

元宝槭幼树施肥研究

II. 对叶内黄酮、绿原酸及养分的影响*

苏建荣, 邓疆, 罗香, 杨文云

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要: 测定 9 个不同施肥处理下元宝槭叶内黄酮类化合物、绿原酸和 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 和 B 的含量与积累量, 通过主成分分析影响黄酮类化合物、绿原酸含量的因子。研究结果表明: $N_0P_{2.5}K_{7.5}$ 和 $N_0P_{1.25}K_{37.5}$ 处理下元宝槭的黄酮类化合物、绿原酸积累量比对照增加 1~1.5 倍, 是叶用原料林的最佳施肥配方; 施肥处理下营养元素的含量与积累量呈正相关, 但黄酮类化合物、绿原酸含量与积累量并不呈正相关; “光合与氮素代谢促进” 因子和“酶促反应促进” 因子是影响黄酮类化合物和绿原酸含量的两个最主要的成分, 其变异积累贡献率在 87% 以上, 且以 P、Cu、Mg 的负荷量最大, 可通过调节叶内营养元素的含量对黄酮类化合物和绿原酸的含量进行调控。

关键词: 元宝槭; 施肥; 黄酮类化合物; 绿原酸; 营养元素

中图分类号: S723.1 文献标识码: A

Studies on Fertilization of Young *Acer truncatum* Bunge

II. Effect on Flavonoid, Chlorogenic Acid and Nutrition Elements in Leaves

SU Jian_rong, DENG Jang, LUO Xiang, YANG Wen_yun

(Research Institute of Resource Insect, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: By determining the content of flavonoid, chlorogenic acid and ten nutrition elements in the leaves of *Acer truncatum* treated by 9 kinds of nutrition supplying, by analyzing the principal components, the dynamic relationship among nutrition elements and the content of flavonoid and chlorogenic acid were investigated. The result indicated that the content of flavonoid and chlorogenic acid in leaves of the two best fertilization treatments was 100%~150% higher than the control. The effect of treatment on the content and the accumulation content of nutrition elements was similar, but the effects on flavonoid and chlorogenic acid was negatively correlated. Of the five principal factors affecting the content of flavonoid and chlorogenic acid, two were found to be principal: factors of promoting photosynthesis and nitrogen, and factors of promoting enzyme react. The accumulated variation contribution rate of the two factors was more than 87% and the loading of P, Cu and Mg was the biggest among the loading matrix of principal components.

Key Words: *Acer truncatum*; fertilization; flavonoid; chlorogenic acid; nutrition elements; content; accumulation content

元宝槭(*Acer truncatum* Bunge) 富含黄酮类化合物和绿原酸^[1], 广泛种植于山西、江西、河南、山东、安徽、云南、四川、重庆等省(市)。生产上, 元宝槭的

施肥技术仍处于较低水平, 施肥种类、施肥量均未达到按需施肥和合理施肥的要求^[2]。为此, 作者通过施肥对元宝槭生长与构型影响的研究提出了适宜不

收稿日期: 2004-11-16

基金项目: 云南省科学技术厅“十五”科技攻关项目“槭树资源培育及药用原料加工技术研究与开发”(2000A4-01)的部分内容

作者简介: 苏建荣(1970—), 男, 云南永胜人, 副研究员, 在读博士生。

* 本研究得到曹孟利工程师和张燕平研究员的大力帮助, 在此一并致谢!

