

王益明,万福绪,胡菲,等. 指数施肥对美国山核桃苗期生长动态的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):110-113.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.12.026

指数施肥对美国山核桃苗期生长动态的影响

王益明, 万福绪, 胡菲, 李瑞瑞

(南京林业大学林学院, 江苏南京 210000)

摘要:以1年生美国山核桃实生苗为试验材料,运用指数施肥法研究6种不同施氮量对美国山核桃幼苗生长动态的影响。结果表明,美国山核桃幼苗的苗高、地径等生长指标在施肥前至第4周随施氮量的增加而增加,生物量随着施氮量的增加先增后减,在4~8周、8~12周,苗高、地径、生物量随施氮量的增加均呈先增后减的趋势,并均在施氮量为600 mg/株时达到最大值;施肥结束时,施氮量为600 mg/株的处理,美国山核桃实生苗的苗高、地径、生物量分别为33.44 cm、5.08 mm、9.33 g/株,分别是不施氮肥处理(CK)的1.48、1.45、2.16倍;随施氮量的增加,叶片SPAD值不断升高,根冠比降低。因此可见,美国山核桃幼苗的最适施氮量为600 mg/株。

关键词:美国山核桃;指数施肥;氮素;生长动态;苗高;地径;生物量

中图分类号: S664.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)12-0110-04

在苗木培育中,施肥是提高苗木质量的重要措施之一,但不同施肥方法的养分利用效率具有差异,如何提高苗木的养分利用效率是目前研究的热点之一^[1]。传统施肥方式由于忽视了苗木在不同生长时期的养分需求,存在氮素利用效率低下的问题,所施氮肥的32%~85%都无法被植物吸收利用^[2]。瑞典生理生态学家Ingestad等于20世纪80年代通过试验研究创立了“养分指数承载理论”^[3],Timmer等将稳态营养理论应用于轻基质育苗研究中,并明确提出指数施肥法^[4]。指数施肥方法是以指数速率供给苗木养分,该供给速率和苗木对养分需求指数增加的速率相适应,通过多次指数性增加养分,使苗木对营养的吸收达到稳定状态,进而使苗木体内营养含量达到稳定状态^[5]。与传统施肥方法相比,指数施肥对苗木生长发育的促进有明显优势,逐渐成为国外许多苗木生产者的首选技术^[6]。

美国山核桃别称薄壳山核桃、长山核桃,是胡桃科山核桃属深根性树种,为世界四大干果树种之首,其生长迅速,树姿

优美,是很好的园林观赏树种和水土保持树种^[7]。近年来,美国山核桃已成为我国南方重要的经济树种。我国对美国山核桃的良种选育、扦插繁殖、嫁接技术和生物学特性等开展了相应研究^[8-11],但国内对美国山核桃的施肥研究相对较少,生产中多凭借田间经验而采用传统的等量施肥法,不能满足其苗木在不同生长时期的养分需求,而有关美国山核桃的指数施肥研究目前更是鲜见报道。本试验运用指数施肥法研究不同施氮量对美国山核桃幼苗生长的影响,旨在探究美国山核桃幼苗生长对不同施氮水平的响应差异,以确定最适施氮量,为美国山核桃精准施肥及其高质量苗木培育提供理论依据。

1 材料与与方法

1.1 试验材料

试验在江苏省南京市南京林业大学园林温室内进行,材料来源于南京林业大学美国山核桃繁育基地。2017年4月,选取生长相对一致的美国山核桃1年生实生苗300株,移栽于高、上口径、下口径分别为16.5、11.5、14.0 cm的塑料花盆内,采用粒径为0.2~1.0 mm的河沙作为基质,待缓苗至5月初开始施肥试验。为防止水肥流失,盆内均套有双层白色塑料袋。试验过程中以质量法调节土壤水分状况,每隔2周移动1次苗盆以减少边缘效应。

1.2 试验设计

试验采用指数施肥模型^[5]来计算相应的施肥量,计算公

收稿日期:2017-09-15

基金项目:江苏省林业三新工程(编号:LYSX[2015]20);江苏省高校优势学科建设工程(PAPD)。

作者简介:王益明(1991—),男,江苏连云港人,硕士研究生,从事林业生态工程研究。E-mail:975520392@qq.com。

通信作者:万福绪,博士,教授,从事林业生态工程研究。E-mail:fxwan@njfu.edu.cn。

159-176.

