

DOI: 10.5846/stxb201403200495

曾艳, 伊晓云, 李延升, 马立锋, 阮建云, 唐茜. 氮肥对夏秋季茶树吸收根生物量和养分储量的影响. 生态学报, 2016, 36(2): - .  
Zeng Y, Yi X Y, Li Y S, Ma L F, Ruan J Y, Tang Q. The effect of nitrogen fertilization on biomass and nutrient storage in the fibrous roots of tea plants (*Camellia sinensis*) during summer and autumn. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(2): - .

## 氮肥对夏秋季茶树吸收根生物量和养分储量的影响

曾 艳<sup>1,2</sup>, 伊晓云<sup>2</sup>, 李延升<sup>1,2,3</sup>, 马立锋<sup>2</sup>, 阮建云<sup>2</sup>, 唐 茜<sup>1,\*</sup>

1 四川农业大学 园艺学院, 雅安 625014

2 中国农业科学院茶叶研究所 农业部茶树生物学与资源利用重点实验室, 杭州 310008

3 江西省蚕桑茶叶研究所, 南昌 330000

**摘要:**以 12 年生龙井 43 茶树为研究对象, 在 7 月至翌年 1 月利用土钻法对连续 5 年施用不同氮肥处理后的茶树吸收根生物量和养分含量进行了研究。结果表明茶树吸收根生物量在 0.34—0.72 mg/dm<sup>3</sup> 之间, 碳、氮、磷、钾和镁储量变异范围分别为 12.6—25.2 mg/dm<sup>3</sup>、4.55—11.2 mg/dm<sup>3</sup>、0.47—1.19 mg/dm<sup>3</sup>、1.31—4.05 mg/dm<sup>3</sup>、0.30—1.19 mg/dm<sup>3</sup>。茶树吸收根生物量和各养分含量随月份变化呈现双峰型, 峰值分别在 8 月和翌年 1 月, 而 7 月和 11 月生物量和养分储量均较低。与不施肥对照相比, 施用氮肥影响茶树吸收根生物量, 氮肥施用对茶树吸收根生物量的影响因氮肥施用时间而异。不同氮肥施用水平下茶树吸收根总碳浓度和总碳含量均不存在显著差异。受氮肥施用时间影响, 施氮对茶树吸收根氮浓度的影响不同月份间存在差异, 其中 7 月、8 月和 1 月施氮处理下氮浓度较高, 而 9 月、10 月和 11 月不施氮处理下氮浓度较高。氮肥施用对各月份茶树吸收根氮养分储量均没有显著影响。氮肥施用降低了部分月份茶树吸收根磷、钾和镁的浓度和储量。施用中等用量的氮肥能缩小茶树吸收根夏秋季氮磷钾镁养分储量的月份间差异。

**关键词:**氮肥施用水平; 吸收根生物量; 吸收根养分储量; 吸收根养分浓度

## The effect of nitrogen fertilization on biomass and nutrient storage in the fibrous roots of tea plants (*Camellia sinensis*) during summer and autumn

ZengYan<sup>1,2</sup>, YiXiaoyun<sup>2</sup>, LiYansheng<sup>1,2,3</sup>, MaLifeng<sup>2</sup>, RuanJianyun<sup>2</sup>, TangQian<sup>1,\*</sup>

1 College of Horticulture, Sichuan Agriculture University, Ya'an 625014, China

2 Tea Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Science, Key Laboratory of Tea Biology and Resources Utilization, Ministry of Agricultural, Hangzhou 310008, China

3 Jiangxi Sericulture and Tea Research Institute, Nanchang 330000, China

**Abstract:** China first country to produce tea, and its artificial cultivation can traced back to 1000 BC. Tea (*Camellia sinensis*), one of the main economic crops in China, can be grown in the tropical and subtropical provinces. The fibrous roots are the most active parts of the root system and play important roles in absorbing water and nutrients. Although many factors (e.g., climatic and topographic conditions, soil properties) significantly influence the growth, turnover and the storage of nutrients in the fibrous roots, very few studies have investigated the effects of nitrogen fertilization. In this study, the dynamic changes to biomass and nutrient storage in the fibrous roots of tea plants were investigated in an experimental plantation that previously received different rates of nitrogen fertilizer [0, 285 and 712 kg/(hm<sup>2</sup> yr)] for 5 consecutive years to elucidate the effect of N fertilization on growth. The fibrous root samples were collected in the summer and autumn seasons, namely from July 2011 to January 2012, using a soil core. The biomass production of the fibrous roots varied from