同经营目标的最佳施肥配方^[3]。由于黄酮类化合物、绿原酸含量与积累量是决定元宝槭叶利用价值的关键因素,故需进一步研究施肥对它们的影响。目前,尚未见关于元宝槭这方面的研究报道,但针对杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.)、银杏(*Ginkgo biloba* Linn.)和虎杖(*Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc.)等的类似研究表明:次生物质积累器官中营养元素含量影响次生物质的含量,主要成分分析、途径分析等方法能较好地分析影响次生物质含量的主要因子^[4-7]。本文通过检测不同施肥处理下元宝槭叶的绿原酸、黄酮类化合物、营养元素含量,分析施肥对绿原酸、黄酮类化合物和营养元素积累量的影响,探讨叶营养元素含量与绿原酸、黄酮类化合物含量的关系,为元宝槭人工原料林的抚育管理,尤其是养分

管理提供科学依据。

1 材料及方法

1.1 试验点概况

本研究在中国林科院资源昆虫研究所滇中高原试验站进行。地理位置为 102°11' E, 25°09' N, 海拔 1 826 m, 年平均气温 16.2 °C, 年平均降水量 930.5 mm, 年相对湿度 74%, ≥10 °C 的活动积温 5 214.0 °C, 年日照时数 2 198 h。

1.2 试验材料及试验设计

2002 年 7 月,选用生长健壮,株高与地径基本一致的元宝槭实生百日苗在泥盆中定植。试验用土为红壤, pH 值 4.77, 养分含量如表 1。

表 1 供试土壤养分含量

有机质/ (g·kg ⁻¹)	全 N/ (g·kg ⁻¹)	全 P/ (g·kg ⁻¹)	全 K/ (g·kg ⁻¹)	速 N/ (mg·kg ⁻¹)	速 P/ (mg·kg ⁻¹)	速 K/ (mg·kg ⁻¹)	速 Zn/ (mg·kg ⁻¹)	速 B/ (mg·kg ⁻¹)
6.1	0.4	0.4	7.0	32.26	2.00	36.00	1.00	0.14

肥料选用尿素 (NO (NH₂)₂)、过磷酸钙 (Ca (H₂PO₄)₂H₂O) 和氯化钾 (KCl), 其中 N、P₂O₅、K₂O 的含量分别为 46%、14% 和 60%。试验设 3 因素 3 水平 (表 2) 正交设计, 共 9 处理 (表 3), 每处理 1 株 8 个重复。施肥时全部磷、钾肥作基肥, 与盆土混匀。氮肥分别于定植 1 个月和 6 月后分 2 次施用。

表 2 试验水平与施肥量

施肥 水平	因子和施肥量		
	N/(g·盆 ⁻¹)	P ₂ O ₅ /(g·盆 ⁻¹)	K ₂ O/(g·盆 ⁻¹)
1	0	0	0
2	50	125	37.5
3	100	250	75.0

表 3 试验处理

处理号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
配方	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₁₂₅ K _{37.5}	N ₀ P ₂₅₀ K ₇₅	N ₅₀ P ₀ K _{37.5}	N ₅₀ P ₁₂₅ K ₇₅	N ₅₀ P ₂₅₀ K ₀	N ₁₀₀ P ₀ K ₇₅	N ₁₀₀ P ₁₂₅ K ₀	N ₁₀₀ P ₂₅₀ K _{37.5}

注: 右下标表示施肥的有效质量, 单位为 g·盆⁻¹。

1.3 测量、分析方法

定植后 2 a, 收获全部观测株鲜叶, 在 70 °C 下烘干至恒质量后测定生物量干质量, 将相同处理的干叶粉碎后混合均匀, 取样分析 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn、B 和黄酮类化合物、绿原酸的含量。养分含量由农业部农产品质量监督检验测试中心 (昆明) 检测, 全 N 含量测定采用 GB/T 8856 方法, P、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 及 B 的含量采用 ICP-AES 法测定。黄酮类化合物和绿原酸的含量由云南珍稀濒危森林植物保护和繁殖重点实验室检测, 测定方法参见文献 [8]。

