

鞠昕萌,黄逢龙,喻方圆.缓释肥和复合肥施氮量对青冈栎容器苗质量的影响[J].江苏农业科学,2024,52(5):151-158.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.05.023

缓释肥和复合肥施氮量对青冈栎容器苗质量的影响

鞠昕萌¹,黄逢龙²,喻方圆¹

(1.南京林业大学林学院/南方现代林业协同创新中心,江苏南京 210037; 2.江西省吉安市林业科学研究所,江西吉安 343000)

摘要:为探究缓释肥和复合肥不同施用水平对青冈栎容器苗生长、生物量和非结构性碳水化合物积累的影响,探索培育青冈栎容器苗的最佳肥料类型和施氮量,对青冈栎容器苗施用缓释肥和复合肥,分别设置 4 个施氮浓度梯度(0.1、0.2、0.3、0.4 g/株)和 1 个对照处理。在生长季末测量苗高、地径、根系指标,并将随机选取的苗木烘干,以测定生物量和非结构性碳水化合物含量。结果表明,缓释肥和复合肥均显著促进了青冈栎容器苗的生长。在同等用氮量情况下,施用缓释肥效果总体上优于复合肥。其中在 H4 处理下,青冈栎容器苗的苗高、地径、总根长、根表面积、根体积和根平均直径均为最大值,分别为 69.08 cm、4.79 mm、281.92 cm、111.57 cm²、3.86 cm³ 和 1.40 cm;在 H3 处理下,青冈栎容器苗的总生物量、可溶性糖和淀粉含量均为最大值,分别为 6.09 g、207.22 mg/g 和 188.77 mg/g,分别是 CK 的 1.86、1.33、1.76 倍。施肥促进生物量更多地分配给青冈栎容器苗的茎和叶;可溶性糖多集中在叶部;淀粉多集中在根部。就青冈栎容器苗而言,施用缓释肥的总体效果优于复合肥,H3 和 H4 处理下,青冈栎容器苗质量最好,结合成本、肥料利用率和实际效果等方面考虑,青冈栎容器苗的最佳肥料类型为缓释肥,最佳施肥处理是 H3,即最佳缓释肥用量为 2.14 g/株,施氮量为 0.3 g/株。

关键词:青冈栎;容器苗;缓释肥;复合肥;苗木质量

中图分类号:S792.189.05 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)05-0151-08

养分对于帮助植物提高矿质营养元素吸收能力、促进植物生长发育具有重要作用^[1]。但通常情况下,土壤所含可供利用的养分难以满足林木正常生长发育,因此进行科学合理的施肥,才能及时有

效地补充土壤中原本缺乏的以及林木生长过程中所消耗的营养。氮既是植物的必需元素,又是制约陆地植物生长的重要因子,对植物的生长发育有着十分重要的作用^[2]。而植物生长所需的氮素仅有少部分来自体内贮藏氮的再利用,主要来自对肥料中氮的吸收^[3]。

目前,对于容器育苗施肥的多数研究主要以化肥为研究对象^[4]。但是化肥性质受土壤、环境温度以及灌溉方式等多种条件的综合影响,导致其在使用上普遍存在易挥发、利用率低等问题^[5-6]。而缓释肥作为一种通过物理或化学方法使养分在土壤

收稿日期:2023-05-05

基金项目:江西省林业局林业科技创新专项[编号:创新专项(2021)16号];江苏高校优势学科建设工程项目(编号:PAPD)。

作者简介:鞠昕萌(1999—),女,山东临沂人,硕士研究生,主要从事林木种苗方面的研究。E-mail:m15550865171@163.com。

通信作者:喻方圆,博士,教授,主要从事林木种苗研究。E-mail:fyyu@njfu.edu.cn。

室内杀卵活性和田间防效[J].江苏农业科学,2022,50(8):37-42.

[30]赵金凤,卢学松,黄培枝,等.福建省草地贪夜蛾田间种群对六种杀虫剂的敏感性[J].应用昆虫学报,2023,60(1):223-232.

[31]周泽雄,唐继洪,吕宝乾,等.四种药剂对海南草地贪夜蛾的室内毒力和田间防效[J].热带农业科学,2020,40(增刊1):6-12.

[32]陈澄宇,赵云霞,唐艺婷,等.7种杀虫剂对不同地区草地贪夜蛾田间种群的毒力测定[J].现代农药,2022,21(3):64-68.

[33]高祖鹏,郭井菲,何康来,等.乙基多杀菌素对草地贪夜蛾幼虫的毒力及对其解毒酶和乙酰胆碱酯酶活性的影响[J].昆虫学报,2020,63(5):558-564.

[34]王芹芹,崔丽,王立,等.14种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性[J].植物保护,2019,45(6):80-83,113.

[35]王勇庆,马千里,谭煜婷,等.氯虫苯甲酰胺对草地贪夜蛾的毒力及田间防效[J].环境昆虫学报,2019,41(4):782-788.

[36]Gutiérrez-Moreno R, Mota-Sánchez D, Blanco C A, et al. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico[J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(2): 792-802.

[37]王芹芹,崔丽,王立,等.茚虫威对草地贪夜蛾的毒力及解毒酶的诱导作用[J].植物保护,2020,46(1):78-81.

[38]闫文娟,杨帅,谭煜婷,等.虫螨腈对草地贪夜蛾幼虫的室内毒力及田间防效[J].环境昆虫学报,2020,42(3):602-606.