[6] 韦铄星,刘晓蔚,刘雄盛,等. 桉-草复合经营模式土壤理化性质动态分析[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(3):67-75.

[7] 周朝彬. 巨桉林草复合种植模式初期土壤养分库及物理性质研究[D]. 雅安:四川农业大学,2006.

[8] 高峻,郑曼,孟平,等. 黄土丘陵沟壑区杏树-黄芩复合系统对土壤理化性质的影响[J]. 林业科学研究,2008,21(5):719-723.

[9] 田亚玲. 银杏和茶树复合经营系统生理生态效应研究[D]. 南京:南京林业大学,2012.

[10] 薛建辉,唐荣南. 林茶复合经营研究与应用[J]. 世界林业研究,1996,6(6):46-51.

[11] 国家林业局. 森林土壤分析方法[M]. 北京:中国标准出版社,1999.

[12] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:130-134.

[13] 田大伦,陈书军. 樟树人工林土壤水文-物理性质特征分析[J]. 中南林业学院学报,2005,25(2):1-6.

[14] 闻晨晨. 杨-药间作及施肥对杨树生长和土壤性质的影响[D]. 南京:南京林业大学,2014:1-48.

[15] 李菊雯. 大理山茶花栽培技术及市场研究[J]. 陕西林业科技,2009(1):138-141.

式为:

$$N_T = N_S(e^r - 1);$$

$$N_t = N_S(e^{rt} - 1) - N_{t-1}。$$

式中: r 为氮素相对添加率; t 为指数施肥的次数; N_T 为施氮总量; N_S 为幼苗在指数施肥处理前的初始氮含量; N_t 为在相对增加率 r 下 t 次施肥时的施氮量; N_{t-1} 为第 $(t-1)$ 次施肥的氮素施入总量,mg/株。参考 Timmer 的设定^[5],指数施肥处理前幼苗样品的初始氮含量为 25.35 mg/株。根据指数施肥方式,试验共设 5 个浓度指数施肥处理,分别为 100、200、400、600、800 mg/株,编号分别为 N_{100} 、 N_{200} 、 N_{400} 、 N_{600} 、 N_{800} ,施肥间隔为 1 周,共进行 12 次施肥(表 1),以不施肥处理作为对照(CK),采用完全随机区组设计。每处理 15 株,重复 3 次。试

验采用普罗丹水溶性复合肥,主要养分含量为 N 20%、 P_2O_5 20%、 K_2O 20%,采用水溶施用的方法,每株幼苗每次施用 20 mL。

1.3 幼苗生长指标的测定

分别在施肥前(5月1日)、第4周(5月29日)、第8周(6月26日)、第12周(7月24日)共4个时期,用直尺、游标卡尺分别测定美国山核桃幼苗的苗高、地径;每小区随机选取幼苗5株,用去离子水洗净,按根、茎、叶分别剪下,烘箱中于 105 °C 杀青 30 min,后于 85 °C 烘干至恒质量,用电子天平称量根、茎、叶的质量;每处理选 3 株,每株取其顶端以下第 3 ~ 5 叶中完整的叶片,用 SPAD-502 手持式叶绿素测定仪测定叶片的叶绿素相对含量,用 SPAD 值表示。