用不同处理下的元宝槭叶 10 种营养元素以及黄酮类化合物、绿原酸的含量建立分析数据库, 应用 SPSS 软件进行影响黄酮类化合物和绿原酸含量营

养因子的主成分分析。

2 结果与分析

2.1 施肥对绿原酸和黄酮类化合物的影响

2.1.1 对绿原酸、黄酮类化合物含量的影响 图 1 表明, 与 1 号处理 (对照) 相比, 除 4 号处理使元宝槭叶的黄酮类化合物含量略有降低外, 其余处理使其含量增加, 增幅在 3.3% ~ 49.3% 之间, 其中以 2、7、8、9 号处理效果明显, 增幅分别达 21.3%、49.3%、39.9% 和 28.3%, 且以 7 号处理的增效最显著。与对照相比, 2、3、4、5、6 号处理增加了元宝槭叶的绿原酸含量, 增幅在 5.4% ~ 23.9% 之间, 其中 6 号处理效果最明显, 增幅达 23.9%。7、8、9 号处理则降低

了绿原酸的含量, 降幅各为 23.1%、6.2% 和 10.1%, 以 7 号处理的抑制作用最显著。

施肥对元宝槭叶黄酮类化合物含量的影响大于对绿原酸含量的影响, 其变异系数分别为 14.30% 和 13.51%。叶内的绿原酸含量与黄酮类化合物含量呈拮抗关系, 使绿原酸含量明显降低的 7、8、9 号处理却显著地增加了黄酮类化合物的含量; 而明显增加绿原酸含量的 3、4、5、6 号处理对黄酮含量影响不大或呈负影响。

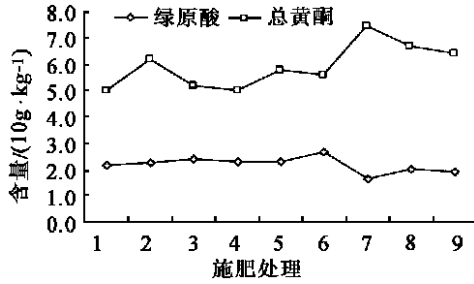


图 1 施肥对叶黄酮类化合物、绿原酸含量的影响

2.1.2 对绿原酸、黄酮类化合物积累量的影响 积累量是植株叶生物量干质量与叶内绿原酸、黄酮类化合物含量的积。

图 2 表明, 与对照相比, 施肥增加了元宝槭叶的黄酮类化合物积累量, 增幅在 29.3% ~ 142.5% 之间, 其中 2 号与 3 号处理的增幅显著, 增幅分别达 142.5% 和 97.1%。与对照相比, 2、3、4、5、6 号处理

增加了元宝槭叶的绿原酸积累量, 增幅在 28.5% ~ 111.8% 之间, 其中 2 号与 3 号处理的增加效果显著, 增幅分别达 107.6% 和 111.8%。与对照相比, 7、8、9 号处理对绿原酸积累量呈负影响, 降低了绿原酸的积累量, 降幅在 8.3% ~ 33.9%, 其中以 7 号的降幅最显著。所以, 2 号与 3 号处理是培育绿原酸和黄酮原料林的最佳施肥配方。

图 2 施肥对叶黄酮类化合物、绿原酸积累量的影响

施肥对元宝槭叶黄酮类化合物积累量的影响小于对绿原酸积累量的影响, 变异系数分别是 28.24% 和 39.17%。施肥处理下, 黄酮类化合物和绿原酸的积累量呈正相关关系。

2.2 施肥对叶营养元素的影响

2.2.1 对营养元素含量的影响 施肥对元宝槭叶内 Cu、Zn、P、Fe 含量的影响较大, 变异系数分别高达 80.14%、41.31%、36.63% 和 28.38%, 对其它元素含量影响相对较小, 变异系数均小于 25% (表 3)。

