

陕西关中地区常见树种落叶前 N、P、K 养分回流现象的研究

刘增文^{1a,2}, 陈 凯^{1b}, 米彩虹^{1a}, 李 茜^{1b}

(1 西北农林科技大学 a 资源环境学院, b 林学院, 陕西 杨凌 712100;

2 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究陕西关中地区一些常见树种落叶前的养分回流规律,为养分循环利用机制及树木施肥提供理论依据。【方法】选择 6 个坡地造林树种、5 个平地果园树种和 10 个园林绿化树种的生活叶和凋落叶,称其干质量,对其 N、P、K 养分含量进行大样本采样测定,计算树叶干质量减少率 R_w 和养分回流(顺流)率 R_n 。【结果】(1)具有高含 N(>10.0 g/kg)落叶的树种有刺槐、杜仲、桃树、核桃、樱桃、杏树、苹果、苦皮藤、香果树、鹅耳枥和栎木,具有高含 P(>1.0 g/kg)落叶的树种有泡桐、元宝枫、樱桃、核桃、桃树、香果树和苦皮藤,具有高含 K(>5.0 g/kg)落叶的树种有泡桐、杜仲、桃树、杏树、苹果和鹅耳枥。(2)在落叶前,所有选测树种的树叶干质量均发生了不同程度减少,其中,核桃和苦皮藤树叶干质量发生强度减少($R_w > 40\%$),香果树树叶干质量发生次强度减少($R_w = 30\% \sim 40\%$),泡桐、樱桃、苹果和丁香树叶干质量发生中度减少($R_w = 20\% \sim 30\%$)。 (3)在落叶前,所有树种的树叶均发生了 N、P 回流,其中,发生次强度 N 回流($R_n = 60\% \sim 80\%$)的树种有:油松、刺槐、侧柏、苹果、荷花玉兰、苦皮藤、女贞和香果树;发生次强度 P 回流($R_n = 60\% \sim 80\%$)的树种有:刺槐、油松、侧柏、杏树、苹果、苦皮藤、女贞和丁香。(4)在落叶前,大部分树种的树叶发生了 K 回流,其中,发生强度 K 回流($R_n > 80\%$)的树种有:刺槐、油松、侧柏、银杏和荷花玉兰;发生次强度 K 回流($R_n = 60\% \sim 80\%$)的树种有:女贞、苦皮藤和香果树;少部分树种却发生了 K 顺流($R_n < 0$),其中,发生次强度($AR_n = 60\% \sim 80\%$,指 R_n 的绝对值,下同)和中度($AR_n = 40\% \sim 60\%$)K 顺流的树种分别为丁香和核桃,发生弱度($AR_n = 20\% \sim 40\%$)和微弱($AR_n < 20\%$)K 顺流的树种分别为杏树和紫玉兰。【结论】不同树种的不同养分元素回流规律存在很大差异,在树体内 K 是一个较 N、P 更为活跃、流动性更大的养分元素。

【关键词】 陕西关中地区; 林木养分; 生物化学循环; 养分回流

【中图分类号】 S718.45

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)12-0098-07

Nutrient(N,P,K)back-flowing before leaves withering in many common tree species in Guanzhong area of Shaanxi

LIU Zeng-wen^{1a,2}, CHEN Kai^{1b}, MI Cai-hong^{1a}, LI Qian^{1b}

(1 a College of Resources and Environment, b College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Key Lab for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of

Agriculture Ministry of China, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 Study was done on nutrient back-flowing before leaves withering of many common tree species in Guanzhong area of Shaanxi to provide theoretic basis for revealing the principle of trees to self- conserve, biochemical recycle and reuse nutrients and directing fertilization. 【Method】 The dry weight and nutrient contents of tree leaves before or after its withering were determined with big samples for 6 tree species of slope forest, 5 tree species of orchard and 10 tree species of garden greening respective-

* [收稿日期] 2009-04-23

[基金项目] 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2009JM3014); 国家自然科学基金项目(30471376); 西北农林科技大学人才计划项目(2005)

[作者简介] 刘增文(1965—),男,陕西横山人,副教授,博士,主要从事森林生态研究。E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