表 1 美国山核桃不同指数施肥处理的施氮量

处理	不同时间的施氮量(mg/株)											
	第1周	第2周	第3周	第4周	第5周	第6周	第7周	第8周	第9周	第10周	第11周	第12周
CK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_{100}	3.61	4.12	4.70	5.37	6.14	7.01	8.01	9.15	10.45	11.94	13.63	15.87
N_{200}	5.06	6.07	7.28	8.74	10.48	12.57	15.08	18.09	21.70	26.04	31.23	37.66
N_{400}	6.72	8.49	10.74	13.60	17.19	21.74	27.51	34.79	44.01	55.67	70.41	89.13
N_{600}	7.76	10.13	13.23	17.29	22.57	29.48	38.50	50.29	65.68	85.77	112.03	147.27
N_{800}	8.53	11.40	15.23	20.35	27.21	36.36	48.59	64.93	86.79	115.97	155.00	209.64

1.4 数据分析

采用 Excel 2013 软件对数据进行图表处理,采用 SPSS 22.0 软件进行方差分析及 LSD 多重比较。

2 结果与分析

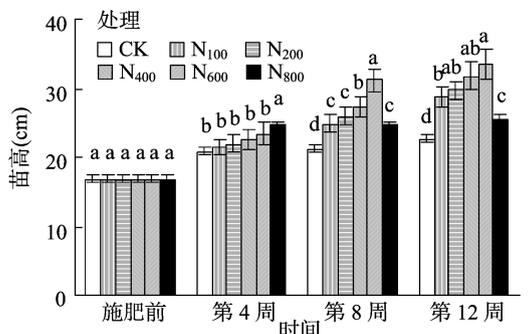
2.1 指数施肥对美国山核桃幼苗苗高的影响

由图 1 可知,随时间推移和施肥量的增加,美国山核桃幼苗的苗高逐渐增加,且各处理间的差异逐渐增大;在施肥前至第 4 周,随施氮量的增加,美国山核桃苗高呈递增趋势,第 4 周时 N_{800} 处理的苗高相对最高,为 24.7 cm,是 CK 的 1.15 倍;在第 4 ~ 8、8 ~ 12 周,随施氮量的增加,美国山核桃苗高呈先增后减的趋势,第 8、12 周时 N_{600} 处理的苗高相对最高,分别为 31.1、33.4 cm,分别是 CK 的 1.25、1.48 倍,而 N_{800} 处理苗高分别只有 24.8、25.6 cm,分别是 CK 的 1.17、1.13 倍,说明 N_{800} 处理由于施氮量过高可能导致苗高的生长受到一定抑制。由表 2 可知,在试验第 12 周,不同处理的苗高由大到小依次为 N_{600} (33.44 cm) > N_{400} (31.80 cm) > N_{200} (29.70 cm) > N_{100} (28.70 cm) > N_{800} (25.56 cm) > CK (22.60 cm),分别较施肥前增加 98.8%、89.3%、76.8%、70.8%、52.4%、34.5%。在试验末期各施肥处理中, N_{600} 处理的苗高显著高于 N_{800} 处理 ($P < 0.05$),与其他各处理差异不显著,各施肥处理的苗高显著高于 CK ($P < 0.05$),说明添加氮素对美国山核桃幼苗苗高的生长有很好的促进作用,其中以 N_{600} 处理的作用效果相对最好,其次为 N_{400} 、 N_{200} 处理。

2.2 指数施肥对美国山核桃幼苗地径的影响

由图 2 可知,指数施肥处理的美国山核桃苗地径的生长与苗高表现出相似的变化规律;在施肥前至第 4 周,随着施氮量的增加,美国山核桃地径呈增加趋势,第 4 周时 N_{800} 处理的美国山核桃苗地径相对最大,为 3.85 mm,是 CK 的 1.08 倍;在 4 ~ 8、8 ~ 12 周,随施氮量的增加,美国山核桃苗地径