中缓慢释放、有效延长养分释放期的新型环保肥料,可以有效缓解施肥导致的土壤板结、肥力不均等问题^[7]。另外,缓释肥通过一次性施肥既可以满足植物整个生长过程中的养分需求,又能保证土壤的氮素水平,同时还可以节约人力和时间成本^[8]。在此背景下,缓释肥应用于植物栽培的研究得到广泛关注。传统专用缓释肥的养分释放速率、释放模式等与农作物养分需求规律大致相符,目前在农作物和花卉方面广泛使用,但其养分释放周期较短,若将其应用于林木栽培方面,则难以满足林木生长阶段所需。林木专用缓释肥养分释放周期与林木生长阶段相匹配,能够满足林木较长的生长周期,并且元素配方也更吻合苗木养分需求^[9]。近年来,国外苗木培育中关于林木缓释肥的研究应用较多,且主要集中在松、杉、栎类等珍贵树种^[10-15]。同时,我国对油松(*Pinus tabulaeformis*)、浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)、闽楠(*Phoebe bournei*)等容器苗培育中缓释肥应用也展开了一些研究,研究结果表明,缓释肥能有效促进容器苗生长,并提高其质量^[16-18]。因此,在容器育苗时施用林木专用缓释肥对于苗圃实现高质量苗木生产具有重要意义。

青冈栎(*Quercus glauca*)别称青栲、铁櫟,是壳斗科(Fagaceae)栎属(*Quercus*)的常绿乔木,在我国广泛分布于秦岭以南至华南、西达西藏,朝鲜、日本、印度也有分布,常与杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、木荷(*Schima superba*)等混生成林,以青冈栎为主的常绿阔叶林是东亚常见的天然林之一^[19]。青冈栎用途广泛,是重要的园林绿化树种,也可作为防火、防风林树种;其木材坚硬耐腐,韧度高,干缩较大,可做家具、地板等,是重要的经济用材树种;种子含油35%以上且淀粉含量可达60%~70%,可食用;壳斗、树皮含鞣质,可提取栲胶;果壳中的植物多酚提取物具有抗氧化和抑菌作用,作为天然抗氧化剂或抑菌剂被广泛应用于食品、药品、保健品及化妆品等领域^[20-21]。作为一种多功能植物,青冈栎苗木正广泛应用于大规模造林和植被重建计划^[22]。目前,对青冈栎的研究大都集中在植被恢复、碳储量、干旱胁迫下的生态生理响应、遗传多样性以及系统地理结构等方面^[23-27],而容器苗培育对施肥的响应规律尚不明确。虽然栓皮栎(*Quercus variabilis*)和槲栎(*Quercus aliena*)在苗木施肥方面的研究可为青冈栎苗期施肥提供一定的理论参考,但栎类苗期生长

规律差异性较大,青冈栎需肥规律暂时不清,这对其苗木质量的精准调控存在制约^[9,28-29]。因此,本试验以缓释肥和复合肥不同施氮水平对青冈栎容器苗生长的影响进行研究,探索培育青冈栎容器苗的最佳肥料类型和施肥水平,以期为培育出青冈栎优质健壮容器苗提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及供试材料

试验地位于江苏省句容市下蜀镇南京林业大学实习林场育苗基地(119°14'E,31°59'N),在具有遮阳功能的温室大棚内进行试验。试验所用青冈栎种子于2021年11月从江西省安福县武功山林场采集。育苗容器为12 cm×14 cm的白色无纺布袋。育苗基质为黄土、泥炭和珍珠岩,按体积比7:2:1均匀混合而成。所用缓释肥为树脂包膜型缓释肥(养分释放期为100 d,N、P₂O₅、K₂O含量均为14%,整合态微量元素≥0.5%,总养分含量≥42.5%)。复合肥是由江苏奥莱特生态肥业有限公司生产的硫酸钾型复合肥(N、P₂O₅、K₂O含量均为15%,总养分含量≥45%)。

1.2 试验方法

2021年11月28日对青冈栎种子进行沙藏处理,防止种子失活。2022年3月6日从沙中筛出种子,用清水浸泡3 d,进行选种和催芽。2022年3月10日进行播种;播种时每个容器播种2~3粒,播种后覆盖1层约为种子2倍厚的基质,并浇足水分。幼苗出齐后间苗,每容器仅保留1株生长较好的幼苗。

本试验采用缓释肥和复合肥2种肥料,以总用氮量为标准分别设置4个添加水平(0.1、0.2、0.3、0.4 g/株)分别记作H1/F1、H2/F2、H3/F3、H4/F4,另外不施肥(CK)作为对照组,共计9个处理,每个处理设3次重复,每个重复10株幼苗,共计270株青冈栎容器幼苗。为了使试验结果更加准确,对所有容器苗进行等量浇水,定期调换各处理容器苗位置以减小边缘效应的影响。

根据肥料含氮量计算出每个处理每株幼苗缓释肥和复合肥用量(表1)。由于缓释肥由树脂薄膜包裹,时效长不溶于水,因此于2022年6月一次性全部施入,在基质深1 cm左右浅埋;普通复合肥采用水溶法,每隔20 d施肥1次,分5次施入,避免灼伤苗木叶片,为方便计算,每个水平复合肥用量均用600 mL清水溶解,用20 mL空针浇灌施肥,为减