表 3 不同施肥处理下的叶营养元素含量

处理	营养元素含量/(g·kg ⁻¹)									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B
1	7.5	1.96	13.90	8.05	1.97	0.38	0.012 7	0.001 7	0.239 0	0.029 2
2	7.0	2.02	13.00	10.10	2.55	0.54	0.006 3	0.002 4	0.197 0	0.023 9
3	7.9	3.98	17.20	11.40	2.00	0.46	0.013 5	0.003 0	0.251 0	0.031 6
4	9.6	3.48	14.60	12.40	2.64	0.58	0.021 9	0.004 6	0.213 0	0.031 0
5	9.0	5.29	18.00	14.40	2.41	0.90	0.028 1	0.009 1	0.171 0	0.042 8
6	8.9	6.28	12.90	13.40	2.60	0.57	0.028 2	0.018 3	0.216 0	0.040 9
7	7.2	3.34	12.70	10.20	2.39	0.45	0.023 5	0.005 2	0.196 0	0.029 0
8	7.2	3.91	13.60	13.90	3.15	0.49	0.033 4	0.005 5	0.157 0	0.039 9
9	8.5	4.89	15.80	16.30	3.02	0.74	0.027 7	0.007 1	0.340 0	0.044 2
变异系数/%	11.64	36.63	13.30	20.89	15.78	28.38	41.31	80.14	24.51	20.97

与对照相比, 所有施肥处理都增加了叶内 P、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu 的含量。2、7、8 号处理下 N 含量略低于对照, 但其它处理明显提高 N 的含量。2、6、7、8 号处理小幅降低 K 含量, 其它处理明显地使之提高。除 3 号和 9 号处理外, 其余处理使 Mn 的含量减少, 减幅在 9.0% ~ 34.3% 之间。2 号、7 号处理下 B 的含量比

对照的稍低, 其它处理均提高其含量, 且以 5、6、8、9 号处理的效果明显, 增幅达 40.1% ~ 51.4%。

2.2.2 对养分积累量的影响 施肥对元宝槭叶内 Cu、P、Mn、Fe、Zn、K、N 积累量的影响较大, 变异系数分别高达 31.29% ~ 87.59%, 对其它元素含量影响相对较小, 变异系数低于 30% (表 4)。

表 4 不同施肥处理下的叶养分积累量

处理	养分积累量/(g 株 ⁻¹)									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B
1	0.336	0.088	0.622	0.360	0.088	0.017	0.001	0.000 1	0.011	0.001
2	0.617	0.178	1.146	0.890	0.225	0.048	0.001	0.000 2	0.017	0.002
3	0.674	0.340	1.468	0.973	0.171	0.039	0.001	0.000 3	0.021	0.003
4	0.607	0.220	0.923	0.784	0.167	0.037	0.001	0.000 3	0.013	0.002
5	0.480	0.282	0.961	0.769	0.129	0.048	0.001	0.000 5	0.009	0.002
6	0.555	0.392	0.805	0.836	0.162	0.036	0.002	0.001 1	0.013	0.003
7	0.279	0.129	0.492	0.395	0.093	0.017	0.001	0.000 2	0.008	0.001
8	0.135	0.171	0.595	0.608	0.138	0.021	0.001	0.000 2	0.007	0.002
9	0.388	0.223	0.721	0.744	0.138	0.034	0.001	0.000 3	0.016	0.002
变异系数/%	31.29	43.75	35.65	29.99	28.89	36.05	35.66	87.59	37.33	26.48

所有施肥处理对元宝槭叶的 P、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu 的积累量都比对照高。施肥处理下 N、K、Mn、B 积累量的变化与其对含量的变化情况基本一致。施肥对元宝槭叶养分积累量的影响与其对含量的影响相同,这与施肥对绿原酸、黄酮类化合物含量和积累的作用影响明显不相同。

