

# Effect of Different Fertilization Levels on Growth and Physiological Characteristics of *Carya illinoensis*

Zhengjin Huang, Haiyan Yang, Shanshan Dong, Wenlong Wu\*, Lianfei Lv

Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences (Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-sen), Nanjing Jiangsu  
Email: hzj90@qq.com, \*1964wwl@163.com

Received: Jun. 29<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jul. 10<sup>th</sup>, 2018; published: Jul. 17<sup>th</sup>, 2018

## Abstract

In order to provide theoretical basis for rational fertilization of *Carya illinoensis*, an experiment based on fertilization levels was carried out under open-field condition to study the effect of different fertilizer application rates on growth and physiological characteristics of *Carya illinoensis*. The treatments were designed as follows: 0 g per plant was used as the control (CK); 50 g per plant for treatment T1; 75 g per plant for treatment T2; 100 g per plant for treatment T3 and 125 g per plant for treatment T4. The results show that with the increase of fertilization, the ground diameter, diameter at breast height (DBH) and plant height increased significantly. The effect of fertilizer on plant height was earlier than that on ground diameter and DBH. The content of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll in leaves also showed an increasing tendency. The generation rate of O<sub>2</sub><sup>-</sup> decreased while the activity of SOD enzyme and the content of soluble protein increased gradually. The results indicated that under the conditions of this experiment, *Carya illinoensis* showed higher growth and vigorous physiological activity with treatment T4, the best fertilizer amount for the growth of *Carya illinoensis* was 125 g macro-element water-soluble compound fertilizer per plant.

## Keywords

*Carya illinoensis*, Fertilization Levels, Growth, Physiological Characteristic

# 不同肥料水平对薄壳山核桃生长和生理特性的影响

黄正金, 杨海燕, 董珊珊, 吴文龙\*, 阎连飞

\*通讯作者。

江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京  
Email: hzj90@qq.com, 1964wwl@163.com

收稿日期: 2018年6月29日; 录用日期: 2018年7月10日; 发布日期: 2018年7月17日

## 摘要

为了给薄壳山核桃合理施肥提供理论依据, 在露地栽培条件下, 对薄壳山核桃嫁接苗波尼品种设置0 g/株(CK)、50 g/株(T1)、75 g/株(T2)、100 g/株(T3)和125 g/株(T4) 5个施肥水平处理, 研究不同肥料水平对薄壳山核桃生长和生理特性的影响。结果表明, 随着施肥量的增加, 薄壳山核桃地径、胸径和株高显著增加, 且肥料对株高生长的影响早于对地径、胸径生长的影响; 薄壳山核桃叶片中叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量均呈上升趋势, 超氧阴离子产生速率降低, SOD酶活性增加, 可溶性蛋白含量逐渐增加。结论认为, 波尼品种在T4施肥水平下表现出较高生长量和较旺盛生理活动, 即每株每次追肥125 g大量元素水溶复合肥为最佳施肥水平。

## 关键词

薄壳山核桃, 施肥水平, 生长量, 生理特性

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

薄壳山核桃[Carya illinoensis Koch], 又称长山核桃或美国山核桃, 属胡桃科山核桃属植物, 原产于美国和墨西哥北部, 是世界上著名的干果树种之一, 营养价值丰富[1], 也是重要的木本油料植物, 种仁油脂含量高达70%左右, 其中不饱和脂肪酸含量高达97%, 有很好的贮藏性, 是上等的烹调用油和色拉油[2]。树姿优美, 还可作为绿化树种[3]。近年来, 国家把发展薄壳山核桃等木本油料作物的种植定位成保障国家粮油安全的重要战略, 江苏省也高度重视薄壳山核桃产业的发展, 政府逐年加大政策支持与资金投入, 产业发展逐步升温[4]。随着薄壳山核桃的推广应用, 生产上需要大量优质种苗, 也需要配套高效优质栽培技术。施肥不仅能促进苗木的生长发育, 还能提高苗木质量, 提高果实品质[5], 合理施肥是果树获得高产的有效措施, 不同的施肥水平对薄壳山核桃的生长发育有很大的影响。本研究对薄壳山核桃在不同肥料水平下的生长量及其生理效应进行了比较分析, 以期对薄壳山核桃栽培管理中肥料的合理利用提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验材料与设计