表 1 青冈栎容器苗施肥试验设计

处理	施肥量(g/株)					总施肥量 (g/株)	总施氮量 (g/株)
	6 月底	7 月中旬	8 月中旬	8 月底	9 月中旬		
CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
H1	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.1
H2	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	0.2
H3	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	2.14	0.3
H4	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	2.86	0.4
F1	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.67	0.1
F2	0.27	0.27	0.27	0.24	0.27	1.33	0.2
F3	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	2.00	0.3
F4	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	2.67	0.4

小误差每次抽取水溶肥前均需充分搅拌。各处理施肥结束后均浇灌 20 mL 清水,防止肥害发生。

1.3 测定指标及方法

苗高和地径:分别在第 1 次施肥(6 月 29 日)及施肥结束 2 个月后(11 月 29 日)测量,每个处理每次重复随机取 10 株,分别用卷尺(精度 0.1 cm)和游标卡尺(精度 0.01 mm)确定,并计算高径比和相对生长速率。

根系指标:11 月底每个处理每次重复中随机选取 3 株容器苗带回实验室,用清水洗净,去离子水冲洗,再用无屑卫生纸吸干表面水分,利用 EPSON 扫描仪获得根系图像,再结合 WinRHIZO PRO 2007 进行分析,得到总根长(RL)、根表面积(RSD)、根体积(RV)、根平均直径(ARD)。

生物量:将用于根系指标测定的容器苗按根、茎、叶分开分别装入信封,并置于 105 ℃ 的烘箱内杀青 30 min,然后于 75 ℃ 烘箱内烘至恒重后,用电子天平(精度 0.000 1 g)分别测定根、茎、叶的干重,同时计算苗木质量指数。

非结构性碳水化合物:分别取 0.1 g 根、茎、叶干样,通过蒽酮比色法^[30]测定可溶性糖和淀粉含量。

1.4 数据统计

计算所用公式有:
(1)高径比 = 苗高(cm)/地径(mm)。
(2)相对生长速率(R) = $(\ln Q_2 - \ln Q_1)/(t_2 - t_1)$,式中: Q_1 为 t_1 时测定的苗高值; Q_2 为 t_2 时测定的苗高值。
(3)苗木质量指数(QI) = 苗木总干重(g)/{[苗高(cm)/地径(mm)] + [地上部分干重(g)/地下部分干重(g)]}。

本试验利用 Excel 2016 整理数据,Origin 2018 进行绘图,SPSS 26.0 进行单因素方差分析和 Duncan's 多重比较($\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 缓释肥和复合肥对青冈栎容器苗生长的影响

2.1.1 苗高、地径和高径比 苗高和地径直接反映了青冈栎的生长状况。由表 2 可见,生长 5 个月后,只有 F1 处理的苗高与 CK 差异不显著;除 H1 和 F1 处理外,其余各处理的地径均显著高于 CK($P < 0.05$),说明缓释肥和复合肥均对青冈栎容器苗形态指标有正向影响。与其他处理相比,H4 的苗高和地径均为最大。结果表明,施氮量为 0.4 g/株时,缓释肥处理下的青冈栎容器苗生长效果最佳。此外,与 CK 相比,所有处理的高径比均升高,说明与地径生长相比,施肥对幼苗苗高生长具有更强的促进作用。

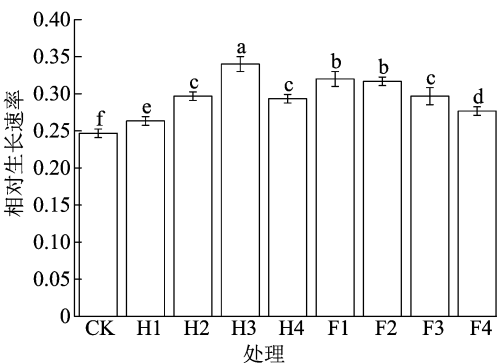
表 2 不同施肥处理下青冈栎的苗高、地径和高径比

处理	苗高 (cm)	地径 (mm)	高径比
CK	44.53 ± 2.83e	3.73 ± 0.32d	11.74 ± 1.22d
H1	51.13 ± 3.74d	4.09 ± 0.42cd	11.98 ± 0.97d
H2	61.62 ± 4.29b	4.39 ± 0.47abc	12.21 ± 1.39cd
H3	64.92 ± 4.47b	4.72 ± 0.32ab	14.94 ± 2.26a
H4	69.08 ± 6.56a	4.79 ± 0.49a	13.35 ± 1.66abcd
F1	47.29 ± 3.62e	4.06 ± 0.45cd	13.70 ± 1.84abc
F2	57.97 ± 2.54c	4.39 ± 0.41abc	14.12 ± 1.16ab
F3	57.25 ± 3.24c	4.66 ± 0.31ab	13.31 ± 2.16abcd
F4	56.80 ± 3.68c	4.35 ± 0.58bc	12.64 ± 1.77bcd

注:表中数据为平均值 ± 标准差;同列数据后相同小写字母表示差异不显著,不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 3 同。

2.1.2 苗高相对生长速率 相对生长速率可以反映某段时间内苗木的生长速度,其数值越大,说明苗木生长速度越快。由图 1 可见,H3 处理(0.34)下的相对生长速率最快,是 CK(0.25)的 1.36 倍。同时,所有处理的相对生长速率均与 CK 存在显著差异($P<0.05$),说明不同施肥处理对青冈栎容器苗的相对生长速率有显著影响。