2.3 养分含量对黄酮和绿原酸含量的影响

2.3.1 对绿原酸含量的影响 通过主成分分析获得的影响绿原酸含量的各主成分特征值及其贡献率如表 5,前 4 个主成分的特征因子负荷量如表 6。

第 1 主成分的贡献率为 65.961%,第 2 主成分的贡献率为 21.860%,两者对元宝槭叶内绿原酸含量的变异贡献最大;第 3 和第 4 主成分的贡献率分别为 7.432%和 3.608%,它们对绿原酸含量的变异影响一般;其它主成分的贡献率很小。前 4 个主成分的积累贡献率达 98.859%,已能反映叶内营养元素与黄酮类化合物对绿原酸含量的影响,故选前 4 个主成分进行分析。根据主成分中各指标因子负荷量的大小,将指标因子进行分类。第 1 主成分中负荷量较大的变量是 Cu、P。除作为构成大分子物质,核酸、蛋白质等重要化合物的组分外,P 的主要生理功能是参与碳水化合物代谢和 N 素代谢;Cu 的主要生理功能则是参与光合作用、N 素代谢和体内氧化还原反应。故第 1 主成分可认为是“光合与氮代谢促进”因子。第 2 主成分中负荷量较大的变量是 Mg。酶的活化作用是 Mg 最重要的生理功能,它能激活醋酸硫激酶、丙酮酸磷酸双激酶、烯醇酶、苹果酸合成酶等。因此,第 2 主成分可认为是“酶促反应促进”因子。K、黄酮类化合物分别是第 3 主成分和第 4 主成分中负荷量最大的指标可将分别称为“K

因子”和“黄酮因子”。

表 5 主成分特征值及贡献率

主成分	初始特征值		
	总数	变异率/%	累积/%
1	9.343	65.961	65.961
2	3.096	21.860	87.820
3	1.053	7.432	95.252
4	0.511	3.608	98.859
5	0.149	1.054	99.914
6	0.007	0.048	99.961
7	0.005	0.038	100.000
8	0.000	0.000	100.000
9	0.000	0.000	100.000
10	0.000	0.000	100.000
11	0.000	0.000	100.000

表 6 旋转矩阵中前 4 个主成分因子指标负荷量

项目	主成分			
	1	2	3	4
N	0.423	0.135	0.237	-0.480
P	0.905	0.232	0.293	0.009
K	0.042	-0.059	0.953	-0.200
Ca	0.499	0.698	0.408	0.080
Mg	0.156	0.941	-0.145	0.226
Fe	0.333	0.299	0.524	0.026
Zn	0.557	0.521	0.120	0.229
Cu	0.961	0.110	-0.159	-0.051
Mn	0.009	0.035	0.104	-0.076
B	0.652	0.459	0.369	-0.002
黄酮类化合物	0.021	0.261	-0.148	0.942

2.3.2 对黄酮类化合物含量的影响 通过主成分分析获得的影响黄酮类化合物含量的各主成分特征值及其贡献率如表 7,前 4 个主成分的特征因子负荷量如表 8。

表7 主成分特征值及贡献率

主成分	初始特征值		
	总数	变异率/ %	累积/ %
1	9.347	69.083	69.083
2	2.865	21.179	90.261
3	0.860	6.356	96.617
4	0.394	2.913	99.529
5	0.050	0.370	99.900
6	0.008	0.061	99.961
7	0.005	0.039	100.000
8	0.000	0.000	100.000
9	0.000	0.000	100.000
10	0.000	0.000	100.000
11	0.000	0.000	100.000

表8 旋转矩阵中前4个主成分因子指标负荷量

项目	主成分			
	1	2	3	4
N	0.332	0.085	0.235	0.297
P	0.892	0.204	0.225	0.199
K	0.070	-0.076	0.956	0.081
Ca	0.542	0.683	0.362	0.019
Mg	0.217	0.947	-0.169	-0.127
Fe	0.320	0.295	0.464	0.045
Zn	0.741	0.501	0.099	-0.278
Cu	0.877	0.083	-0.226	0.330
Mn	0.012	0.023	0.109	-0.054
B	0.754	0.429	0.352	0.009
绿原酸	0.169	-0.130	0.086	0.951