基金项目: 国家自然科学基金(41101286); 国家茶叶产业技术体系资助(CAR-23)

收稿日期: 2014-03-20; 网络出版日期: 2015- -

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tangqi2008@126.com

0.34 g/dm<sup>3</sup> to 0.72 g/dm<sup>3</sup> and the carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and magnesium (Mg) storage values were 12.6—25.2 mg/dm<sup>3</sup>, 4.55—11.2 mg/dm<sup>3</sup>, 0.47—1.19 mg/dm<sup>3</sup>, 1.31—4.05 mg/dm<sup>3</sup>, and 0.30—1.19 mg/dm<sup>3</sup>, respectively. Biomass and nutrient storage in the fibrous roots showed bimodal monthly variations, being the highest in August, 2011 and January, 2012, but relatively low in July and November 2011. Fibrous root growth was initially promoted by N fertilization, but was inhibited during later stages, which might be explained by an alternative above-ground growth strategy. Nitrogen fertilization significantly affected the biomass production of fibrous roots, but its effects varied depending on the month. Biomass production showed an increasing trend in the treatment without N application in July, August, and October. However, in September the biomass production was relatively higher in the treatment receiving medium N, and rose with increasing N applications in December. The N application rates did not significantly affect the total C concentration and contents in fibrous roots. The N concentrations in the fibrous roots were considerably higher in July, August, and January but lower in September, October, and November. The C/N ratio was significantly affected by the level of nitrogen fertilizer. The root C:N ratio was higher in the treatment without N fertilizer than in the other treatments in July, and in the treatments with N fertilizers in September, October, and November. However, it was lowest in the treatments with high N fertilizer applications in December and January. Surprisingly, N storage in the fibrous roots was unaffected by N fertilization rates. Nitrogen fertilization led to decreasing concentrations and storage of P, K, and Mg in fibrous roots, but the decreasing tendency was alleviated by a moderate application of N. In conclusion, N fertilization has significant, but temporally variable effects, on the biomass and nutrient storage in the fibrous roots of *C. sinensis*.

**Key Words:** nitrogen fertilizer application rate; biomass; nutrient storage; nutrient concentration

茶树属山茶科山茶属,为多年生常绿木本植物,是我国人工栽培的主要经济作物之一。茶树适宜在我国多个省市种植,近几年种植面积逐年增加,到2012年,全国茶叶种植面积达到23.53万公顷,总产值达939.6亿元<sup>[1]</sup>。茶树吸收根是着生在主根和侧根上的细根<sup>[2]</sup>(直径D<2 mm),细根被称为植物根系最活跃的组成部分,承担着吸收绝大部分水分和养分任务<sup>[3]</sup>,研究氮肥对细根生长的影响具有重要的意义。目前,细根的测定方法主要有收获法、土钻法、生长袋法和微根管法等,其中土钻法因操作简便,且测定结果较为准确而被广泛应用<sup>[4-5]</sup>。茶树生长发育有“根—梢”交替生长的现象,研究结果表明春季和初夏是茶叶主要采摘收获期,茶树地上部分生长旺盛而根系生长活动微弱<sup>[6]</sup>,春季后茶树根系生长进入活跃期,土壤环境因子对其影响也加大。茶树以鲜叶为收获对象,对氮肥的需求量较大,大量研究表明氮肥对茶叶有明显增产效果<sup>[7-9]</sup>。目前,氮肥对茶树生物学影响方面报道较多,但多局限于茶树地上品质及产量的研究<sup>[10-13]</sup>,而氮肥施用对茶树根系生长和养分吸收的研究很少,尤其是田间条件下。本试验设置三个不同氮肥施用水平,采用土钻法获取茶树吸收根,探讨夏秋季茶树吸收根生长和养分吸收的季节特性以及施氮量对茶树吸收根生物量、养分浓度和含量的影响,为茶树吸收根的研究提供借鉴和理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于中国农业科学院茶叶研究所试验场(杭州)进行,茶树品种为龙井43。茶树于2000年种植,现处于经济高产期。

