.49 ^{Aa}
	套种大豆	9.80±0.98 ^{Ab}	10.67±1.18 ^{Ab}	11.12±1.07 ^{Aa}
	单施尿素	9.46±1.78 ^{Aa}	10.28±1.99 ^{Aa}	10.84±0.81 ^{Aa}

注:上标不同小写字母表示同一处理组在不同月份的某一指标差异具有统计学意义($p < 0.05$);上标不同大写字母表示不同处理组在同一月份的某一指标差异具有统计学意义($p < 0.05$)。

2.5.3 对土壤全养分的影响 由表 2 可知,单施尿素处理增加了土壤中全 N、全 P、和全 K 的含量,套种大豆增加了种植地土壤全 K 和有机质的含量。比较 9 月测得的土壤养分含量可以发现,单施尿素处理的全 N、全 P 和全 K 的含量分别比对照组高 22.22%,32.73%,11.93%,且均具有统计学意义($p < 0.05$);但前者土壤有机质含量比后者低 1.99%,这一差异没有统计学意义。套种大豆组土壤全 N 和全 P 的含量分别比对照组少 7.41%,

3.64%, 土壤全 K 和有机质的含量分别比对照组高 1.71%, 0.54%; 上述指标在两个处理组间的差异均不具有统计学意义。

3 讨论与结论

Watson 认为叶面积的变化是植物收获量差异的主要原因^[16]。叶面积指数已成为在植物光合作用、蒸腾作用、联系光合和蒸腾的关系、水分利用、构成生产力基础等方面进行群体和群落生长分析时必不可少的一个重要参数^[17]。本研究中, 尽管套种大豆对油桐光合作用的影响并不明显, 与对照组相比没有统计学意义上的差异, 但套种大豆和单施尿素均能增加叶面积指数, 因而两种处理均能促进油桐株高和地径增长, 且与对照组相比具有统计学意义($p < 0.05$)。

N 是植物生长必需的营养元素, 提高植物 N 含量对植物光合作用具有积极意义。汪灿等人^[18]报道施 N 肥可提高叶片的净光合速率; 伍维模等人^[19]发现蒸腾速率明显地受到施氮的影响, 当施 N 量高时, 植株蒸腾速率也高。本研究中, 单施尿素处理的油桐幼苗净光合速率和蒸腾速率较对照组高且具有统计学意义($p < 0.05$), 这与前人^[20]研究结果相符。可见适量施用 N 肥对油桐生长有利。而套种大豆的油桐幼苗净光合速率和蒸腾速率均对照组有不同程度的降低, 但都不具有统计学意义, 这与彭晓邦等人^[21]研究结果相符。其中原因如下: 由于大豆苗生长较快, 到了 7 月, 它的株高几乎与油桐苗不相上下, 因而对油桐幼苗产生遮荫作用; 此外, 油桐幼苗套种大豆, 两者共生会对有限水、肥等资源产生相互竞争, 进而降低油桐幼苗的净光合速率^[22]。套作虽然在一定程度上影响了油桐叶片光合速率和蒸腾速率, 但水分利用效率得到了提高, 这与前人的研究结果一致^[23]。油桐幼苗水分利用效率提高有助于在高温干旱条件下维持自身正常生长发育, 对油桐幼苗抵御三峡库区重庆段夏季的高温伏旱天气有积极作用^[24]。

本研究用地为多年撂荒地, 土壤肥力低于库区平均水平^[25]。种植油桐后, 各处理组种植地的土壤理化性质均发生了不同程度的变化(表 2)。土壤 pH 值大小直接影响土壤的理化性质, 与植物的生长发育密切相关, 也是土壤肥力的一项重要指标^[26]。本研究中, 套种大豆组和对照组相比, 前者土壤 pH 值明显升高, 徐永杰等人^[10]种植油桐时也有类似情况, 这可能是由于油桐喜弱碱性环境这一生长特性所致。单施尿素后, 土壤 pH 值与研究最初相比无统计学意义上的变化, 而对照组土壤 pH 值却随着研究时间的延长产生具有统计学意义的升高($p < 0.05$), 可见施尿素会使土壤 pH 值降低。