2.2 缓释肥和复合肥的青冈栎容器苗根系的影响 不同施肥处理下青冈栎容器苗根系形态指标包括总根长、根表面积、根体积和根平均直径。结果(表 3)表明,所有施肥处理均能促进根系的生长,其中,H3 和 H4 处理的总根长、根表面积以及根体积均与 CK 存在显著差异($P<0.05$)。此外,施氮量为 0.4 g/株的缓释肥处理(H4)对于根系形态指



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

图 2、图 4 至图 6 同

图1 不同施肥处理下青冈栎的相对生长速率

标的生长促进效果最佳,其总根长、根表面积、根体积和根平均直径分别是 CK 的 2.05、2.30、3.24、1.41 倍。

表 3 不同施肥处理下青冈栎的根系形态指标

处理	总根长 (cm)	根表面积 (cm ²)	根体积 (cm ³)	根平均直径 (cm)
CK	137.37 ± 30.14c	48.61 ± 25.17d	1.19 ± 0.61c	0.99 ± 0.16a
H1	159.81 ± 85.18bc	70.44 ± 17.72bcd	1.94 ± 0.78bc	1.00 ± 0.24a
H2	203.04 ± 71.15abc	72.00 ± 17.37bcd	2.66 ± 0.61abc	1.33 ± 0.02a
H3	256.48 ± 14.45ab	90.41 ± 25.20ab	3.29 ± 1.89ab	1.39 ± 0.03a
H4	281.92 ± 49.47a	111.57 ± 4.07a	3.86 ± 0.087a	1.40 ± 0.61a
F1	138.63 ± 26.37c	57.59 ± 15.23cd	1.92 ± 0.45bc	1.14 ± 0.19a
F2	194.56 ± 16.76abc	80.12 ± 6.35bcd	2.16 ± 0.51bc	1.32 ± 0.20a
F3	220.26 ± 74.75abc	87.18 ± 12.70abc	2.22 ± 0.75bc	1.35 ± 0.40a
F4	191.86 ± 49.86abc	57.59 ± 13.05cd	2.07 ± 0.89bc	1.20 ± 0.09a

2.3 缓释肥和复合肥对青冈栎容器苗生物量和质量指数的影响

2.3.1 生物量 由图 2 可知,对于根生物量的积累,施用缓释肥处理的均高于 CK,且最大值出现在 H1 处理(1.50 g),除与 F3、F4 处理外,与其他处理差异均不显著。对于茎和叶的生物量积累,最大值均出现在 H3 处理,且与 CK 存在显著差异($P<$

0.05),分别是 CK 的 3.15、1.83 倍。另外,对于总生物量的积累,效果较好的处理有 H3、F1、H4、F2,其总生物量分别比 CK 增加了 2.82、1.96、1.81、1.56 g。结果表明,缓释肥和复合肥对青冈栎容器苗总生物量的积累均有影响,同时,总用氮量相同的情况下,施用缓释肥对青冈栎容器苗总生物量积累效果好于复合肥。

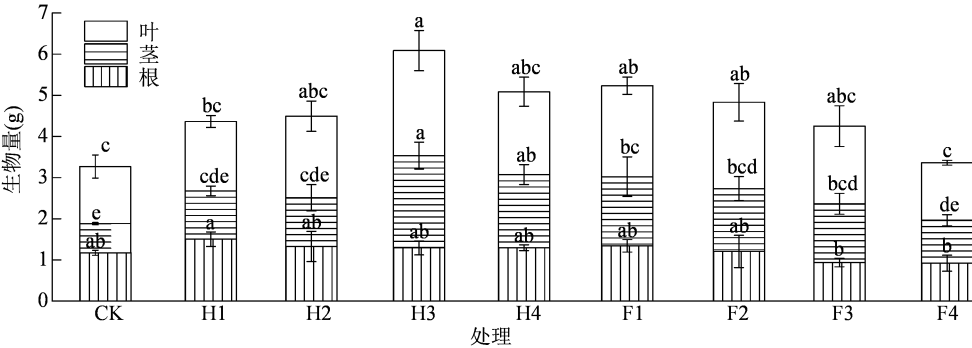


图2 不同施肥处理对青冈栎容器苗各器官中生物量积累的影响

2.3.2 苗木结构比例 发达的根系有利于幼苗抗逆。图 3 显示,地下部分生物量比例由高到低的排序为 CK > H1 > H2 > F4 > F1 > H4 = F2 > F3 > H3, 施用缓释肥和复合肥的青冈栎容器苗地下部分生物量的平均比例分别为 27.5% 和 25.0%。结果表明,施肥对地上生物量的积累效果优于地下,但是,相较于复合肥,施用缓释肥的青冈栎容器苗地下部分生物量平均比例较高,也就是说,相对于施用复合肥,施用缓释肥的青冈栎容器苗抗逆性较高。

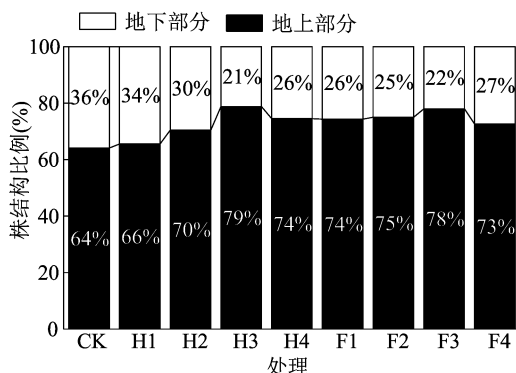


图3 不同施肥处理下青冈栎的植株结构比例

2.3.3 苗木质量指数 苗木质量指数是评价苗木的一项综合性指标,可以较为全面地对苗木质量进行评价。由图 4 可见,各处理下青冈栎容器苗的苗木质量指数由大到小排列顺序为 H3(0.38) > H4 = H2 = F1(0.32) > H1(0.31) > F2(0.28) > F3(0.24) > F4(0.22) > CK(0.20), 各处理下的苗木质量指数均高于 CK。说明缓释肥和复合肥均能有效提高青冈栎容器苗的苗木质量指数。此外,对比缓释肥和复合肥处理来看,施用缓释肥对苗木质量