呈先



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同

图 1 指数施肥对美国山核桃幼苗苗高的影响

表 2 试验末期(第 12 周)指数施肥下美国山核桃各生长指标的多重比较

处理	苗高 (cm)	地径 (mm)	生物量 (g/株)	SPAD 值
CK	22.60 ± 0.54c	3.51 ± 0.46b	4.31 ± 0.12d	34.60 ± 0.72c
N_{100}	28.70 ± 1.56ab	4.68 ± 0.16a	8.61 ± 0.52b	45.90 ± 0.86b
N_{200}	29.70 ± 1.20ab	4.80 ± 0.15a	8.62 ± 0.61b	46.70 ± 0.87b
N_{400}	31.80 ± 1.87ab	4.91 ± 0.12a	8.73 ± 0.64b	49.80 ± 0.96ab
N_{600}	33.44 ± 2.13a	5.08 ± 0.18a	9.33 ± 1.24a	50.60 ± 1.10ab
N_{800}	25.56 ± 0.56b	4.73 ± 0.12a	7.84 ± 0.45c	52.90 ± 1.13a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

增后减的趋势,第 8、12 周时 N_{600} 处理的美国山核桃苗地径相对最大,分别为 4.35、5.08 mm,分别是 CK 的 1.27、1.45 倍,而 N_{800} 处理的地径分别仅 4.27、4.73 mm,分别为 CK 的 1.25、1.35 倍,说明 N_{800} 处理由于施氮量过高可能导致苗地径的生长受到一定抑制,但抑制程度不如苗高明显。由表 2 可知,在试验末期,不同处理的美国山核桃苗地径由大到小依次

为 N_{600} (5.08 mm) > N_{400} (4.91 mm) > N_{200} (4.80 mm) > N_{800} (4.73 mm) > N_{100} (4.68 mm) > CK (3.51 mm), 分别较施肥前增加 58.3%、53.0%、49.5%、47.4%、45.8%、9.0%; 各施肥处理的美国山核桃苗地径差异不显著, 但均显著大于 CK ($P < 0.05$), 说明不同指数施肥量对美国山核桃幼苗地径的生长有很好的促进作用, 其中以 N_{600} 处理的作用效果相对最好, 其次为 N_{400} 、 N_{200} 处理。

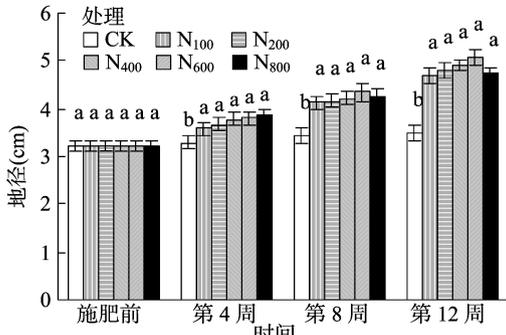


图2 指数施肥对美国山核桃幼苗地径的影响

2.3 指数施肥对美国山核桃幼苗生物量积累的影响

由图3可知, 在施肥前至第4周、第4~8周、第8~12周, 随着施氮量的增加, 美国山核桃生物量呈先增后减的趋势, 第4、8、12周时均为 N_{600} 处理的生物量相对最高, 分别为 3.11、6.19、9.33 g/株, 分别是 CK 的 1.16、1.38、2.16 倍, 而 N_{800} 处理的生物量分别为 3.01、5.96、7.84 g/株, 分别为 CK 的 1.12、1.33、1.82 倍, 说明 N_{800} 处理由于施氮量过高可能使得对生物量的积累受到抑制作用。由表2可知, 在试验末期, 不同处理的生物量由高到低依次为 N_{600} (9.33 g/株) > N_{400} (8.73 g/株) > N_{200} (8.62 g/株) > N_{100} (8.61 g/株) > N_{800} (7.84 g/株) > CK (4.31 g/株), 分别较施肥前增加 677.3%、627.3%、618.7%、617.8%、553.5%、258.0%; 各施肥处理的生物量均显著高于 CK, N_{600} 、 N_{800} 处理的生物量与其他施肥处理相比差异显著 ($P < 0.05$), 说明不同指数施肥量对美国山核桃幼苗的生物量积累有很好的促进作用, 其中以 N_{600} 处理的作用效果相对最好, 而 N_{800} 处理由于浓度过高, 可能对幼苗产生一定的毒害作用, 使得生物量积累受到一定的抑制。