试验于2017年度在江苏省中国科学院植物研究所溧水白马科研基地(31°36'6"N, 119°11'44"E, 粘质壤土)进行, 年平均气温15.4℃, 多年平均降雨量1087.4 mm。材料为6年生薄壳山核桃嫁接苗, 品种为波尼(Pawnee)。

试验于薄壳山核桃生长季节的关键时期分3次进行, 时间为3月27日、5月27日和9月8日。试

验设 4 个处理, 每个处理 5 株, 定点观测, 取均值, 试验地条件相同, 各试验树管理水平一致。施肥水平分别为 50 g/株(T1)、75 g/株(T2)、100 g/株(T3)和 125 g/株(T4), 以不施肥为对照(CK), 肥料采用济宁市金山生物工程有限公司生产的衡丰宝大量元素水溶复合肥[氮肥(N) + 磷肥( $P_2O_5$ ) + 钾肥( $K_2O$ )  $\geq$  60%, 20-20-20+TE], 3月27日施肥配施有机肥 1 Kg/株。有机肥撒施在核桃周围直径 80 cm 范围内, 浅翻到土中; 衡丰宝挖穴水施, 施肥穴距离薄壳山核桃 50 cm, 深 15~20 cm, 将衡丰宝溶于水施入穴中, 然后覆土。于每次施肥前及 10 月 24 日, 取叶片进行相关指标的测定。

## 2.2. 测定项目与方法

### 2.2.1. 生长指标

于每次施肥前及 10 月 24 日, 测量各个处理每株的苗木地径、胸径和株高。

### 2.2.2. 叶绿素含量的测定

称取 10 月 24 日所取叶片 0.2 g, 用 80%乙醇研磨成匀浆, 4℃下 8000 r/min 离心 10 min, 用乙醇定容至 12 mL, 分别测定 470、649 和 665 nm 处的吸光值, 根据公式计算叶绿素含量[6]。

### 2.2.3. 超氧阴离子( $O_2^{\cdot-}$ )产生速率

取 0.5 mL 叶片样品粗酶液, 加入 1 mL 1 mmol/L 盐酸羟胺和 0.5 mL 50 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 7.8), 混匀, 25℃下保温 1 h, 然后再加入 1 mL 7 mmol/L  $\alpha$ -萘胺和 1 mL 17 mmol/L 对氨基苯磺酸, 摇匀, 25℃下保温 20 min, 测定 530 nm 处的吸光值, 根据公式计算  $O_2^{\cdot-}$  的产生速率[7]。

### 2.2.4. 超氧化物歧化酶(SOD)活性

采用黄嘌呤氧化酶法[8], 称取 1.0 g 叶片, 用 50 mmol/L 的磷酸缓冲液(pH 7.8)研磨, 4℃下 10,000 r/min 离心 10 min, 取上清液进行酶活性分析, 以每毫升反应液中 SOD 抑制率达 50%时所对应的 SOD 量作为 1 个酶活力单位。

### 2.2.5. 可溶性蛋白含量

取 2 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液, 加入 0.5 mL 样品粗酶液, 混匀, 反应 10 min 后测定 595 nm 处的吸光值, 根据标准曲线计算蛋白质含量[9]。

## 2.3. 统计分析

试验数据采用 Excel 2013、DPS 7.05 等软件进行计算和统计分析, 采用 LSD 法测验显著性, Sigma Plot 10.0 作图。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 不同肥料水平对薄壳山核桃植株生长量的影响

不同肥料处理对薄壳山核桃地径、胸径及株高均存在影响。由表 1 可以看出, 不同肥料水平在开始处理两个月后(5 月 27 日)时对地径和胸径的影响未达显著水平(F 值为 0.24 ns 和 0.99 ns), 但是株高则表现出显著差异(F = 3.90, P = 0.037), T4 处理的株高较 CK 提高 5.47%, 差异显著。自 9 月 8 日后, 不同处理的地径、胸径和株高均表现出显著差异(F 值分别为 7.20、6.26 和 17.32, P 值分别为 0.0053, 0.0087, 0.0002), 施用肥料越多, 其地径、胸径及株高增长越快, 至 10 月 24 日, 对照处理的地径、胸径、株高分别增长了 19.64 mm、13.49 mm 和 40 cm, 各肥料处理的此三项指标增量均高于对照处理。T4 处理植株的地径、胸径和株高值最大, 分别为 23.51 mm、17.91 mm 和 126 cm, 显著高于对照和 T1 处理, 与 T3 处理无显著差异。