ly. 【Result】 (1) The species with a high N content (>10.0 g/kg) in fallen leaves included *Robinia pseudoacacia*, *Cortex eucommiae*, *Prunus persica*, *Juglans regia*, *Prunus speciescherry*, *Prunus armeniaca*, *Malus pumila*, *Celastrus angulatus*, *Emmenopterys henryi*, *Carpinus fargesiana* and *Cornus macrophylla*. The trees with high P content (>1.0 g/kg) in fallen leaves included *Paulownia fortunei*, *Acer truncatum*, *Prunus speciescherry*, *Juglans regia*, *Prunus persica*, *Emmenopterys henryi* and *Celastrus angulatus*. The plants with high K content (>5.0 g/kg) in fallen leaves included *Paulownia fortunei*, *Cortex eucommiae*, *Prunus persica*, *Prunus armeniaca*, *Malus pumila* and *Carpinus fargesiana*. (2) During the process of leaves withering, the leaves dry weight of total tree species decreased with different extents, that is, for leaves dry weight *Juglans regia* and *Celastrus angulatus* decreased strongly ($R_w > 40\%$), *Emmenopterys henryi* was the next one ($R_w = 30\% - 40\%$), *Paulownia fortunei*, *Prunus speciescherry*, *Malus pumila* and *Eugenia caryophyllata* were the last ones ($R_w = 20\% - 30\%$). (3) Before leaves withering, N and P in leaves of all the tree species back-flowed. Among them, trees with 60%—80% of back-flowed N in leaves included *Pinus tabulaeformis*, *Robinia pseudoacacia*, *Platycladus orientalis*, *Malus pumila*, *Magnolia denudate*, *Celastrus angulatus*, *Ligustrum lucidum* and *Emmenopterys henryi*. The tree species with 60%—80% of back-flowed P in leaves included *Robinia pseudoacacia*, *Pinus tabulaeformis*, *Platycladus orientalis*, *Prunus armeniaca*, *Malus pumila*, *Celastrus angulatus*, *Ligustrum lucidum* and *Eugenia caryophyllata*. (4) K in leaves of most species back-flowed before leaf withering, in which, the tree species whose K in leaves back-flowed most strongly ($R_n > 80\%$) included *Robinia pseudoacacia*, *Pinus tabulaeformis*, *Platycladus orientalis*, *Ginkgo biloba* and *Magnolia denudate*. The tree species whose K in leaves back-flowed strongly ($R_n = 60\% - 80\%$) included *Ligustrum lucidum*, *Celastrus angulatus* and *Emmenopterys henryi*. In reverse, K in leaves of a few tree species down-flowed before its withering ($R_n < 0$), in which, the tree species whose K in leaves down-flowed strongly ($AR_n = 60\% - 80\%$, AR_n means absolute value of R_n , the same with following) and moderately ($AR_n = 40\% - 60\%$) were *Eugenia caryophyllata* and *Juglans regia*, respectively. The tree species whose K in leaves down-flowed slightly ($AR_n = 20\% - 40\%$) and less slightly ($AR_n < 20\%$) were *Prunus armeniaca* and *Magnolia liliiflora*, respectively. 【Conclusion】 There is great difference of nutrient back-following between different tree species. K is a more active and fluxional nutrient than N and P in trees. So, the effects of fertilizing vary with tree species and nutrients.

Key words: Guanzhong area of Shaanxi; trees nutrient; biochemical recycling; nutrient back-flowing

树木从土壤、大气、降雨中摄取的各种所需养分,在树木体内不同器官中积累和重新分配后参与各种生命代谢过程。其中,一部分养分随叶、花、果、枝条、树皮等器官的凋落,根系的枯死和雨水淋溶重新归还林地土壤,进入养分的生物地球化学循环(外循环)^[1];另一部分养分则随树木的生长发育,由衰老器官不断向幼嫩器官交换和转移,进入养分的生物化学循环(内循环)^[2],实现了养分的最大程度利用。特别是树叶凋落之前,部分养分由叶片转移到树木体内,既防止了养分的损失,同时也成为来年树木生长发育的必备养分储蓄。养分回流使树木实现了对养分的自我保持,这对土壤养分贫瘠地区的树木生长具有非常重要的生态学意义^[3]。国内外学者就林木养分内循环和落叶前的养分回流现象进行了一些研究,结果表明,在不同气候和土壤条件下,树

木养分回流规律存在较大差异^[4-11]。

陕西关中地区地处秦岭北麓、渭河阶地和台塬坡地,属暖温带半湿润森林气候区,褐土带,适宜多种树木生长,形成了坡地造林、平地果园和园林绿化等多种类型树木交错分布的“绿色长廊”。本试验研究了该地区一些常见树种在树叶凋落前后的养分回流规律,以期深入认识当地常见树木自我保持养分、实现养分循环利用的重要机制,为指导树木施肥提供有价值的理论指导。