单施尿素和大豆套种均可提高土壤有效养分含量。两种处理均能提供 N 源: 一方面提高了土壤 N 含量; 另一方面为土壤微生物的活动提供了 N 源, 增加了微生物的数量和土壤酶活性, 加速有机质分解, 从而提高土壤有效养分含量^[27]。大豆套作降低了土壤硝态 N、铵态 N 等无机 N 含量, 可减轻 N 流失, 提高土壤中 N 的有效性, 从而有利于植株对 N 的高效吸收^[28]; 另外, 根瘤菌可分泌有机酸, 释放土壤有效 P 和速效 K, 因此, 套作提高了土壤有效 P 和速效 K 含量。本研究中, 与单施尿素比较, 套种大豆后土壤养分增加效果不明显甚至有所降低, 这是由于大豆生长也需要养分的缘故。根瘤固定的 N 只占大豆一生需 N 量 50%~60%^[29], 无法满足大豆高产的需求, 同时大豆生长结实过程对 P 的吸收量也较大。值得注意的是, 当土壤速效养分过多不能及时被植物吸收利用时, 土壤养分随地表径及泥沙流失而流失, 这正是土壤退化和农业面源污染的原因^[30]。可见, 三峡库区种植油桐, 在满足油桐对养分需求的同时, 又不造成养分过剩、流失便显得尤其重要。本研究尿素施用量仅为实际生产所用尿素用量(每株 100 g)的一半, 即可明显促进油桐幼苗生长和提高土壤养分, 这对三峡库区科学种植油桐具有参考价值。

本研究中, 套种大豆的土壤有机质含量最高, 单施尿素的土壤有机质虽然也有所增加, 但大量研究表明长期单施尿素会加速土壤酸化, 破坏土壤结构性, 造成土壤肥力衰退, 影响作物生长^[31-32], 而本研究开展时间短, 负面效果尚不明显。油桐幼林套种大豆, 不但对油桐生长有利, 还充分利用了土地, 保持了水土^[12], 实现了林业以短养长, 对保护三峡库区生态环境、增加农民收入有积极的意义。

油桐是三峡库区优良的乡土树种和宝贵的自然资源。三峡库区发展油桐产业具有得天独厚的优势, 但当地脆弱的生态环境又是制约该产业发展的瓶颈。本研究初步探讨了施肥和套作对油桐生长及土壤的影响, 深入开展合理施肥、桐农套种将是库区油桐产业可持续发展和环境保护的一项有效措施。

参考文献:

- [1] 王运辅,武仙竹,邹后曦,等. 重庆丰都三峡地区宋代油桐材料的发现与意义[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2014,31(5):54-59.
WANG Y F, WU X Z, ZOU H X, et al. The discovery and significance of tung tree materials of Song dynasty in the Three Gorges region of Fengdu in Chongqing[J]. Journal of Chongqing Normal University(Natural Science), 2014, 31(5):54-59.
- [2] 谭晓风,蒋桂雄,谭方友,等. 我国油桐产业化发展战略调查研究报告[J]. 经济林研究, 2011,29(3):1-7.
TAN X F, JIANG G X, TAN F Y, et al. Research reporter on industrialization development strategy of *Vernicia fordii* in China[J]. Nonwood Forest Research, 2011,29(3):1-7.
- [3] IHARASHIM M, MIYAZWA T. Newly recognized cytotoxic effect of conjugated treenail fatty acids on cultured human tumor cells[J]. Cancer Lett, 2000,148(2):173-179.
- [4] XIONG X Z, LIU Y, HUANG X H, et al. Current situation and development prospect of tung oil tree (*Vernicia fordii*) in Chongqing Three Gorges reservoir area[J]. Advanced Materials Research, 2012, 518/519/520/521/522/523:5385-5389.
- [5] 刘光德,李其林,黄响. 三峡库区面源污染现状与对策研究[J]. 长江流域资源与环境, 2013,12(5):462-466.
LIU G D, LI Q L, HUANG Y. Status of non-point source pollution in the Three Gorges area with discussion on the counter measures[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013,12(5):462-466.
- [6] 万盼,刘芸,黄小辉,等. 农药和菌渣对三峡库区油桐生长及土壤化学性质的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2015,32(2):44-49.
WAN P, LIU Y, HUANG X H, et al. Effects of pesticides and mushroom residue on growth and soil physico-chemical properties in tung oil tree of the Three Gorges reservoir area[J]. Journal of Chongqing Normal University(Natural Science), 2015,32(2):44-49.
- [7] 唐建初,刘钦云,肖顺勇,等. 湖南省农业面源污染分析及其防治对策[J]. 农业质量标准, 2006(5):23.
TANG J C, LIU Q Y, XIAO S Y, et al. Agricultural non-point source pollution analysis and control countermeasures in Hunan province[J]. Agricultural Quality Standards, 2006(5):23.
- [8] 汪孝廉,邢祖全,韦俊智. 施肥及不同肥料种类对油桐幼林生育影响的调查[J]. 浙江林学院科技通讯, 1981(1):54-58.
WANG X L, XING Z Q, WEI J Z. Investigation on the effects of fertilizer application and different kinds of fertilizer on tung oil tree sapling[J]. Science and Technology Communication of Zhejiang Forestry College, 1981(1):54-58.
- [9] 张晓冬. 油桐优质栽培技术[J]. 科研技术推广, 2014(8):183-184.
ZHANG X D. High quality cultivation techniques of tung oil tree[J]. Scientific Research and Technology Promotion, 2014, (8):183-184.
- [10] 徐永杰,汪阳东,周席华,等. 油桐幼苗不同套种模式效益分析[J]. 中国农学通报, 2012,28(1):103-106.
XU Y J, WANG D Y, ZHOU X H, et al. Benefit analysis on young tung-oil trees with different intercropping modes[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(1):103-106.
- [11] 章家恩,高爱霞,徐华勤,等. 玉米/花生间作对土壤微生物和土壤养分状况的影响[J]. 应用生态学报, 2009,20(7):1597-1602.
ZHANG J E, GAO A X, XU H Q, et al. Effects of maize/peanut intercropping on rhizosphere soil microbes and nutrient contents[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009,20(7):1599-1602.
- [12] 李纪元,肖青,李辛雷,等. 不同套种模式油茶幼林水土流失及养分损耗[J]. 林业科学, 2008,44(4):167-172.
LI J Y, XIAO Q, LI X L, et al. Water and nutrient loss in young plantation of the inter-cropped tea oil (*Camellia oleifera*) with different crops[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008,44(4):167-172.
- [13] 白莹莹,高阳华,张炎,等. 气候变化对重庆高温和旱涝灾害的影响[J]. 气象, 2010,36(9):47-54.
BAI Y Y, GAO Y H, ZHANG Y, et al. Impact of climate changes on high-temperature, drought and flood disasters of Chongqing[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(9):47-54.
- [14] 谭晓风. 油桐几叶面积野外速测[J]. 经济林研究, 1987(Suppl):187-188.
TAN X F. Velocity measurement of tung oil tree leaf area in field[J]. Nonwood Forest Research, 1987(Suppl):187-188.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2008:39-106.
BAO S D. Soil and agro-chemistry analysis[M]. 3rd ed. Beijing:China Agriculture Press, 2008:39-106.
- [16] 方秀琴,张万昌. 叶面积指数(LAI)的遥感定量方法综述[J]. 国土资源遥感, 2003(3):58-62.
FANG X Q, ZHANG W C. The application of remotely sensed data to the estimation of the leaf area index[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2003(3):58-62.
- [17] 朱春全,雷静品,刘晓东,等. 不同经营方式下杨树人工林叶面积分布与动态研究[J]. 林业科学, 2001,37(1):46-51.