### 3.2. 不同肥料水平对薄壳山核桃生理特性的影响

#### 3.2.1. 对叶片叶绿素含量的影响

叶绿素含量的高低直接反映植物光合能力的强弱。由表 2 可知, 随着施肥量的增加, 薄壳山核桃叶片中叶绿素 *a* (Chl *a*)、叶绿素 *b* (Chl *b*)和总叶绿素含量(Chl)均呈上升趋势, 表现出极显著差异(F 值分别为 32.66、40.89 和 88.92, P 值均为 0.0001)。T1 处理的叶绿素 *a* 和叶绿素 *b* 含量与对照处理无显著差异, 但总叶绿素含量显著高于对照; T2、T3 和 T4 处理的叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 和总叶绿素含量均显著高于对照处理。T4 处理的各指标值最大, 分别为 1.44 mg/g、0.66 mg/g 和 2.10 mg/g, 与对照处理相比分别增加了 30.91%、37.50%和 32.91%。由此说明, 随着施肥量的增加, 植株的光合能力逐渐增强。

#### 3.2.2. 对叶片 O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率的影响

O<sub>2</sub><sup>-</sup>是代谢过程中产生的主要活性氧自由基, 对膜脂具有较强的氧化作用。由图 1 可以看出, 开始处理后 2 个月(5 月 27 日), 各处理的超氧阴离子产生速率低于对照处理, 降低了 2.53%~27.61%, 差异极显著(F = 19.42, P = 0.0001)。此后(9 月 8 日), 各处理的超氧阴离子产生速率持续降低, 比对照处理降低了 11.82%~38.43%, 差异极显著(F = 72.79, P = 0.0001)。至 10 月 24 日, CK、T1、T2 和 T3 处理的超氧阴离子产生速率有所上升, 而 T4 处理仍降低, 这可能是由于植株生长后期逐渐进入冬季休眠的原因, 较高的施肥量延缓了植株休眠。

**Table 1.** Effect of different fertilization levels on mass growth of *Carya illinoensis*

**表 1.** 不同肥料水平对薄壳山核桃植株生长量的影响

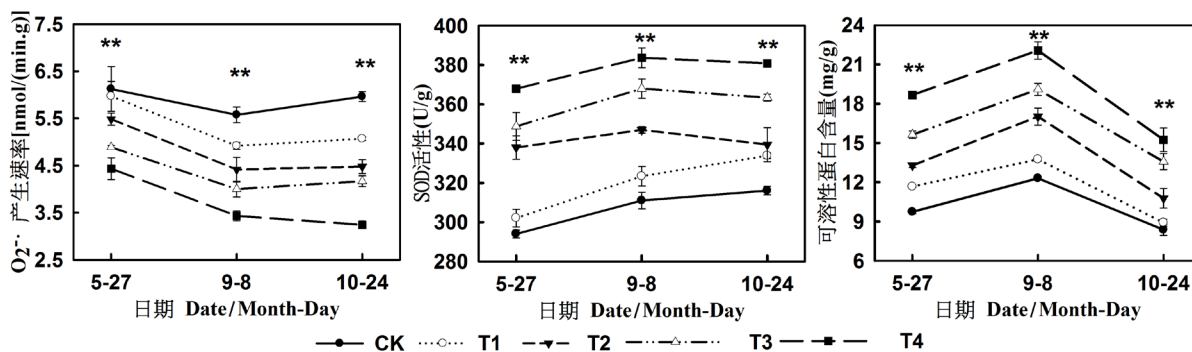
肥料水平	地径/mm				胸径/mm				株高/cm			
	3/27	5/27	9/8	10/24	3/27	5/27	9/8	10/24	3/27	5/27	9/8	10/24
CK	22.65 a	26.06 a	41.40 c	42.29 c	17.57 a	19.96 a	29.95 b	31.06 c	250 a	274 b	280 c	290 c
T1	22.31 a	26.93 a	42.87 bc	43.35 bc	17.72 a	19.91 a	31.17 b	33.01 bc	248 a	277 b	291 bc	310 bc
T2	22.09 a	26.75 a	44.20 ab	45.15 ab	17.27 a	19.58 a	31.58 b	32.74 bc	247 a	283 ab	303 b	328 b
T3	22.01 a	26.88 a	44.83 a	45.67 ab	16.81 a	20.49 a	31.63 b	34.55 ab	245 a	282 ab	321 a	361 a
T4	22.75 a	27.71 a	45.43 a	46.26 a	18.24 a	22.21 a	34.09 a	36.15 a	255 a	289 a	322 a	381 a
F 值	0.10	0.24	7.20	4.18	0.31	0.99	6.26	8.43	0.20	3.90	17.32	20.07
P 值	0.9785	0.9082	0.0053	0.0302	0.8622	0.455	0.0087	0.003	0.9315	0.0369	0.0002	0.0001