1 材料与方法

1.1 样品采集

以陕西省杨凌区的渭北台塬坡面、台阶平地和西北农林科技大学树木园分别作为坡地造林、平地果园和园林绿化树种的采样地。其中,坡地造林树

种包括刺槐 *Robinia pseudoacacia* (18 年)、油松 *Pinus tabulaeformis* (20 年)、侧柏 *Platycladus orientalis* (22 年)、元宝枫 *Acer truncatum* (19 年)、杜仲 *Cortex eucommiae* (18 年) 和泡桐 *Paulownia fortunei* (22 年), 平地果园树种包括苹果 *Malus pumila* (20 年)、核桃 *Juglans regia* (23 年)、杏树 *Prunus armeniaca* (24 年)、桃树 *Prunus persica* (19 年) 和樱桃 *Prunus speciescherry* (16 年), 园林绿化树种包括银杏 *Ginkgo biloba* (22 年)、梧桐 *Firmiana simplex* (22 年)、栎木 *Cornus macrophylla* (22 年)、女贞 *Ligustrum lucidum* (22 年)、丁香 *Eugenia caryophyllata* (18 年)、苦皮藤 *Celastrus angulatus* (18 年)、香果树 *Emmenopterys henryi* (18 年)、紫玉兰 *Magnolia liliflora* (18 年)、鹅耳枥 *Carpinus fargesiana* (18 年) 和荷花玉兰 *Magnolia denudata* (18 年)。

针对 6 个坡地造林树种、5 个平地果园树种和 10 个园林绿化树种, 分别选定 3~5 株生长健壮、有代表性的林木作为采样木, 于树叶凋落前和凋落后采集完好的树木叶片。其中, 凋落前的生活叶于旺盛生长末期(2008 年 9 月中旬)树冠中部东南西北 4 个不同方位混合采集(油松、侧柏、女贞等常绿树种则采集当年生活叶); 凋落叶于落叶季节(2008 年 9 月下旬)在树下地面收集新近正常凋落叶片。所有生活叶和凋落叶用清水迅速漂洗干净, 在室内晾干叶面上的明水, 剪掉叶柄后测定其叶面积, 再统一烘干测其恒质量。

1.2 单位叶面积干质量的测定

用 SHY-150 型扫描式活体叶面积仪, 分别测量各个树种的生活叶和凋落叶叶面积, 对于不平整的叶片剪成小片后进行测量。同时, 将测量面积后的叶片装入自制纸袋, 放在 65 ℃烘箱中烘干至恒质量后, 以感量 0.001 g 的精密电子天平称其质量, 计算单位叶面积干质量。因为叶片测定数量会影响单位叶面积干质量计算结果的准确性, 所以以平均单位叶面积干质量不再随抽样叶片数量的增加发生变化时的抽样数量作为最少测定的叶片数量。实际测定中, 均以超过最少抽样数量 20% 的样片作为测定数量。具体抽样叶片数量分别为: 刺槐 150 片, 元宝枫 85 片, 杜仲 67 片, 泡桐 35 片, 油松 387.75 cm², 侧柏 873.42 cm² (油松和侧柏按照针叶及鳞状叶的垂直投影面积确定其抽样数量); 苹果 92 片, 核桃 63 片, 杏树 105 片, 桃树 97 片, 樱桃 75 片; 银杏 84 片, 女贞 95 片, 梧桐 38 片, 丁香 98 片, 紫玉兰 56 片, 荷

花玉兰 53 片, 栎木 79 片, 鹅耳枥 86 片, 苦皮藤 65 片, 香果树 72 片。

1.3 树叶养分含量的测定

将经过叶面积干质量测定的烘干树叶粉碎后, 过孔径 0.5 mm 筛装瓶, 取少量样品用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 分别以凯氏定 N 法、钼锑抗比色法和火焰光度法测定 N、P、K 的含量。所有指标均测定 3 次(误差不超过 5%), 并应用 Excel 2003 软件进行数据处理。

1.4 数据处理

前人的研究^[5]往往忽略了树木凋落叶和生活叶干质量的变化, 直接以落叶前后树叶中的养分含量(即相对含量)变化计算养分回流率, 导致养分回流率结果偏低。实际的养分回流率应该按照落叶前后单位叶面积中养分含量(即绝对含量)的变化来计算。

树叶干质量减少率 R_w :

$$R_w = (W_L - W_F) / W_L \times 100\% \quad (1)$$

式中: W_L 、 W_F 分别为生活叶和凋落叶的单位面积干质量(mg/cm²)。

树叶养分回流(顺流)率 R_n :

$$R_n = (W_L \cdot C_L - W_F \cdot C_F) / (W_L \cdot C_L) \times 100\% \quad (2)$$

式中: C_L 和 C_F 分别为生活叶和凋落叶中的养分相对含量(g/kg); $W_L \cdot C_L$ 和 $W_F \cdot C_F$ 分别为生活叶和凋落叶中的养分绝对含量(μ g/cm²)。当 $R_n > 0$ 时, 表示养分发生回流(即落叶前养分由树叶向树木体内流动); 当 $R_n < 0$ 时, 表示养分发生顺流(即落叶前养分由树木体内向树叶流动)。

1.5 凋落叶养分含量及干质量减少率、养分回流(顺流)率分级

按照凋落叶养分含量分布情况, 将其划分为高、中、低 3 个等级(表 1)。根据 R_w 和 AR_n (R_n 的绝对值)的分布情况, 将干质量减少率划分为强度减少、次强度减少、中度减少、弱度减少和微弱减少 5 个等级, 将养分回流(顺流)率划分为强度回流(顺流)、次强度回流(顺流)、中度回流(顺流)、弱度回流(顺流)和微弱回流(顺流)5 个等级(表 2)。