- ZHU C Q, LEI J P, LIU X D, et al. The distribution and seasonal change of leaf area index in poplar plantations managed in different ways[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(1): 46-51.
- [18] 汪灿, 王诗雪, 李曼, 等. 播种量和施肥水平对春播甜荞光合特性及产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(4): 1021-1029.
- WANG C, WANG S X, LI M, et al. Effects of seeding rate and fertilizer on photosynthetic characteristics and yield of spring *Fagopyrum esculentum*[J]. *Journal of Plant and Fertilizer*, 2014, 20(4): 1021-1029.
- [19] 伍维模, 董合林, 王萍, 等. 水分与氮素对南疆膜下滴灌棉花水分利用效率与蒸腾速率的影响[J]. *西北农业学报*, 2006, 15(1): 11-15.
- WU W M, DONG H L, WANG P, et al. The effects of water and nitrogen on water use efficiency and transpiration rate in mulched-cotton by drip irrigation in South Xinjiang[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2006, 15(1): 11-15.
- [20] 赵海桢, 梁哲军, 齐宏立, 等. 不同时期水肥耦合对旱地小麦光合特性和产量的影响[J]. *华北农学报*, 2002, 17(Suppl): 61-65.
- ZHAO H Z, LIANG Z J, QI H L, et al. Effect of irrigation combined with fertilization in different stage of wheat on photosynthetic characteristics and yield in dry land field[J]. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2002, 17(Suppl): 61-65.
- [21] 彭晓邦, 蔡靖, 姜在民, 等. 渭北黄土区农林复合系统中大豆辣椒的光合生理特性[J]. *生态学报*, 2009, 29(6): 3173-3180.
- PENG X B, CAI J, JIANG Z Y, et al. Photosynthetic characteristics of soybean and pepper in an agroforestry system in the Loess area of the Northern Wei river, Shaanxi, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3173-3180.
- [22] 郎莹, 张光灿, 张征坤, 等. 不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟[J]. *生态学报*, 2011, 31(16): 4499-4508.
- LANG Y, ZHANG G C, ZHANG Z K, et al. Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of *Prunus sibirica* L. under different soil water conditions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(16): 4499-4508.
- [23] 张永霞, 李国旗, 张琦, 等. 不同遮荫条件下罗布麻光合特性的初步研究[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(12): 2555-2558.
- ZHANG Y X, LI G Q, ZHANG Q, et al. The Preliminary Research on Photosynthetic Characteristics of *Apocynum venetum* under different shading[J]. *Acta Bot. Boreal-Occident. Sin.*, 2007, 27(12): 2555-2558.
- [24] 黄小辉, 刘芸, 李佳杏, 等. 模拟三峡库区消落带土壤干旱对桑树生理特性的影响[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(9): 127-132.
- HUANG X H, LIU Y, LI J X, et al. Effects of simulated soil drought on physiological characteristics of young mulberry (*Morus alba* L.) trees in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges reservoir area[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2013, 35(9): 127-132.
- [25] 戴国富, 谢世友, 王巨. 重庆三峡库区油桐适生条件分析[J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(14): 2900-2904.
- DAI G F, XIE S Y, WANG J. Study on the suitable conditions for tung oil tree in Chongqing Three Gorges reservoir region[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(14): 2900-2904.
- [26] 王龙, 叶协锋, 张梦楚, 等. 植烟土壤 pH 值与土壤养分的相关及通径分析[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(1): 359-360.
- WANG L, YE X F, ZHANG C C, et al. The correlation and path analysis between tobacco soil pH and soil nutrients[J]. *Agricultural Sciences of Jiangsu*, 2013, 41(1): 359-360.
- [27] 滕维超. 油茶-农作物间作系统生理生态及经济效益评价[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- TENG W C. Physiological, ecological effects and economic benefits evaluation of camellia oleifera-crop intercropping system[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.
- [28] 雍太文, 杨文钰, 向达兵, 等. 不同种植模式对土壤氮素转化及酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 22(12): 3227-3235.
- YONG T W, YANG W Y, XIANG D B, et al. Effects of different planting modes on soil nitrogen transformation and related enzyme activities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(12): 3227-3235.
- [29] OHWAKI Y, SUGAHARA P. Active extrusion of protons and exudation of carboxylic acids in response to iron deficiency by roots of chickpea (*Cicer arietinum* L.)[J]. *Plant and Soil*, 1997, 189(1): 49-55.
- [30] 章家恩, 徐琪. 三峡库区退化土壤的恢复与重建研究[J]. *长江流域资源与环境*, 1998, 7(3): 248-253.
- ZHANG J E, XU Q. The restoration and reconstruction of degraded soils in the Three-gorge reservoir area[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1998, 7(3): 248-253.
- [31] 张永春, 汪吉东, 沈明星, 等. 长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J]. *土壤学报*, 2010, 47(3): 466-472.
- ZHANG Y C, WANG J D, SHEN M X, et al. Effects of long-term fertilization on soil acidification in Taihu lake region, China[J]. *Acta Pedology Sinica*, 2010, 47(3): 466-472.