注: 同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平具有差异显著性, 下同。

**Table 2.** Effect of different fertilization levels on Chlorophyll content of leaves of *Carya illinoensis*

**表 2.** 不同肥料水平对薄壳山核桃叶片叶绿素含量的影响

肥料水平	Chl <i>a</i> 含量 (mg/g)	Chl <i>b</i> 含量 (mg/g)	总含量 (mg/g)
CK	1.10 d	0.48 d	1.58 e
T1	1.15 d	0.51 d	1.66 d
T2	1.25 c	0.56 c	1.81 c
T3	1.34 b	0.62 b	1.96 b
T4	1.44 a	0.66 a	2.10 a
F 值	32.66	40.89	88.92
P 值	0.0001	0.0001	0.0001



注：\*、\*\*分别表示不同处理间差异在 0.05 及 0.01 水平差异显著。

Figure 1. Effect of different fertilization levels on physiological index of leaves of *Carya illinoensis*

图 1. 不同肥料水平对薄壳山核桃叶片生理指标的影响

### 3.2.3. 对叶片 SOD 酶活性的影响

SOD 将  $O_2^{\cdot-}$  快速歧化为  $H_2O_2$  和  $O_2$ ，再清除出植株体内。由图 1 可知，开始处理后 2 个月(5 月 27 日)，T2、T3 和 T4 处理的 SOD 酶活性显著高于 CK 处理，T1 处理与对照处理的差异未达显著水平。至 9 月 8 日，各处理 SOD 酶活性均增加，以 T4 处理的酶活性最高，是对照处理的 123.35%。10 月 24 日时，各处理的 SOD 酶活性仍表现出极显著差异( $F = 112.86, P = 0.0001$ )，其中 CK 和 T1 处理的 SOD 酶活性较 9 月 8 日增加，其他三个处理则降低。

### 3.2.4. 对叶片可溶性蛋白含量的影响

可溶性蛋白含量的高低直接反映了植株体内生理活动的旺盛程度。由图 1 可知，开始处理后 2 个月(5 月 27 日)，随着施肥量的增加，可溶性蛋白含量逐渐增加，差异极显著( $F = 256.08, P = 0.0001$ )，最高(T4 处理)较 CK 处理高 91.58%。此后至 9 月 8 日，各处理可溶性蛋白含量持续增加，再往后至 10 月 24 日，各处理可溶性蛋白含量降低，但总体趋势仍为施肥量越大，含量越高，差异极显著( $F$  值分别为 209.45 和 65.43， $P$  值均为 0.0001)。

## 4. 讨论与结论

在作物的生长过程中，肥料对其生长起到了十分重要的作用，合理施肥能促进植物的生长发育，对根系的发育和形态建成有促进作用，提高干物质积累，提高苗木质量[10] [11]。逢宏扬[12]等研究表明，施肥能显著地促进核桃楸苗木的生长，对高径生长和生物量均有明显地增效作用。但是，肥料施用存在一定的浓度范围，超过阈值就会影响苗木生长[13] [14]。本试验结果表明，施用复合肥，薄壳山核桃地径、胸径和株高均显著增加，并且随着施肥量的增加，地径、胸径和株高增量上升。表明施肥质量浓度与薄壳山核桃植株营养生长呈正相关关系，这也在 Olier、Walker 等的研究中得到证实[15] [16]。此外，施用复合肥后，薄壳山核桃的株高较早地受到影响，显著增加，这可能是由于肥料对株高的影响要早于对地径的影响的原因。孙利涛[17]对杨树苗期施肥的研究证实，尿素对苗高生长的影响早于对地径生长的影响。