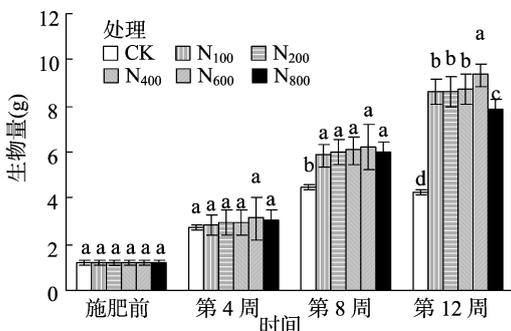


图3 指数施肥对美国山核桃幼苗生物量的影响

2.4 指数施肥对美国山核桃叶片叶绿素相对含量的影响

由图4可知, 在施肥前至第4周、第4~8周、第8~12周, 随着施氮量的增加, 美国山核桃叶片的 SPAD 值呈增加趋势, 第4、8、12周时均为 N_{800} 处理的 SPAD 值相对最大, 分别为 46.90、52.60、52.90, 分别为 CK 的 1.54、1.61、1.53 倍。由表

2可知, 在试验末期, 不同处理的叶片 SPAD 值由大到小依次为 N_{800} (52.90) > N_{600} (50.60) > N_{400} (49.80) > N_{200} (46.70) > N_{100} (45.90) > CK (34.60), 分别较施肥前增加 78.1%、70.4%、67.7%、57.2%、54.5%、16.5%, 说明不同指数施肥量对美国山核桃幼苗叶片叶绿素含量的增加有很好的促进作用, 其中以 N_{800} 处理的作用效果相对最为明显, 其次为 N_{600} 、 N_{400} 处理; 各施肥处理的 SPAD 值显著高于 CK ($P < 0.05$), 除 N_{800} 处理的 SPAD 值显著高于 N_{100} 、 N_{200} 处理外, 与其他施肥处理间差异不显著。

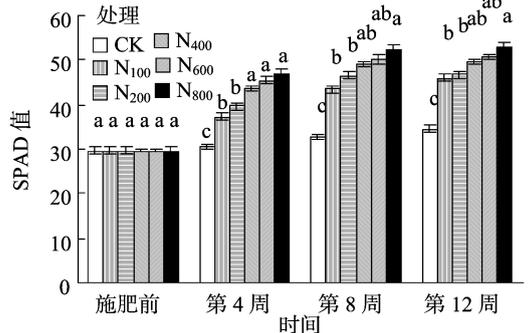


图4 指数施肥对美国山核桃幼苗叶片 SPAD 值的影响

2.5 指数施肥对美国山核桃幼苗根冠比的影响

根冠比是评价苗木质量和竞争力的指标之一, 体现苗木生物量的分配格局。由图5可知, 指数施肥结束时, 随着施氮量的增加, 美国山核桃幼苗的根冠比呈下降趋势, N_{800} 处理的根冠比相对最小, 为 0.39, 为 CK 的 30.5%, 说明在养分亏缺的条件下, 美国山核桃幼苗的生物量更多地向根部分配以提高根系对养分的吸收能力, 在养分充足的条件下, 美国山核桃幼苗的生物量更多地向地上部分分配, 这有利于光合作用和生物量的积累。多重比较结果表明, 除 N_{400} 、 N_{600} 、 N_{800} 处理的根冠比相互间差异不显著外, 其他各处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。