表 1 树木凋落叶养分含量分级

Table 1 Gradation of nutrient contents

		in litter leaves		
		g/kg		
养分含量分级		N	P	K
Grade of nutrient contents				
高 High		>10.0	>1.0	>5.0
中 Medium		5.0~10.0	0.5~1.0	2.5~5.0
低 Low		<5.0	<0.5	<2.5

表 2 树木落叶过程中干质量减少率和养分回流(顺流)率的分级

Table 2 Gradation of dry mass decreasing and nutrient back-following before leaves withering

干质量减少率分级 Gradation of dry mass decreasing	$R_w/\%$	养分回流(顺流)率分级 Gradation of nutrient back-following	$AR_n/\%$
强度减少 Strong	>40	强度回流(顺流) Strong	>80
次强度减少 Second strong	30~40	次强度回流(顺流) Second strong	60~80
中度减少 Medium	20~30	中度回流(顺流) Medium	40~60
弱度减少 Light	10~20	弱度回流(顺流) Light	20~40
微弱减少 Very light	<10	微弱回流(顺流) Very light	<20

2 结果与分析

2.1 坡地造林树种落叶前养分的回流

由图 1 可见,在 6 个坡地造林树种中,落叶前树叶干质量减少率大小顺序为,泡桐(26.29%)>侧柏

(10.12%)>杜仲(8.17%)>油松(5.73%)>元宝枫(2.92%)>刺槐(2.63%)。可见,在落叶过程中,泡桐树叶干质量发生中度减少,侧柏树叶干质量发生弱度减少,杜仲、油松、元宝枫、刺槐树叶干质量均发生微弱减少。

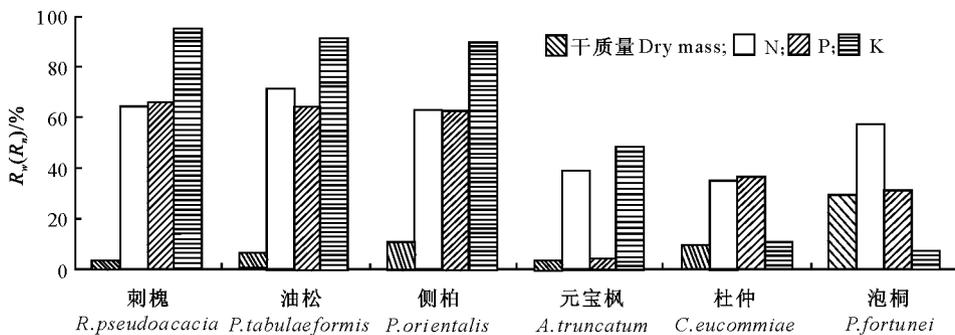


图 1 坡地造林树种落叶前树叶干质量的减少率和养分回流率

Fig. 1 Dry mass decreasing and nutrient back-following before leaves withering in slope afforestation

树木养分测定结果表明,各树种落叶中 N 含量大小顺序为:刺槐(12.799 g/kg)>杜仲(11.384 g/kg)>元宝枫(8.597 g/kg)>泡桐(6.235 g/kg)>油松(4.404 g/kg)>侧柏(4.102 g/kg),可见刺槐、杜仲具有高含 N 落叶,元宝枫、泡桐具有中等含 N 落叶,而油松、侧柏具有低含 N 落叶。落叶前 N 的回流率大小顺序为:油松(70.14%)>刺槐(64.06%)>侧柏(62.66%)>泡桐(56.99%)>元宝枫(38.95%)>杜仲(35.24%)(图 1)。可见,各个坡地造林树种在落叶前均发生弱度以上的 N 回流,其中,油松、刺槐、侧柏树叶发生次强度 N 回流,泡桐树叶发生中度 N 回流,而元宝枫、杜仲树叶发生弱度 N 回流。

树木养分测定结果表明,各树种落叶中 P 含量顺序为:泡桐(2.745 g/kg)>元宝枫(1.084 g/kg)>杜仲(0.885 g/kg)>刺槐(0.597 g/kg)>侧柏(0.567 g/kg)>油松(0.339 g/kg),可见泡桐、元宝枫具有高含 P 落叶,杜仲、刺槐、侧柏具有中等含 P 落叶,而油松具有低含 P 落叶。落叶前 P 的回流率大小顺序为:刺槐(65.80%)>油松(63.88%)>侧柏(61.91%)>杜仲(35.55%)>泡桐(31.04%)>元