- [32] KEMMITT S J, WRIGHT D, GOULDING K W T, et al. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(5):898-911.

Effects of Soybean Intercropping and Single Application of Urea on *Vernicia fordii* Growth and Soil Physicochemical Properties

PENG Liyuan, XIONG Xingzheng, OU Yang, CHEN Jiayu, YUAN Xiaoqian, WAN Pan, LIU Yun
(College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: [Purposes] The paper aims to cultivate *Vernicia fordii* scientifically and reasonably. [Methods] One-year-old *V. fordii* seedlings were divided into three groups, intercropping with *Glycine max*, single application of urea and the control. Then the growth indexes, daily variation of net photosynthetic rate, transpiration rate and water use efficiency of *V. fordii* seedlings, and soil physicochemical properties were observed and determined. [Findings] Single application of urea was the highest in increment of plant height, ground diameter, leaf area index and diurnal variation of water use efficiency, followed by intercropping with *G. max* and the control. The means net photosynthetic rate and transpiration rate were the highest in single application of urea, followed by the control and intercropping with *G. max*. Single application of urea soil pH was significantly lower than the control by 7.42%, while soil nutrient content of single application of urea was significantly higher than those of the control, except for organic matter content. There was no significant difference between intercropping with *G. max* and the control in soil pH and nutrient content. [Conclusions] Reasonable application of urea could significantly improve the net photosynthetic rate of *V. fordii* seedlings and soil fertility, and promote *V. fordii* growth. Nevertheless, timely supplement of organic fertilizer was essential to prevent soil hardening. Intercropping with *G. max*, which could promote the growth of *V. fordii*, enhancing moisture content and land utilization rate, were an effective measure for the sustainable development of *V. fordii* industry in the reservoir area.

Keywords: *Vernicia fordii*; intercropping with *Glycine max*; urea; growth; soil physicochemical properties

(责任编辑 方 兴)