### 1.2 试验设计及布置

不同氮肥用量处理于2005年10月布置,设置了不施氮(0 kg/hm<sup>2</sup> N)、中等氮肥用量(285 kg/hm<sup>2</sup> N)和大量氮肥用量(712 kg/hm<sup>2</sup> N)三个处理。氮肥施用每年均采用1基3追方式,分别为秋茶结束后施用的基肥(每年均在10月中旬左右施用,占全年纯氮的30%)、春茶催芽肥(2月中旬左右施用,占全年施用量的30%)、夏茶追肥(5月中旬左右施用,占全年施用量的20%)、秋茶追肥(8月初施用,占全年施用量的20%)。

其它肥料根据土壤丰缺状况施用,其中磷肥用量为每年施用  $158 \text{ kg/hm}^2 \text{ P}_2\text{O}_5$ 、钾肥为每年施用  $158 \text{ kg/hm}^2 \text{ K}_2\text{O}$ 、镁肥每年施用  $20 \text{ kg/hm}^2 \text{ MgO}$ ,均在基肥时施用。每个氮肥施用水平设置 4 个小区作为 4 次重复。小区设置 2 行茶树,每行长度为 10 m,茶行间距 1.5 m。供试茶园土壤在吸收根取样期间土壤各养分含量均值如下:无机氮含量( $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ )为  $(7.27 \pm 2.18) \text{ mg/kg}$ ,土壤有效磷含量( $\text{M}_3\text{-P}$ )为  $(22.9 \pm 2.81) \text{ mg/kg}$ ,土壤速效钾含量( $\text{M}_3\text{-K}$ )为  $(131 \pm 21.66) \text{ mg/kg}$ ,土壤有效镁含量( $\text{M}_3\text{-Mg}$ )为  $(52.4 \pm 11.79) \text{ mg/kg}$ 。

### 1.3 吸收根的采集和处理

吸收根采集利用土钻法,分别在 2011 年 7 月—12 月及翌年 1 月月初(每月 4 日—6 日 3 d 内取样)用土钻(直径  $D=4.5 \text{ cm}$ )采集带吸收根的土壤。取样时每个小区选取 4 个取样位置进行取样,每个取样位置依据水平位置(分别为距离根基部 10 cm、30 cm、50 cm 处)和深度(0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm)用土钻取带根土壤 9 份,将每个小区内的 36 份带根土样混合,作为该小区的样品。取回的带根土及时进行人工挑拣以分选出吸收根(直径  $D < 2 \text{ mm}$ )。吸收根经纯水洗净后,烘干称重,待测。各小区内取样如图 1 所示。

### 1.4 吸收根生物量、养分含量和储量的测定

吸收根的生物量( $B$ )按照单位体积土壤中吸收根的总干重进行计算。

吸收根经植物粉碎机粉碎后,测定养分含量,其中总氮和总碳浓度采用元素分析仪测定(VarioMax CN, Elementar);吸收根磷、钾、镁浓度采用干灰化经盐酸溶解后用 ICP 测定(ICP-6300, Thermo Fisher)。采用公式(1)计算相应养分的储量。

$$X = B * W_x \quad (1)$$

式中, $X$  为养分的储量( $\text{mg/dm}^3$ ), $W_x$  为该养分的浓度( $\text{g/kg}$ )。

### 1.5 数据处理和统计分析

试验数据采用 Excel2007 整理,统计分析采用 SPSS16.0 软件 S-N-K 法进行方差分析和多重比较,作图采用 Sigmaplot12.5 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮肥施用水平对田间茶树吸收根生物量的影响

田间 12 年生龙井 43 茶树吸收根生物量在  $0.34\text{—}0.72 \text{ g/dm}^3$  之间,不同氮肥施用水平下 7 月至翌年 1 月不同月份田间茶树吸收根生物量如表 1 所示。茶树吸收根生长随月份间变化表现为双峰型,峰值出现在 8 月和翌年 1 月,而 7 月和 11 月较低。统计结果表明氮肥施用对田间茶树吸收根生物量在 7 月至翌年 1 月 7 个月均未产生显著影响,但表现出一定的趋势。在 7 月、8 月和 10 月,不施肥处理下吸收根生物量出现较施肥处理高的趋势,在 9 月份则是中等施肥水平的吸收根生物量均值较高,11 月和 1 月中等施肥水平的较低,12 月出现随着施肥水平增加吸收根生物量增加的趋势。