宝枫(3.55%)(图 1)。可见,各个坡地造林树种在落叶前均发生不同程度的 P 回流,其中,刺槐、油松、侧柏树叶发生次强度 P 回流,杜仲、泡桐树叶发生弱度 P 回流,而元宝枫树叶发生微弱 P 回流。

树木养分测定结果表明,各树种落叶中的 K 含量大小顺序为:泡桐(7.929 g/kg)>杜仲(6.974 g/kg)>元宝枫(4.242 g/kg)>刺槐(2.367 g/kg)>侧柏(0.523 g/kg)>油松(0.195 g/kg),可见泡桐、杜仲具有高含 K 落叶,元宝枫具有中等含 K 落叶,刺槐、侧柏、油松具有低含 K 落叶。落叶前 K 的回流率大小顺序为:刺槐(94.47%)>油松(91.20%)>侧柏(88.85%)>元宝枫(47.81%)>杜仲(9.59%)>泡桐(6.76%)(图 1)。可见,各个造林树种在落叶前均发生不同程度的 K 回流,其中,刺槐、油松、侧柏树叶发生强度 K 回流,元宝枫树叶发生中度 K 回流,而杜仲、泡桐树叶发生微弱 K 回流。

2.2 平地果园树种落叶前养分的回流

在 5 个平地果园树种中,落叶前树叶干质量减少率大小顺序为:核桃(42.79%)>樱桃(26.53%)>苹果(23.14%)>桃树(9.27%)>杏树(5.28%)(图

2),可见,在落叶过程中,核桃树叶干质量发生强度减少,樱桃、苹果树叶干质量发生中度减少,而桃树、杏

树树叶干质量发生微弱减少。

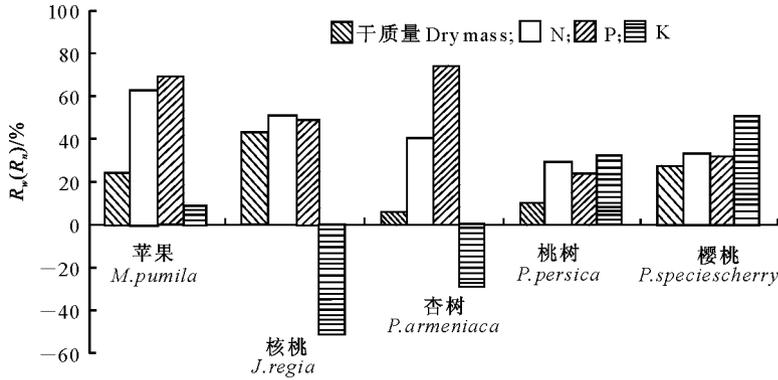


图 2 平地果园树种落叶前树叶干质量的减少率和养分回流率

Fig. 2 Dry mass decreasing and nutrient back-following before leaves withering of trees in orchard

树木养分测定结果表明,各树种落叶中的 N 含量大小顺序为:桃树(20.981 g/kg) > 核桃(19.902 g/kg) > 樱桃(16.058 g/kg) > 杏树(12.571 g/kg) > 苹果(12.102 g/kg),可见桃树、核桃、樱桃、杏树、苹果均具有高含 N 落叶。落叶前 N 的回流率大小顺序为:苹果(62.22%) > 核桃(50.68%) > 杏树(40.04%) > 樱桃(33.24%) > 桃树(18.51%) (图 2)。可见,各个平地果园树种在落叶前均发生了不同程度的 N 回流,其中,苹果树叶发生次强度 N 回流,核桃、杏树叶发生中度 N 回流,樱桃树叶发生弱度 N 回流,桃树叶发生微弱 N 回流。

树木养分测定结果表明,各树种落叶中 P 含量顺序为:樱桃(1.187 g/kg) > 核桃(1.075 g/kg) > 桃树(1.033 g/kg) > 苹果(0.546 g/kg) > 杏树(0.394 g/kg),可见樱桃、核桃、桃树具有高含 P 落叶,苹果具有中等含 P 落叶,而杏树具有低含 P 落叶。落叶前 P 的回流率大小顺序为:杏树(73.76%) > 苹果(67.99%) > 核桃(48.09%) > 樱桃(31.12%) > 桃树(22.61%) (图 2)。可见,各个平地果园树种在落叶前均发生了弱度以上的 P 回流,其中,杏树、苹果树叶发生次强度 P 回流,核桃树叶发生中度 P 回流,而樱桃和桃树叶发生弱度 P 回流。

树木养分测定结果表明,各树种落叶中的 K 含量大小顺序为:桃树(9.942 g/kg) > 杏树(7.119 g/kg) > 苹果(5.505 g/kg) > 核桃(4.123 g/kg) > 樱桃(1.916 g/kg),可见桃树、杏树和苹果具有高含 K 落叶,核桃具有中等含 K 落叶,而樱桃具有低含 K 落叶。落叶前 K 的回流率大小顺序为:樱桃(50.14%) > 桃树(31.47%) > 苹果(8.22%) > 杏树(-29.37%) > 核桃(-51.69%) (图 2)。可见,樱