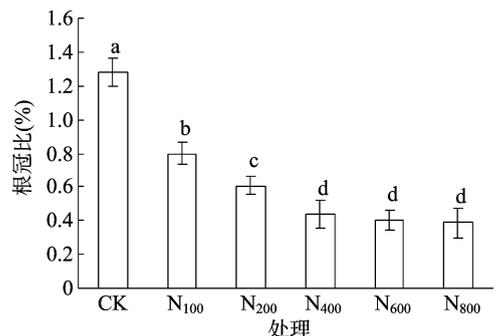


图5 施肥结束时指数施肥对美国山核桃幼苗根冠比的影响

3 结论与讨论

施肥对幼苗苗高、地径生长与生理代谢、生物量积累均有一定的促进作用, 是提高苗木质量的关键技术之一^[12]。指数施肥是一种高效、与植物生长规律相适应的施肥方式, 可以显著提高肥料的利用效率。李玲莉等报道, 指数施肥已应用于 8 个国家的 30 余种植物^[6]。苗高和地径是评价苗木质量优劣的重要指标。刘欢等对杉木无性系研究表明, 与对照相比,

常规施肥处理的苗高、地径分别增加 34.1%、20.5%，指数施肥处理的苗高、地径分别增加 40.1%~60.5%、36.0%~40.4%，指数施肥促进苗木生长的效果明显优于常规施肥^[13]。本研究表明，指数施肥处理的美国山核桃幼苗苗高、地径显著高于不施肥处理(CK)；施肥结束(第12周)时，不施肥处理的苗高和地径分别比处理前增加 34.5%、9.0%，而指数施肥处理的苗高、地径分别比处理前增加 52.4%~98.8%、45.8%~58.3%；当施氮量为 600 mg/株时，美国山核桃幼苗的苗高、地径均相对最大，说明适量施氮能促进美国山核桃幼苗的生长，而过量施氮则抑制其生长，这与何茜等的研究结果^[14]相似。

生物量是评价苗木生产力高低的重要指标之一，而苗木体内生物量积累与分配受到施氮量的影响。Iverson 认为，生物量大的苗木在困难立地条件下竞争能力更强^[15]。本试验结果表明，指数施肥处理的美国山核桃幼苗生物量随施氮总量的增加呈先增加后减小的趋势，施氮量为 600 mg/株时，美国山核桃幼苗的生物量相对最大，而施氮量增加至 800 mg/株时，生物量减少，表明适量施氮能促进美国山核桃幼苗的生长，显著促进苗木生物量的积累，而过量施氮使苗木受到轻微的毒害，苗木生长和生物量积累受到抑制^[16-17]。根冠比也是评价苗木质量和竞争力的指标之一，体现苗木生物量的分配格局。当氮素缺乏时，植物会提高根系生物量的分配比例以提高根系对氮素的吸收能力，而适当增加氮素供应能促进植物根、茎、叶生物量的积累，可能由于对茎、叶生长的促进作用大于根系，从而导致根冠比随施氮量的增加而降低。本研究中，随着施氮量的增加，美国山核桃幼苗根冠比呈不断降低的趋势，与李双喜等的研究结果^[18]一致。

植物生物量的积累直接来源于光合作用，而叶片叶绿素含量与光合作用呈正相关^[19]，植物叶片 SPAD 值与叶绿素含量具有显著相关性^[20]，因此，叶片 SPAD 值常被用来表征植物叶片的叶绿素含量。本研究表明，随着施氮量的增加，美国山核桃幼苗叶片的 SPAD 值增加，施肥结束时各施氮处理较施肥前分别增加 54.5%~78.1%，远大于 CK 处理的 16.5%，表明指数施肥显著增加了美国山核桃叶片的叶绿素含量，对提高幼苗光合能力起到重要作用，这与张华林等的研究结论^[21]类似。