### 2.2 不同氮肥施用水平对田间茶树吸收根养分浓度的影响

茶树吸收根主要营养元素浓度受氮肥施用水平和采样月份影响如表 2 所示,结果表明吸收根总碳、氮及其比例不受氮肥施用水平影响,但月份对其影响较大,达到极显著水平,氮肥水平和月份交互作用影响吸收根氮浓度。吸收根磷、钾和镁养分含量不仅受施肥水平的影响,也因月份而异,同时受两者交互作用影响。

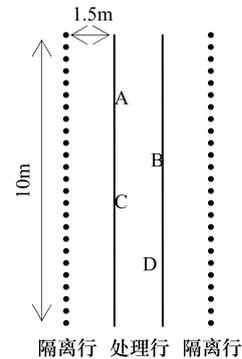


图 1 小区内吸收根取样示意图

Fig. 1 Sampling sketch of the fibrous roots in the plot

ABCD 为每个小区的 4 个取样位置,取样时分别在 4 个取样位置按不同行间位置(距离茶树根基部 10 cm、30 cm、50 cm)和不同深度(0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm)取 9 个带根土样。

表 1 不同氮肥施用水平下不同月份田间茶树吸收根生物量(干重, g/dm<sup>3</sup>)

Table 1 Biomass of fibrous roots sampled during July to January of tea plants supplied with different N application rates

采样月份 Sampling month	氮肥水平 N application rate		
	0 kg/hm <sup>2</sup> N	285 kg/hm <sup>2</sup> N	712 kg/hm <sup>2</sup> N
7 月 Jul.	0.46±0.04 bc (a)	0.40±0.06bc (a)	0.41±0.05b (a)
8 月 Aug.	0.72±0.05 a (a)	0.59±0.05a (a)	0.67±0.08a (a)
9 月 Sep.	0.46±0.05 bc (a)	0.57±0.06 a (a)	0.52±0.06ab (a)
10 月 Oct.	0.56±0.06 b (a)	0.48±0.06 abc (a)	0.5±0.05ab (a)
11 月 Nov.	0.40±0.04 c (a)	0.34±0.03 c (a)	0.40±0.04b (a)
12 月 Dec.	0.51±0.04 bc (a)	0.60±0.06 a (a)	0.64±0.06 a (a)
翌年 1 月 Jan.	0.61±0.06 ab (a)	0.55±0.05 ab (a)	0.66±0.08 a (a)

表中数据指 means±SE, 不同字母指同一氮肥水平下不同月份间差异显著 ( $P < 0.05$ ), ( ) 内相同字母指同一采样月份不同氮肥水平间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 2 茶树吸收根养分浓度双因素方差分析结果 ( $P$  值)Table 2 ANOVA results ( $P$ -value) of nutrient concentrations in fibrous roots of tea plants supplied varied N rates

处理 Treatment	df	碳浓度 C conc.	氮浓度 N conc.	C/N	磷浓度 P conc.	钾浓度 K conc.	镁浓度 Mg conc.
氮肥水平 N application rate	2	0.460	0.078	0.182	<0.001	<0.001	<0.001
采样月份 Sampling month	6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
氮肥水平 * 采样月份 N application rate * Sampling month	12	0.157	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	<0.001

进一步分析氮肥水平和月份对养分浓度的影响, 结果如图 2 所示:

7—11 月和 1 月茶树吸收根碳浓度在不同氮肥处理间均无显著差异, 仅在 12 月份出现差异, 表现为  $0 \text{ kg/hm}^2 > 285 \text{ kg/hm}^2 > 712 \text{ kg/hm}^2$ 。碳浓度在 7 月至翌年 1 月的变化表现为先降低后增加的趋势, 其中 7 月和 1 月较高, 其余月份较低。

茶树吸收根氮浓度受氮肥施用和月份间交互作用影响, 氮肥用量对吸收根氮浓度的影响因不同月份而异, 本试验中 7 月、8 月和 1 月施肥处理下氮浓度较高, 而 9 月、10 月和 11 月不施肥处理下氮浓度较高, 12 月各处理间没有显著差异。月份对吸收根氮浓度的影响表现为三个氮肥处理下均为 7 月至 8 月降低, 8 月后增加, 至 9 月又降低, 直到 11 月后继续回升, 即降低增加再降低后又增加的波浪形变化趋势, 其中 7 月、9 月和翌年 1 月氮浓度最高, 而 8 月和 11 月较低。