指数的提高总体上优于复合肥。同时,青冈栎容器苗苗木质量指数随着缓释肥施用量的增加呈现先增后减的趋势,随着复合肥施用量的增加一直呈下降趋势。说明适当施肥能够提高青冈栎容器苗的苗木质量指数,过量施肥会对青冈栎容器苗的生长造成不利影响,从而降低苗木质量指数。

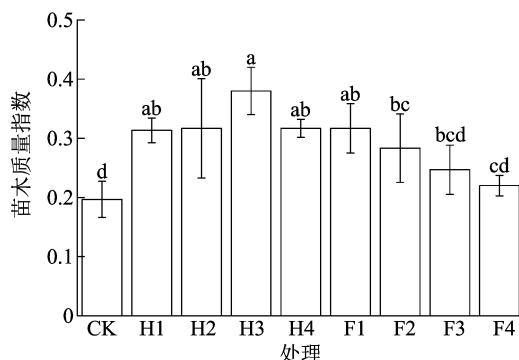


图4 不同施肥处理下青冈栎的苗木质量指数

2.4 缓释肥和复合肥对青冈栎容器苗非结构性碳水化合物积累的影响

2.4.1 可溶性糖含量 由图 5 可见,青冈栎容器苗各部分的可溶性糖积累量在各处理下均高于 CK。在幼苗根部和茎部, H3 处理的可溶性糖含量均最大;叶部 H4 处理效果最好,但与 H3 处理没有显著差异。总体来看,施用缓释肥处理的青冈栎容器苗根、茎、叶各部分可溶性糖含量积累效果好于复合肥处理,且与其他处理相比, H3 处理对青冈栎整个幼苗可溶性糖含量的积累效果最佳。施氮肥对青冈栎容器苗体内可溶性糖含量的积累有促进作用,且在叶片中的积累量明显高于茎部和叶部。

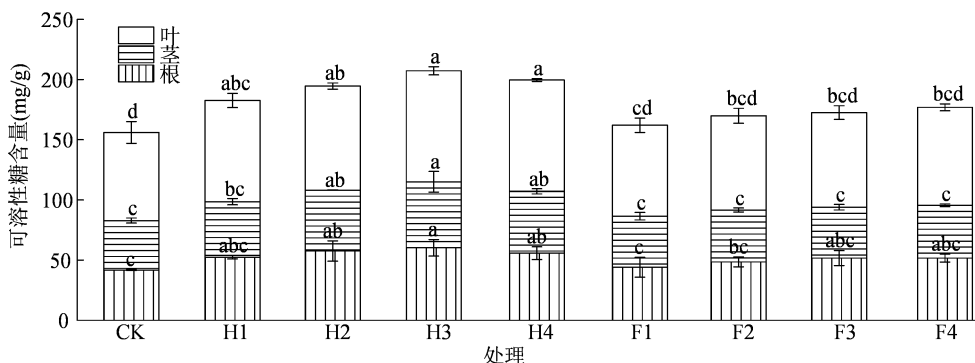


图5 不同施肥处理下青冈栎容器苗中可溶性糖含量的差异

2.4.2 淀粉含量 由图 6 可见,各器官中淀粉含量大小顺序为根 > 茎 > 叶。在根部, H2、H3 和 H4 处理的淀粉含量均与 CK 存在显著差异 ($P < 0.05$); 在茎部, H1、H2、H3、H4 和 F3 处理的淀粉含量均与 CK 存在显著差异 ($P < 0.05$); 叶部与根部相似,

H2、H3 和 H4 处理的淀粉含量均与 CK 存在显著差异 ($P < 0.05$)。并且在根部和叶部, H3 处理的淀粉含量最大;幼苗茎部, H4 处理效果最佳,淀粉干重含量为 50.15 mg/g,但与 H3 处理差异不显著。在总氮量相同的情况下,缓释肥处理获得的效果均