桃树叶发生中度 K 回流,桃树叶发生弱度 K 回流,苹果树叶发生微弱 K 回流,而杏树、核桃树叶分别发生弱度和中度 K 顺流。

2.3 园林绿化树种落叶前养分的回流

在 10 个园林绿化树种中,落叶前干质量减少率大小顺序为:苦皮藤(49.68%) > 香果树(30.89%) > 丁香(22.29%) > 梧桐(10.82%) > 鹅耳枥(9.92%) > 银杏(7.52%) > 荷花玉兰(6.01%) > 紫玉兰(3.61%) > 女贞(3.51%) > 榉木(1.14%) (图 3)。可见,在落叶过程中,苦皮藤、香果树树叶干质量分别发生了强度和次强度减少,丁香、梧桐树叶干质量分别发生了中度和弱度减少,而鹅耳枥、银杏、荷花玉兰、紫玉兰、女贞、榉木树叶干质量均发生了微弱减少。

树木养分测定结果表明,各树种落叶中的 N 含量大小顺序为:苦皮藤(14.245 g/kg) > 香果树(13.298 g/kg) > 鹅耳枥(12.701 g/kg) > 榉木(10.163 g/kg) > 丁香(8.835 g/kg) > 紫玉兰(8.792 g/kg) > 梧桐(8.327 g/kg) > 银杏(6.004 g/kg) > 女贞(5.007 g/kg) > 荷花玉兰(4.519 g/kg)。可见,苦皮藤、香果树、鹅耳枥、榉木均具有高含 N 落叶,丁香、紫玉兰、梧桐、银杏、女贞均具有中等含 N 落叶,而荷花玉兰具有低含 N 落叶。落叶过程中 N 的回流率大小顺序为:荷花玉兰(67.47%) > 苦皮藤(66.65%) > 女贞(64.80%) > 香果树(62.69%) > 丁香(58.62%) > 银杏(56.42%) > 梧桐(55.35%) > 榉木(39.04%) > 紫玉兰(30.61%) > 鹅耳枥(18.99%) (图 3)。可见,各个园林绿化树种在落叶前均发生了不同程度的 N 回流,其中,荷花玉兰、苦皮藤、女贞、香果树树叶发生次强度 N 回流,丁香、银杏、梧桐树叶发生中度 N

回流, 栎木、紫玉兰树叶发生弱度 N 回流, 而鹅耳枥 树叶发生微弱 N 回流。

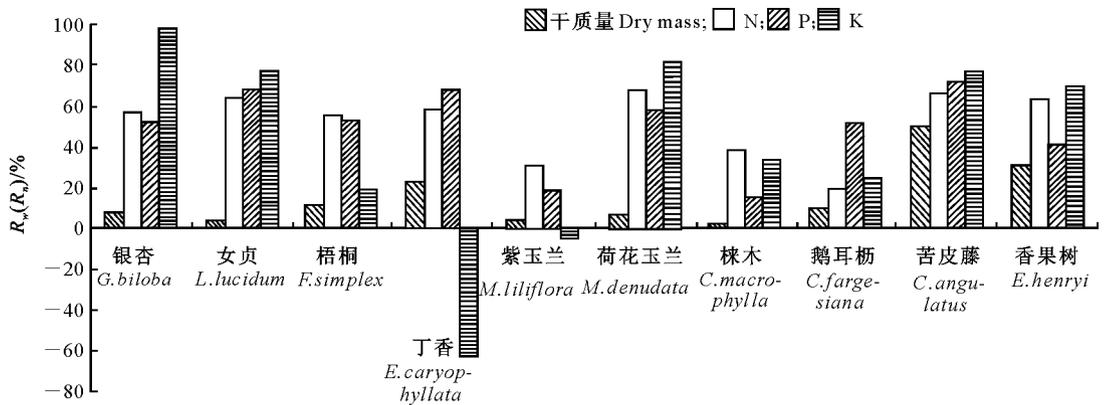


图 3 园林绿化树种落叶前树叶干质量的减少率和养分回流率

Fig. 3 Dry mass decreasing and nutrient back-following before leaves withering in garden greening