受交互作用影响, 茶树吸收根 C/N 结果表明夏季 (7 月) 不施氮肥处理的茶树吸收根 C/N 较高, 进入秋季 (9 月、10 月和 11 月) 施氮肥处理下茶树 C/N 较高, 而到了冬季 (12 月和 1 月) 施氮量最高的处理 C/N 最低。月份间变化结果表明施用中等用量处理下茶树吸收根 C/N 能保持月份间的稳定, 而不施肥和施用大量氮肥处理下茶树吸收根 C/N 月份间变化较大。

茶树吸收根磷浓度结果表明, 施用氮肥引起了茶树吸收根磷浓度的降低 (除 9 月和 12 月  $0 \text{ kg/hm}^2 \text{N}$  和  $285 \text{ kg/hm}^2 \text{N}$  处理间无显著差异外, 其余均为不施氮肥处理显著高于施氮肥处理), 且氮肥施用量越高磷浓度越低 (如 7 月、9 月、10 月、12 月和翌年 1 月均表现出磷浓度  $712 \text{ kg/hm}^2 \text{N} < 285 \text{ kg/hm}^2 \text{N}$ )。不施氮肥处理下, 茶树吸收根磷浓度常年保持一个较高的稳定值。施用中等用量氮肥增加了茶树吸收根磷浓度月份间差异, 其中 9 月磷浓度最高, 其次是 12 月和 1 月, 其余月份磷浓度均较低。增加氮肥用量至  $712 \text{ kg/hm}^2$  吸收根磷浓度月份间差异减小, 但磷浓度普遍较不施氮肥时低。

氮肥施用水平对茶树吸收根钾浓度的影响主要表现在 7—9 月间。如图所示 7 月吸收根钾浓度  $0 \text{ kg/hm}^2 \text{N} > 285 \text{ kg/hm}^2 \text{N} > 712 \text{ kg/hm}^2 \text{N}$ , 氮肥施用降低了吸收根钾浓度。7 月后, 不施氮肥处理钾浓度开始降低,  $712 \text{ kg/hm}^2 \text{N}$  处理钾浓度增加, 8 月采样时不施氮肥处理钾浓度仍然较施氮肥处理的高, 8 月后不施氮肥处理钾浓