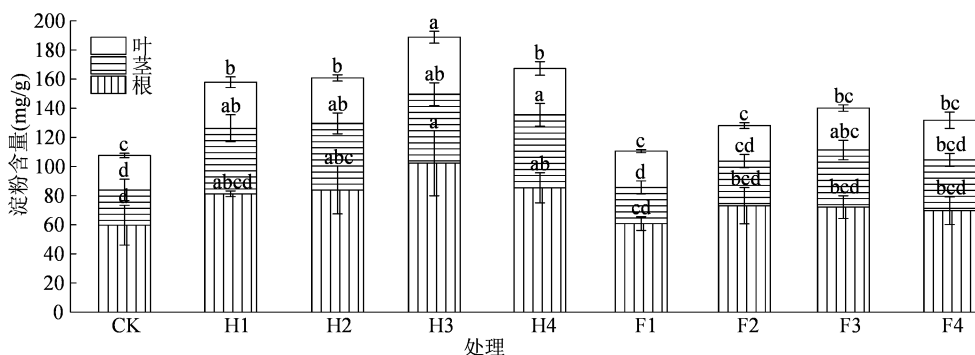


图6 不同施肥处理下青冈栎容器苗中淀粉含量的差异

好于复合肥处理,且与其他处理相比,H3 处理对青冈栎整个幼苗淀粉含量的积累效果最佳。

3 讨论

3.1 施肥与苗高、地径生长的关系

施肥能够为植物生长提供充足的养分供给,满足植物生长过程中对各种元素的需求,从而提高苗木质量,而苗高和地径是衡量苗木质量的 2 个重要指标,它们可以直接反映施肥对苗木生长的影响^[31]。Jacobs 等对黑胡桃木(*Juglans nigra*)、美国白蜡(*Fraxinus americana*)和北美鹅掌楸(*Liriodendron tulipifera*)进行研究,发现苗圃期施用缓释肥 60 g/株的苗木在生长季末时,其苗高较不施肥处理组提高了 51%,地径增粗了 34%^[32]。Haase 等的研究表明,施用缓释肥的道格拉斯冷杉(*Pseudotsuga menziesii*)幼苗苗高、地径以及茎体积均比常规施肥的幼苗有显著增加^[14]。本试验发现,施肥能促进青冈栎容器苗苗高和地径的生长,并且 H3 和 H4 处理下的效果明显优于其他处理,这与上述研究结果相似。但是,值得注意的是,与地径生长相比,施肥对苗高生长的促进作用更强,从而导致高径比偏大,猜测这可能是由于容器苗摆放过密影响地径生长,使两者不能同步生长,因此为改善两者平衡关系,提高苗木抗性,在以后的试验中要降低苗木摆放密度。另外,当用氮量逐渐增加时,施用复合肥条件下的幼苗苗高和地径生长呈减缓趋势,这可能与复合肥养分释放时间和速度不能与幼苗吸收的时间和速度相协调而造成损耗有关^[33];而施用缓释肥条件下的幼苗苗高和地径却没有出现这种情况,这可能和缓释肥养分释放与幼苗生长同步并能满足幼苗各生长阶段的养分需求以及养分损失少等因素有关^[34]。同时对于青冈栎容器苗苗高的相对生长速率而言,施用缓释肥条件下的苗

高相对生长速率随用氮量的增加呈现先升后降的趋势,而复合肥条件下的苗高相对生长速率随用氮量的增加一直呈下降趋势,因此,合理施氮才能更好地保证青冈栎容器苗的生长。

3.2 施肥与根系生长的关系

根系作为吸收养分的重要器官,与植物地上部分的生长发育密切相关,具有发达根系的幼苗抗逆性更强,也更容易存活,因此发达的根系是保障苗木质量的关键因素^[35-37]。本试验中,青冈栎容器苗的总根长、根表面积、根体积以及根平均直径在施肥后均有明显增加,且中、高浓度缓释肥处理(H3 和 H4)下,前三者与对照组存在显著差异($P < 0.05$)。但是值得注意的是,在施用复合肥的处理中,高浓度组(F4)对根系指标的促进作用却不如中浓度组(F2 和 F3),这可能与养分供应速度和苗木吸收不一致导致资源浪费或是短时间内养分供应过量导致根系生长受到抑制有关。Qu 等对日本落叶松(*Larix kaempferi*)的研究^[38]以及 Ni 等对纳塔栎(*Quercus nuttallii*)的研究^[39]中也出现了随着用氮量的增加根系各指标先促进后抑制的现象,本试验结果与之相似。然而,在施用缓释肥的处理中并没有此现象,这可能与缓释肥的养分供应模式与苗木对养分的需求相协调且未超过苗木养分需求有关。

3.3 施肥与生物量的关系

生物量可以反映幼苗的生产力,也是施肥效果的最终体现,生物量越大,储存的物质越多,苗木越健壮^[40]。本研究显示,各处理组的总生物量与 CK 相比均有增加,这表明施氮能明显促进幼苗生物量的积累,可能与叶片中氮含量增加引起叶绿素合成加快,从而加速光合产物的产生有一定关联^[41]。Springer 通过对氮肥和残余氮对柳枝稷(*Panicum virgatum*)生物量的影响进行研究,发现施用氮肥促进了其生物量的积累^[42]。Villar - Salvador 等对橡

树(*Quercus coccifera*)的研究中也得到了相似的结果^[43]。本试验中施肥虽然增加了青冈栎幼苗的总生物量,但降低了地下部分生物量的比例。同时值得注意的是,青冈栎容器苗施用缓释肥所获得的地下部分生物量平均比例大于复合肥。另外,复合肥处理的生物量随着用氮量的升高而逐渐减少,缓释肥处理的地上部分生物量和总生物量积累在中浓度处理(H3)下获得较好的结果。虽然施氮量为 0.1、0.2 g/株时,施用复合肥处理的总生物量积累效果好于缓释肥处理,但是施氮量为 0.3、0.4 g/株时,施用缓释肥的效果更佳,说明缓释肥能够提高养分利用率。因此,适当施用氮肥可以增加青冈栎幼苗的总生物量,同时最大限度地增加植物的抗逆性。