树木养分测定结果表明, 各树种落叶中的 P 含量大小顺序为: 香果树 (1.841 g/kg) > 苦皮藤 (1.198 g/kg) > 紫玉兰 (0.92 g/kg) > 栎木 (0.829 g/kg) > 银杏 (0.794 g/kg) > 梧桐 (0.599 g/kg) > 鹅耳枥 (0.465 g/kg) > 丁香 (0.412 g/kg) > 女贞 (0.398 g/kg) > 荷花玉兰 (0.392 g/kg), 可见, 香果树、苦皮藤具有高含 P 落叶, 紫玉兰、栎木、银杏、梧桐具有中等含 P 落叶, 而鹅耳枥、丁香、女贞、荷花玉兰均具有低含 P 落叶。落叶过程中 P 的回流率大小顺序为: 苦皮藤 (71.44%) > 女贞 (67.59%) > 丁香 (67.53%) > 荷花玉兰 (58.6%) > 梧桐 (52.56%) > 银杏 (52.14%) > 鹅耳枥 (51.8%) > 香果树 (40.46%) > 紫玉兰 (18.04%) > 栎木 (14.28%) (图 3)。可见, 各个园林绿化树种在落叶前均发生了不同程度的 P 回流, 其中, 苦皮藤、女贞、丁香树叶发生次强度 P 回流, 荷花玉兰、梧桐、银杏、鹅耳枥、香果树树叶发生中度 P 回流, 而紫玉兰、栎木树叶发生微弱 P 回流。

树木养分测定结果表明, 各树种落叶中的 K 含量大小顺序为: 鹅耳枥 (5.212 g/kg) > 梧桐 (4.602 g/kg) > 紫玉兰 (4.577 g/kg) > 丁香 (3.661 g/kg) > 苦皮藤 (2.854 g/kg) > 香果树 (2.223 g/kg) > 女贞 (1.351 g/kg) > 栎木 (1.148 g/kg) > 荷花玉兰 (0.443 g/kg) > 银杏 (0.206 g/kg), 可见, 鹅耳枥具有高含 K 落叶, 梧桐、紫玉兰、丁香、苦皮藤具有中等含 K 落叶, 而香果树、女贞、栎木、荷花玉兰、银杏具有低含 K 落叶。落叶前 K 的回流率大小顺序为: 银杏 (97.76%) > 荷花玉兰 (81.37%) > 女贞 (76.26%) > 苦皮藤 (75.98%) > 香果树 (69.20%) > 栎木 (33.00%) > 鹅耳枥 (24.29%) > 梧桐 (18.41%) > 紫玉兰 (-4.13%) > 丁香

(-63.00%) (图 3)。可见, 银杏、荷花玉兰树叶发生了强度 K 回流, 女贞、苦皮藤、香果树树叶发生了次强度 K 回流, 栎木、鹅耳枥树叶发生了弱度 K 回流, 梧桐树叶发生了微弱 K 回流, 而紫玉兰、丁香树叶分别发生了微弱和次强度 K 回流。

3 结 论

1) 在所研究的树种中, 刺槐、杜仲、桃树、核桃、樱桃、杏树、苹果、苦皮藤、香果树、鹅耳枥、栎木具有高含 N 落叶, 泡桐、元宝枫、樱桃、核桃、桃树、香果树、苦皮藤具有高含 P 落叶, 泡桐、杜仲、桃树、杏树、苹果、鹅耳枥具有高含 K 落叶。

2) 在落叶前, 核桃、苦皮藤树叶干质量发生强度减少, 香果树树叶干质量发生次强度减少, 泡桐、樱桃、苹果、丁香树叶干质量发生中度减少, 侧柏、梧桐树叶干质量发生弱度减少, 刺槐、杜仲、油松、元宝枫、桃树、杏树、鹅耳枥、银杏、荷花玉兰、紫玉兰、女贞、栎木树叶干质量均发生微弱减少。

3) 在落叶前, 所有树种的树叶均发生了次强度以下的 N、P 回流。其中, 发生次强度 N 回流的树种有油松、刺槐、侧柏、苹果、荷花玉兰、苦皮藤、女贞、香果树, 发生中度 N 回流的树种有泡桐、核桃、杏树、丁香、银杏、梧桐。发生次强度 P 回流的树种有刺槐、油松、侧柏、杏树、苹果、苦皮藤、女贞、丁香, 发生中度 P 回流的树种有核桃、荷花玉兰、梧桐、银杏、鹅耳枥、香果树。

4) 在落叶前, 大部分树种的树叶发生了 K 回流。其中, 发生强度 K 回流的树种有刺槐、油松、侧柏、银杏、荷花玉兰, 发生次强度 K 回流的树种有女贞、苦皮藤、香果树; 发生中度 K 回流的树种有元宝枫、樱桃。少部分树种却发生了 K 顺流, 其中, 发生

次强度和中等 K 顺流的树种分别为丁香和核桃,发生弱度和微弱 K 顺流的树种分别为杏树和紫玉兰。

4 讨 论

养分回流使得树木在养分有效性较低的季节(如寒冷干旱的春季)^[3]能够维持正常的生长,延续肥效,这意味着对养分回流机制发育完善的林木进行叶面施肥效果可能更好。同时施肥效果还与叶片的吸收能力有关。