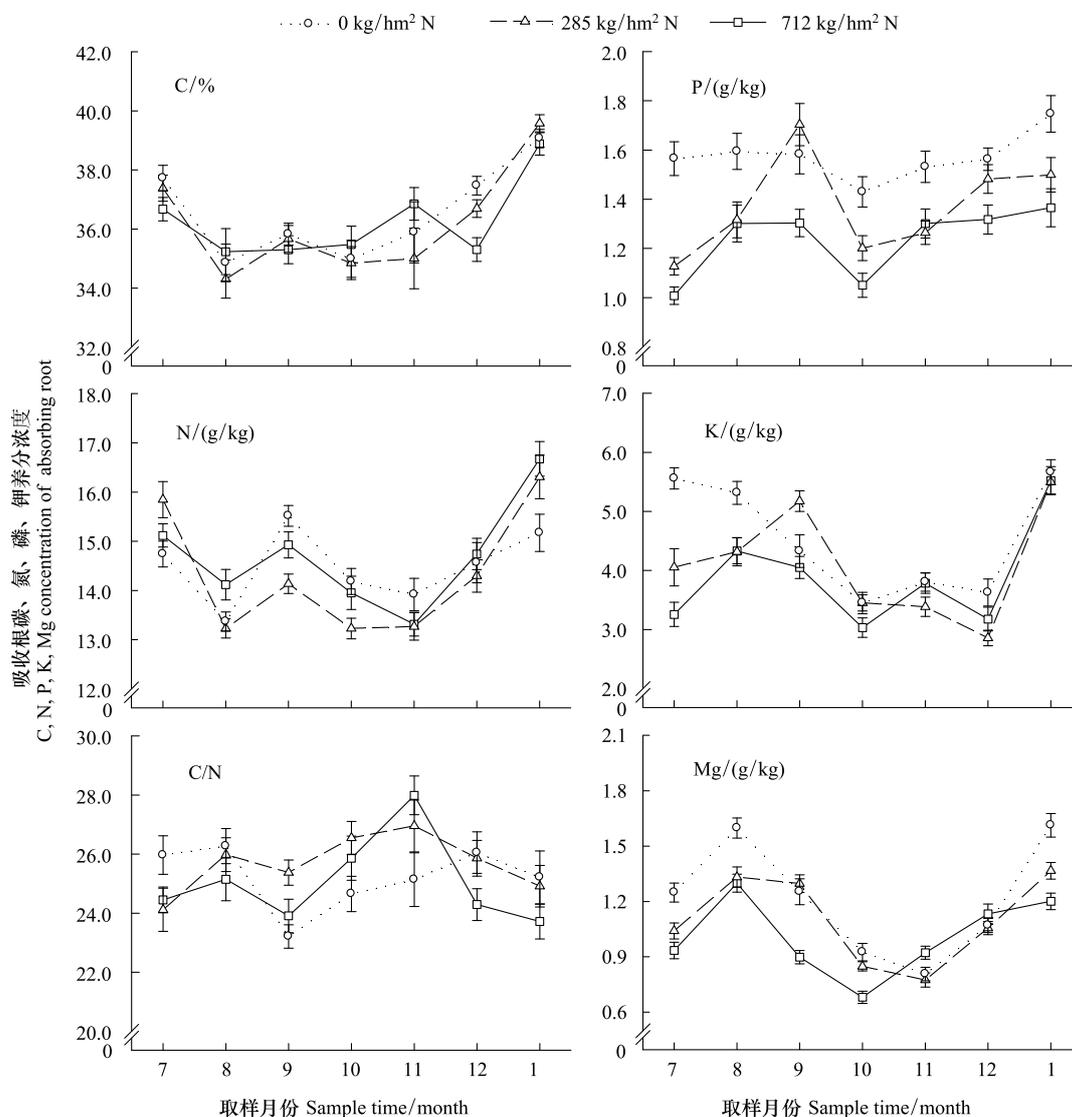


图2 不同氮肥施用水平下田间茶树吸收根养分浓度的时间变化特性 (Means  $\pm$  SE)

Fig. 2 Monthly change of nutrient concentrations in fibrous roots of tea plants supplied with different N application rates

度继续降低,285 kg/hm<sup>2</sup>N 处理钾浓度增加,至9月初采样时中等氮肥处理钾浓度高于不施氮肥和大量氮肥处理。9月后3个处理下吸收根钾浓度均降低直至12月份后回升,氮肥处理对钾浓度无显著影响。从图2结果可见不施氮肥处理下吸收根钾浓度存在两个峰值,分别为7月和翌年1月,施用中等氮肥后钾浓度第一个峰值向秋季推移,出现在9月,继续增加氮肥用量钾浓度第一个峰值被掩盖,为单峰形式。

施用氮肥降低了茶树吸收根镁浓度,且氮肥用量越高镁浓度越低,如7月、8月和翌年1月。茶树吸收根镁浓度月份间变化3个氮肥处理间均表现为7至8月增加,8月后降低,至11月后继续增加的双峰型(峰值分别出现在8月和翌年1月)。

### 2.3 不同氮肥施用水平对田间茶树吸收根养分储量的影响

田间茶树吸收根碳、氮、磷、钾、镁储量分别在12.6—25.2 kg/hm<sup>2</sup>、4.55—11.2 kg/hm<sup>2</sup>、0.47—1.19 kg/hm<sup>2</sup>、1.31—4.05 kg/hm<sup>2</sup>、0.30—1.19 kg/hm<sup>2</sup>之间。分析氮肥水平和采样月份对吸收根养分储量结果表明氮肥水平影响茶树吸收根中磷、钾和镁养分储量,对总碳储量和氮储量没有产生显著影响,而采样月份对吸收根总碳、氮、磷、钾、镁养分储量均产生显著影响,两者交互作用除对镁储量产生影响外,均未影响其余养分储量(表3)。

表 3 茶树吸收根养分储量双因素方差分析结果 ( $P$  值)

处理 Treatment	df	碳储量 C content	氮储量 N content	磷储量 P content	钾储量 K content	镁储量 Mg content
氮肥水平 N application rate	2	0.428	0.147	0.001	0.007	0.009
采样月份 Sampling month	6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
氮肥水平 * 采样月份 Application rate * Sampling month	12	0.757	0.74	0.117	0.060	0.008