3.4 施肥与非结构性碳水化合物含量的关系

可溶性糖和淀粉等非结构性碳水化合物作为苗木体内的贮能物质,用于支持植株的生命活动,同时其含量高低和动态变化也可以用于评价苗木质量及抗逆性^[44]。本试验结果表明,适量施肥有利于青冈栎容器苗非结构性碳水化合物的积累,这与油松 1 年生容器苗的积累规律^[16]相似。Villar - Salvador 等发现,落叶栎类将可溶性糖和淀粉优先分配到根部,占整株的 82%^[45]。但本试验发现青冈栎中淀粉多集中在根部,而可溶性糖多分配到叶部。可溶性糖作为小分子有机化合物参与植物细胞内调节渗透压的重要溶质,当受到渗透胁迫时主动积累溶质以降低渗透势进而抵抗胁迫伤害,从而调节植物衰老、叶片凋落等过程^[46]。但青冈栎作为常绿阔叶树种,落叶较少,叶片能够持续进行光合作用,且光合产物主要是糖类,因此猜测其光合产物没有被及时转运至根部,从而导致其叶部的可溶性糖含量高于根部。

4 结论

本研究结果显示,施肥对青冈栎容器苗苗高、地径以及根系的生长、生物量和非结构性碳水化合物的积累有显著促进作用,且施用缓释肥的总体效果优于复合肥,在缓释肥 4 个处理中,H3 和 H4 处理的效果总体优于 H1 和 H2。从节约成本、肥料利用率和实际效果等方面考虑,青冈栎容器苗的最佳肥料类型为缓释肥,最佳施肥处理是 H3,即最佳缓释肥用量推荐为 2.14 g/株,施氮量为 0.3 g/株。

参考文献:

- [1] 安建刚. 有机肥等价替代下复合肥减量对套作马铃薯产量品质及土壤活性物质的影响[D]. 重庆:西南大学,2018:1-2.
- [2] Oldroyd G E D, Leyser O. A plant's diet, surviving in a variable nutrient environment[J]. Science,2020,368(6486):eaba0196.
- [3] 李玉玺,王 语,张渝鹏,等. 苗期干旱胁迫和施氮对东北风沙土玉米生长、产量及氮素利用的影响[J/OL]. (2022-07-29)[2023-03-18]. 吉林农业大学学报:1-13. <https://doi.org/10.133275-jlau.2021.1821>.
- [4] 李洪忠,王德炉. 配方施肥对长柄水青冈容器苗生长及叶片元素质量分数的影响[J]. 东北林业大学学报,2023,51(3):13-17.
- [5] Shan L N, He Y F, Chen J, et al. Ammonia volatilization from a Chinese cabbage field under different nitrogen treatments in the Taihu Lake Basin, China[J]. Journal of Environmental Sciences,2015,38:14-23.
- [6] 彭玉华,郝海坤,曹艳云,等. 缓释肥和复合肥对火力楠容器苗的影响[J]. 南方农业学报,2015,46(1):47-52.
- [7] 张金鑫. 不同配伍复合肥在设施环境下的氨挥发及对油菜生长的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2021:4-8.
- [8] 刘兆辉,吴小宾,谭德水,等. 一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J]. 中国农业科学,2018,51(20):3827-3839.
- [9] 姚光刚,李国雷,郑永林,等. 缓释肥施用量对榿栎容器苗苗木质量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(1):69-75.
- [10] Salifu K F, Jacobs D F. Characterizing fertility targets and multi-element interactions in nursery culture of *Quercus rubra* seedlings[J]. Annals of Forest Science,2006,63(3):231-237.
- [11] Jacobs D F, Rose R, Haase D L. Development of Douglas - fir seedling root architecture in response to localized nutrient supply[J]. Canadian Journal of Forest Research,2003,33(1):118-125.
- [12] Wilson E R, Vitols K C, Park A. Root characteristics and growth potential of container and bare - root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada[J]. New Forests,2007,34(2):163-176.
- [13] Juntunen M L, Hammar T, Rikala R. Nitrogen and phosphorus leaching and uptake by container birch seedlings (*Betula pendula* Roth) grown in three different fertilizations[J]. New Forests,2003,25(2):133-147.
- [14] Haase D L, Rose R, Trobaugh J. Field performance of three stock sizes of douglas - fir container seedlings grown with slow - release fertilizer in the nursery growing medium[J]. New Forests,2006,31(1):1-24.
- [15] Sloan J L, Jacobs D F. Leaf physiology and sugar concentrations of transplanted *Quercus rubra* seedlings in relation to nutrient and water availability[J]. New Forests,2012,43(5/6):779-790.
- [16] Fu Y L, Olliet J A, Li G L, et al. Effect of controlled release fertilizer type and rate on mineral nutrients, non - structural carbohydrates, and field performance of Chinese pine container - grown seedlings[J]. Silva Fennica,2017,51(2):1607.