第1主成分的贡献率为69.083%，第2主成分的贡献率为21.179%，两者对元宝槭叶内绿原酸含量的变异贡献最大；第3和第4主成分的贡献率分别为6.356%和2.913%，它们对绿原酸含量的变异影响一般；其它主成分的贡献率很小。前4个主成分的累积贡献率达99.529%，已能反映叶内营养元素与黄酮类化合物对绿原酸含量的影响，故选前4个主成分进行分析。与对绿原酸影响的主成分分析相似，第1主成分可认为是“光合与氮代谢促进”因子；第2主成分为“酶促反应促进”因子；第3和第4主成分可认为是“K因子”和“绿原酸因子”。

3 讨论

“光合与氮代谢促进”和“酶促反应促进”因子对元宝槭黄酮类化合物和绿原酸含量变异的累积贡献率达87%以上，且以P、Cu、Mg的负荷量最大，P、Cu、Mg能提高两者的含量。Cu对元宝槭叶内绿原酸含量的促进作用与杜仲叶内绿原酸含量与Cu含量呈

线性关系的研究结果^[5]一致；Mg对元宝槭叶内绿原酸、黄酮类化合物含量的促进与Mg促进杜仲叶内绿原酸、黄酮类化合物含量的研究结果^[4]吻合，也与虎杖中Mg能促进白藜芦醇的结论^[7]相符。这些结果表明，可以通过调节叶内营养元素含量调控黄酮类化合物、绿原酸等次生代谢物质含量。事实上，本研究已通过施肥调节元宝槭叶内的P、Cu、Mg等营养元素的含量实现了绿原酸、黄酮类化合物的含量的改变。对黄酮类化合物含量影响的主成分分析中，P的负荷量大于Cu的负荷量，而在对绿原酸含量的主成分分析中则相反。可见，P对黄酮类化合物含量的影响大于Cu，而Cu对绿原酸含量的影响大于P。这种作用可能是导致元宝槭叶内黄酮类化合物含量与绿原酸含量出现拮抗关系的原因，也可能是决定两者含量高峰不在同一发育时间^[8]的原因。因此，可以考虑通过调节叶内P与Cu的含量对元宝槭叶内黄酮类化合物与绿原酸的含量进行调控，但还需要进一步深入研究P和Cu的含量及其比例与对黄酮类化合物与绿原酸的调节方向和强度的关系。

由于叶生物量变异是黄酮类化合物、绿原酸积累量变异的重要组分，所以元宝槭叶内黄酮类化合物与绿原酸的含量与其积累量并不呈正相关关系，存在黄酮类化合物、绿原酸高含量植株的积累量不高的现象。植物次生代谢物质的含量反映利用的价值和加工成本，积累量反映可供利用的资源量。在理论与生产上，应将两者有机结合起来才能全面概括资源特性。以黄酮类化合物和绿原酸为目标的优树或优良家系选择应以积累量为指标；营建次生物质原料林时，在苗木的选择方面应多加注意。

参考文献:

- [1] 王兰珍, 马希汉, 王妹清. 元宝枫研究进展[J]. 西北林学院学报, 1988, 13(1): 96~100
- [2] 王性炎. 中国元宝枫[M]. 成都: 四川民族出版社, 2003: 18~23
- [3] 苏建荣, 邓疆, 罗香, 等. 元宝槭幼树施肥研究 I. 不同施肥处理对生长与构型的影响[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 147~152
- [4] 张檀, 白明生, 刘丽, 等. 几种矿质元素对杜仲次生代谢物的影响初探[J]. 西北农林大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 119~122
- [5] 张康健, 王亚琴, 马希汉, 等. 杜仲叶次生代谢物生态学研究报告[J]. 林业科学, 1999, 35(6): 28~34
- [6] 孙视, 刘晚苟, 潘福生, 等. 生态条件对银杏叶黄酮积累的影响[J]. 植物资源与环境, 1998, 7(3): 1~7
- [7] 曹庸, 张敏, 于华忠, 等. 气象因子和矿质元素对虎杖根茎白藜芦醇含量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 143~147
- [8] 苏建荣, 罗香, 杨文云, 等. 元宝枫叶内黄酮、绿原酸含量动态变化研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(4): 496~499