茶树吸收根碳、氮、磷、钾、镁储量随月份和氮肥施用水平的具体变化趋势如图 3 所示。

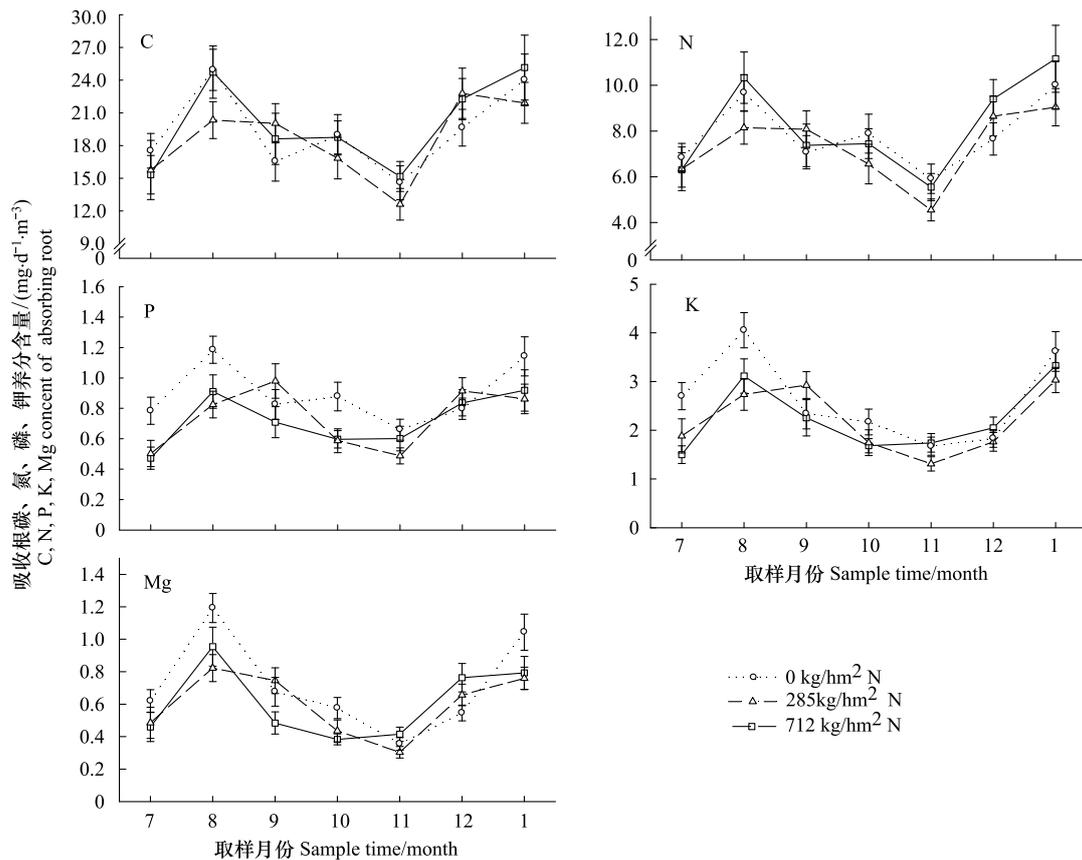
图 3 不同氮肥施用水平下田间茶树吸收根养分储量的时间变化特性 (Means  $\pm$  SE)

Fig. 3 Monthly change of nutrient storage in fibrous roots of tea plants supplied with different N application rates

结果表明在取样的 7 月至翌年 1 月 7 个月份中氮肥用量对吸收根碳储量的影响均未达显著差异水平, 仅部分月份间出现了差异的趋势, 如 8 月施用 285 kg/hm<sup>2</sup>N 时碳储量有降低的趋势。3 个氮肥施用水平下吸收根碳储量的月份间变化趋势基本一致, 呈双峰型, 其中 7 月到 8 月先增加, 8 月后降低, 至 11 月达到最低值后又增加, 即在 8 月和翌年 1 月出现两个峰值。氮肥施用对吸收根碳储量月份间变化的影响主要在 8 月份, 即施用中等用量氮肥后, 8 月峰值略有降低, 从而导致 7 月、8 月和 9 月间的差异较不施氮肥以及施用大量氮肥的小。