根据本研究结果,在落叶后,核桃、苦皮藤、香果树、泡桐、樱桃、苹果和丁香树叶干质量发生中度以上减少($R_w > 20\%$)。这一研究结果较一般树种的测定结果高出很多。分析原因,除了这些树种树叶本身的各种无机和有机物质发生较强烈地回流之外,可能也与落叶过程中生理解剖结构的变化使其更易受到雨水的强烈淋洗有关,具体原理尚有待进一步研究。此外,所有树种在落叶前均发生了不同程度的 N 和 P 的回流;大多数树种发生了 K 的回流,而少数树种发生了 K 的顺流,且部分树种 K 的回流率超过了所有 N、P 的回流率。这说明 K 是一个较 N、P 更为活跃、流动性更大的养分元素,当树木体内完成了生理代谢活动且有所富余时,便在落叶前由树木其他器官向树叶转移,并随树叶凋落而离开树体,从而发生顺流现象。这与前人的研究结论基本一致^[2,8]。

一般认为,影响养分回流的因素至少包括树木的常绿性、树龄、土壤养分和水分等^[9]。常绿树种由于其树叶寿命较长,养分在树体内滞留时间较长,所以其循环利用率一般较落叶树种高,本研究结果也证实了这一点,如油松、侧柏和女贞等常绿树种落叶前的 N、P、K 养分回流率相对较高。关于树龄问题,本研究尽量选择了树龄相近的树木进行研究,因此所得结果具有一定的可比性。但不同树龄对养分回流的影响,还有待于进一步深入探讨。土壤养分和水分状况会同时对树叶中的养分含量和落叶前的养分回流总量产生一定影响,但对养分回流率的影响不会太大(养分回流率是回流总量占叶中养分含量的比率),因为其主要取决于不同树种自身的生物学特性。所以,尽管在本研究中平地果园存在一定的施肥和灌水问题,但并未对不同树种养分回流率的比较和评价产生太大的影响。

[参考文献]

- [1] Juan A, Blanco J, Bosco J. Nutrient return via litterfall in two contrasting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities [J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(11): 1840-1852.
- [2] 王文卿, 林 鹏. 树木叶片衰老过程中养分元素内吸收研究 [J]. *武汉植物学研究*, 1999, 17(增刊): 117-122.
Wang W Q, Lin P. Studies on the nutrient retranslocation efficiencies during leaf senescence [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1999, 17(Suppl): 117-122. (in Chinese)
- [3] 李志安, 王伯荪, 林永标, 等. 植物营养转移研究进展 [J]. *武汉植物学研究*, 2000, 18(3): 229-236.
Li Z A, Wang B S, Lin Y B, et al. A review of study on nutrient resorption of plant [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2000, 18(3): 229-236. (in Chinese)
- [4] Chapin III F S, Moilanen L. Nutritional controls over nitrogen and phosphorus resorption from Alaskan birch leaves [J]. *Ecology*, 1991, 72(2): 709-715.
- [5] Pugnaire F I, Chapin F S. Controls over nutrient resorption from leaves of evergreen Mediterranean species [J]. *Ecology*, 1993, 74(1): 124-129.
- [6] Schlesinger W H, Delucia E H, Billings W D. Nutrient-use efficiency of woody plants on contrasting soils in the western great basin Nevada [J]. *Ecology*, 1989, 70(1): 105-113.
- [7] Killingbeck K T. Nutrient in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency [J]. *Ecology*, 1996, 77(4): 1716-1727.
- [8] 徐福余, 王力华, 李培芝, 等. 若干北方落叶树木叶片养分的内外迁移. I: 浓度和含量的变化 [J]. *应用生态学报*, 1997, 8(1): 1-6.
Xu F Y, Wang L H, Li P Z, et al. Internal and external nutrient transfers in foliage of some north deciduous trees. I: Changes of nutrient concentrations and contents [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(1): 1-6. (in Chinese)
- [9] 薛 立, 罗 山. 常绿和落叶阔叶树叶中 N 和 P 的变化及转移 [J]. *林业科学研究*, 2003, 16(2): 166-170.
Xue L, Luo S. Changes in nitrogen and phosphorus and their retranslocation in leaves of evergreen and deciduous broad leaved trees [J]. *Forest Research*, 2003, 16(2): 166-170. (in Chinese)
- [10] 薛 立, 罗 山, 谭天泳. 日本中部 10 种树木叶片中氮和磷的季节变化及其转移 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14(6): 875-878.
Xue L, Luo S, Tan T Y. Seasonal changes of nitrogen and phosphorus and their translocation from leaves of ten tree species in central Japan [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(6): 875-878. (in Chinese)
- [11] 李荣华, 汪思龙, 王 清. 不同林龄马尾松针叶凋落前后养分含量及回收特征 [J]. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1443-1447.
Li R H, Wang S L, Wang Q. Nutrient contents and resorption characteristics in needles of different age *Pinus massoniana* (Lamb.) before and after withering [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1443-1447. (in Chinese)