综上所述，不同供氮水平对美国山核桃幼苗的生长有明显影响，随着供氮水平的增加，苗高、地径、生物量等生长指标呈先增加后减少的趋势，在施氮量为 600 mg/株时达到最大值，说明合适的供氮量能明显促进美国山核桃幼苗的生长发育，其中以 600 mg/株为美国山核桃幼苗的最佳施氮量。需说明的是，本试验仅从形态指标上评价不同指数施肥量对美国山核桃苗期生长的影响，今后还需进一步从养分承载、光合生理等方面进行综合分析评价。

参考文献:

- [1] 魏红旭,徐程扬,马履一,等. 不同指数施肥方法下长白落叶松播种的需肥规律[J]. 生态学报,2010,30(3):685-690.
- [2] Juntunen M L, Hammar T, Rikala R. Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers[J]. Journal of Environmental Quality,2002,31(6):1868-1874.
- [3] Ingstad T, Lund A B. Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants[J]. Scandinavian Journal of Forest Research,1986,1(1/2/3/4):439-453.
- [4] Timmer V R, Munson A D. Site-specific growth and nutrition of planted *Picea marianain* the Ontario Clay Belt. IV nitrogen loading response[J]. Canada Journal of Forestry Research,2001,21(7):1058-1065.
- [5] Timmer V R. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites[J]. New Forests,1997,13(1/2/3):279-299.
- [6] 李玲莉,李吉跃,张方秋,等. 容器苗指数施肥研究综述[J]. 世界林业研究,2010,23(2):22-27.
- [7] 赵清明. 水土保持经济树种薄壳山核桃的耐盐性及耐水性评价研究[D]. 重庆:西南大学,2013:8-11.
- [8] 何海洋,彭方仁,张瑞,等. 不同品种美国山核桃嫁接苗光合特性比较[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(4):19-25.
- [9] 习学良,范志远,邹伟烈,等. 10个美国山核桃品种的引种研究初报[J]. 浙江林学院学报,2006,23(4):382-387.
- [10] 傅松玲,吴照柏. 美国山核桃嫁接与栽培技术研究[J]. 经济林研究,2001,32(4):11-13.
- [11] 李晖,张瑞,彭方仁,等. 美国山核桃种质资源遗传多样性 ISSR 分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(4):7-12.
- [12] 王燕,晏紫依,李吉跃,等. 不同施肥方法对欧洲云杉生理和根系形态的影响[J]. 西北林学院学报,2015,30(6):15-21.
- [13] 刘欢,王超琦,吴家森,等. 氮素指数施肥对杉木无性系苗生长及养分含量的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(10):3123-3128.
- [14] 何茜,王冉,李吉跃,等. 不同浓度指数施肥方法下马来沉香与土沉香苗期需肥规律[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(5):1193-1203.
- [15] Iverson R D. Planting-stock selection: meeting biological needs and operational realities[M]. Corvallis: Kluwer Academic Publishers, 1984:261-266.
- [16] 王力朋,晏紫伊,李吉跃,等. 指数施肥对榿树无性系生物量分配和根系形态的影响[J]. 生态学报,2012,32(23):7452-7462.
- [17] 范志强,王政权,吴楚,等. 不同供氮水平对水曲柳苗木生物量、氮分配及其季节变化的影响[J]. 应用生态学报,2004,13(9):1497-1501.
- [18] 李双喜,杨曾奖,徐太平,等. 施氮量对檀香幼苗生长及养分积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(3):807-814.
- [19] 贾瑞丰,尹光天,杨锦昌,等. 不同氮素水平对红厚壳幼苗生长及光合特性的影响[J]. 林业科学研究,2012,25(1):23-29.
- [20] 王瑞,陈永忠,陈隆升,等. 油茶叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关分析[J]. 中南林业科技大学学报,2013,33(2):77-80.
- [21] 张华林,谢耀坚,彭彦. 不同浓度指数施肥方法下尾巨桉幼苗需肥规律[J]. 热带作物学报,2013,34(7):1218-1222.