- [17] 王 艺, 王秀花, 吴小林, 等. 缓释肥加载对浙江楠和闽楠容器苗生长和养分库构建的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(12): 57–63.
- [18] 楚秀丽, 王秀花, 张东北, 等. 基质配比和缓释肥添加量对浙江楠大规模容器苗质量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(6): 67–73.
- [19] Tong X, Xu N N, Li L, et al. Development and characterization of polymorphic microsatellite markers in *Cyclobalanopsis glauca* (Fagaceae) [J]. American Journal of Botany, 2012, 99(3): e120–e122.
- [20] Xia K, Seal C E, Chen W Y, et al. Fruit oil contents of the genus *Quercus* (Fagaceae): a comparative study on acorns of subgenus *Quercus* and the Asian subgenus *Cyclobalanopsis* [J]. Seed Science and Technology, 2010, 38(1): 136–145.
- [21] Şöhretoğlu D, Renda G. The polyphenolic profile of oak (*Quercus*) species: a phytochemical and pharmacological overview [J]. Phytochemistry Reviews, 2020, 19(6): 1379–1426.
- [22] Zhang Z F, Zhang J C, Huang Y Q. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the drought tolerance of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings under greenhouse conditions [J]. New Forests, 2014, 45(4): 545–556.
- [23] Tsay J S, Ko P H, Chang P T. Carbon storage potential of avenue trees: a comparison of *Barringtonia racemosa*, *Cyclobalanopsis glauca*, and *Alnus formosana* [J]. Journal of Forestry Research, 2015, 26(2): 307–314.
- [24] Zhang H, Song T Q, Wang K L, et al. Biomass and carbon storage in an age–sequence of *Cyclobalanopsis glauca* plantations in southwest China [J]. Ecological Engineering, 2014, 73: 184–191.
- [25] Xue L, Ren H D, Long W, et al. Ecophysiological responses of calcicole *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst. to drought stress and calcium supply [J]. Forests, 2018, 9(11): 667.
- [26] Kamiya K, Ogasahara M, Kenzo T, et al. Genetic diversity and structure of *Quercus hondae*, a rare evergreen oak species in southwestern Japan [J]. Forests, 2022, 13(4): 579.
- [27] Li Y F, Li M H, Ming A G, et al. Spatial pattern dynamics among co–dominant populations in early secondary forests in Southwest China [J]. Journal of Forestry Research, 2021, 32(4): 1373–1384.
- [28] Li G L, Zhu Y, Liu Y, et al. Combined effects of pre–hardening and fall fertilization on nitrogen translocation and storage in *Quercus variabilis* seedlings [J]. European Journal of Forest Research, 2014, 133(6): 983–992.
- [29] 程中倩, 李国雷. 氮肥和容器深度对栓皮栎容器苗生长、根系结构及养分贮存的影响[J]. 林业科学, 2016, 52(4): 21–29.
- [30] Greenan N S, Mulvaney R L, Sims G K. A microscale method for colorimetric determination of urea in soil extracts [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 26(15/16): 2519–2529.
- [31] Valinger E, Sjögren H, Nord G, et al. Effects on stem growth of Scots pine 33 years after thinning and/or fertilization in northern Sweden [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2019, 34(1): 33–38.
- [32] Jacobs D F, Salifu K F, Seifert J R. Growth and nutritional response of hardwood seedlings to controlled–release fertilization at outplanting [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 214(1/2/3): 28–39.
- [33] Davis A S, Jacobs D F, Wightman K E, et al. Organic matter added to bareroot nursery beds influences soil properties and morphology of *Fraxinus pennsylvanica* and *Quercus rubra* seedlings [J]. New Forests, 2006, 31(2): 293–303.
- [34] Vejan P, Khadiran T, Abdullah R, et al. Controlled release fertilizer: a review on developments, applications and potential in agriculture [J]. Journal of Controlled Release, 2021, 339(10): 321–334.
- [35] Villordon A Q, Ginzberg I, Firon N. Root architecture and root and tuber crop productivity [J]. Trends in Plant Science, 2014, 19(7): 419–425.
- [36] Cheng S F, Zhou D X, Zhao Y. WUSCHEL–related homeobox gene *WOX11* increases rice drought resistance by controlling root hair formation and root system development [J]. Plant Signaling & Behavior, 2016, 11(2): e1130198.
- [37] Hussain H A, Men S N, Hussain S, et al. Maize tolerance against drought and chilling stresses varied with root morphology and antioxidative defense system [J]. Plants, 2020, 9(6): 720.
- [38] Qu L Y, Qureshi A M, Koike T. Root growth characteristics, biomass and nutrient dynamics of seedlings of two larch species raised under different fertilization regimes [J]. Plant and Soil, 2003, 255(1): 293–302.
- [39] Ni M, Gao Z Z, Chen H, et al. Exponential fertilization regimes improved growth and nutrient status of *Quercus nuttallii* container seedlings [J]. Agronomy, 2022, 12(3): 669.
- [40] Hedwall P O, Gong P C, Ingerslev M, et al. Fertilization in northern forests – biological, economic and environmental constraints and possibilities [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2014, 29(4): 301–311.
- [41] Duan M, Chang S X. Nitrogen fertilization improves the growth of lodgepole pine and white spruce seedlings under low salt stress through enhancing photosynthesis and plant nutrition [J]. Forest Ecology and Management, 2017, 404: 197–204.
- [42] Springer T L. Effect of nitrogen fertilization and residual nitrogen on biomass yield of switchgrass [J]. BioEnergy Research, 2017, 10(3): 648–656.
- [43] Villar–Salvador P, Peñuelas J L, Nicolás–Peragón J L, et al. Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations? [J]. New Forests, 2013, 44(5): 733–751.
- [44] 倪 铭, 高振洲, 吴 文, 等. 不同氮素施肥方法对纳塔栎容器苗生长及非结构性碳水化合物积累的影响 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021, 45(4): 107–113.
- [45] Villar–Salvador P, Uscola M, Jacobs D F. The role of stored carbohydrates and nitrogen in the growth and stress tolerance of planted forest trees [J]. New Forests, 2015, 46(5/6): 813–839.
- [46] Gibson S I. Plant sugar–response pathways. Part of a complex regulatory web [J]. Plant Physiology, 2000, 124(4): 1532–1539.