氮素是叶绿素的主要组成成分，不断增加的氮素含量具有促进植物叶片叶绿素合成的作用[18]。抗氧化系统中的 SOD 是生物体内清除  $O_2^{\cdot-}$  的重要抗氧化酶，它使得  $O_2^{\cdot-}$  和  $H_2O_2$  等转变为活性较低的物质而起到一定的保护作用，可溶性蛋白含量的高低直接反映了植株体内生理活动的旺盛程度。前人的相关研究表明，随着肥料施用量的增加，叶片内叶绿素含量会显著升高，可溶性蛋白含量也会显著升高[19]。本研究表明，随着施肥量的增加，薄壳山核桃叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均呈上升趋势。自开始处理后两个月，随着施肥量增加，超氧阴离子产生速率降低，SOD 酶活性增加，可溶性蛋白含量



逐渐增加,并在此后 100 天左右时间内持续降低或增加。随着进入生长季末期,植株开始进入冬季休眠, $O_2^-$ 产生速率呈增加趋势,SOD 酶活性和可溶性蛋白含量则呈降低趋势。

本研究仅为一年的试验结果,而且薄壳山核桃为多年生乔木,可以利用枝干及根贮藏养分,为后期生长提供所需营养。因此,还需进一步进行连续重复试验来对结果进行验证。

## 基金项目

江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(16)1035];2017 年江苏省林业科技创新与推广项目(LYKJ[2017]38)。

## 参考文献

- [1] 李永荣,吴文龙,刘永芝.薄壳山核桃种质资源的开发利用[J].安徽农业科学,2009,37(27):13306-13308,13316.
- [2] 彭方仁,李永荣,郝明灼,等.我国薄壳山核桃生产现状与产业化发展策略[J].林业科技开发,2012,26(4):1-4.
- [3] 吴文龙,阎连飞.薄壳山核桃的引种栽培[J].江苏林业科技,2003(1):11-13.
- [4] 姜宗庆,李成忠,汤庚国.薄壳山核桃良种波尼在苏中地区的引种试验[J].湖北农业科学,2018,57(1):69-70,73.
- [5] 周嘉熹.西北森林害虫及防治[M].西安:陕西科学技术出版社,1994.
- [6] Arnon, D.I. (1949) Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts Polyphenol Oxidase in Beta Vulgaris. *Plant Physiology*, **24**, 1-5. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- [7] 罗广华,王爱国.植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J].植物生理学通讯,1990(6):94-95.
- [8] Beyer, W.F. and Fridovich, I. (1987) Assaying for Superoxide Dismutase Activity: Some Large Consequences of Changes in Conditions. *Analytical Biochemistry*, **161**, 559-566. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(87\)90489-1](https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90489-1)
- [9] Bradford, M.A. (1976) Rapid and Sensitive Method for the Quantification of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Proteindye Binding. *Analytical Biochemistry*, **72**, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- [10] 国靖,汪贵斌,曹福亮.施肥对银杏叶片光合作用及营养元素质量分数的影响[J].浙江农林大学学报,2016,33(6):969-975.
- [11] 王益明,万福绪,胡菲,等.指数施肥对美国山核桃幼苗根系形态的影响[J].东北林业大学学报,2018,46(3):29-32.
- [12] 逢宏扬,李红莉,龙作义,等.施不同氮磷钾组合肥对核桃楸苗木质量的影响[J].江苏林业科技,2016,43(4):7-9,17.
- [13] 李谦盛,邓敏,谭海博,等.基质配比和控释肥施用量对曼青冈容器苗生长的影响[J].江西农业大学学报,2013,35(3):480-485.
- [14] 朱海军,生静雅,刘广勤,等.控释肥对薄壳山核桃容器苗营养生长的影响[J].中南林业科技大学学报,2015,35(1):37-41.
- [15] Oliet, J., Planelles, R., Segura, M.L., et al. (2004) Mineral Nutrition and Growth of Containerized *Pinus halepensis* Seedlings under Controlled-Release Fertilizer. *Scientia Horticulturae*, **103**, 113-129. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.019>
- [16] Walker, R.F. and Hunt, C.D. (1999) Growth and Nutrition of Containerized Singleleaf Pinyon Seedlings in Response to Controlled Release Fertilization. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, **13**, 123-132. <https://doi.org/10.1080/089030699263366>
- [17] 孙利涛.施肥对杨树生长及生理特性的影响[D]:[硕士学位论文].南京:南京林业大学,2008.
- [18] 王履清,张边江,唐宁.氮素匮乏对小麦光合特性的影响[J].湖北农业科学,2014,53(8):1758-1761.
- [19] 吴家胜,张往祥,曹福亮.氮磷钾对银杏苗生长和生理特性的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2003(1):63-66.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5507，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)