分析吸收根氮储量的结果表明, 虽然对成龄生长茶园进行了连续 5—6 年的不同氮肥施用量处理, 但氮肥处理并未对各月份吸收根氮储量产生显著影响 (分析结果表明 7 月—翌年 1 月 7 个月份不同氮肥施用水平间氮储量差异结果均为  $P>0.05$ )。吸收根氮储量月份间的变化趋势与吸收根生物量和碳储量一致, 为双峰型, 峰值分别出现在 8 月和翌年 1 月, 7 月和 11 月吸收根氮储量较低。氮肥处理对吸收根氮储量月份间变化的

影响主要表现在7月至9月间,中等用量的氮肥降低了8月吸收根氮储量,从而导致7月至9月间差异幅度缩小,减缓茶树吸收根氮储量夏秋季的月份间变化。

氮肥施用水平影响部分采样月份吸收根磷和钾储量,施用氮肥降低了茶树吸收根7月、8月和10月的磷储量以及7月和8月的钾储量。结合吸收根生物量和养分浓度结果表明,这种差异是由吸收根生物量和养分浓度共同作用下引起的。茶树吸收根镁的储量受氮肥施用水平的影响,同磷和钾一致,不施肥时吸收根镁储量较高,但氮肥处理对镁储量的影响较磷和钾低。田间茶树吸收根磷、钾和镁储量月份间的变化表现为7至8月先增加后降低,至11月后开始回升,即月份间变化表现为双峰型,峰值分别出现在8月和翌年1月,7月和11月较低。与碳和氮储量一致,施用中等用量的氮肥后,8月磷、钾和镁储量均降低,减缓茶树吸收根磷、钾和镁储量夏秋季的月份间变化。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 茶树吸收根生物量的变化

细根是植物吸收养分和水分的主要器官,其现存量(生物量)与立地条件、气候、土壤类型、群落结构、树种、树龄等因素有关<sup>[14-15]</sup>。细根生物量具有明显的季节规律<sup>[16]</sup>。细根生物量在1年中常出现1个或2个峰值,且大多出现在春季展叶前后、晚夏或秋季等<sup>[17-18]</sup>。早春细根的旺盛生长可能与土温回升、含水量升高(雨季开始)和碳水化合物供应充足(由于地上部分尚未进入旺盛生长期,而前一个生长季节所储存的碳水化合物首先供给地下部分生长)有关<sup>[19-20]</sup>。本研究结果表明茶树吸收根在8月和翌年1月出现两个峰值,这与前人研究结果基本一致,7月初至8月初,杭州地区处于高温和干旱最为严重时期,此时茶树地上部分生长受到抑制,茶树为适应高温干旱气候,通过增加吸收根生物量来提高养分吸收能力。同时,本试验结果表明,适量施用氮肥能降低8月初吸收根生物量和养分储量的分值,进一步表明了此峰值的出现可能与茶树适应胁迫吸收更多养分有关。11月后地上部进入休眠期,吸收根生长活跃,因此在翌年1月再次出现峰值。同时,本研究结果表明田间茶树吸收根生物量在7月和11月最低。

土壤施肥会对细根生物量产生不同影响。Albaugh等<sup>[21]</sup>对北美温带地区火炬松 *Pinus taeda* 人工林施肥研究,发现施肥后细根生物量下降。梅莉等<sup>[22]</sup>对水曲柳人工林施肥试验表明,施氮肥显著降低了活细根的生物量。于立忠等<sup>[23]</sup>对日本落叶松 *Larix kaempferi* 人工林施肥研究表明,施氮肥显著降低细根总生物量。于晓萍<sup>[24]</sup>指出茶树根系附近土壤氮素缺乏时,茶树根系生长会加速,根系对土壤中水分吸收空间就会大大增加,若茶树根系附近氮素丰富时会阻碍茶树根系延长,根系吸收水分会受到抑制。但王冉等<sup>[25]</sup>学者研究表明,施氮后的马来沉香、土沉香的根系生物量显著高于不施氮处理。本试验结果表明经过5年不同氮肥处理的茶园吸收根生物量在7月至翌年1月间存在差异,但每个月不同氮肥处理间没有显著差异,即吸收根生物量在每个月月初总是保持在一个值,且这个值不受氮肥施用的影响,而氮肥施用对吸收根生物量的影响主要表现在影响月份间的变化。如表1所示,不同氮肥施用水平下茶树吸收根7月至翌年1月不同月份间的变化存在差异。其中8月至9月和10月至11月,不施肥处理(0 kg/hm<sup>2</sup> N)茶树吸收根生物量显著降低,而施肥处理(285 kg/hm<sup>2</sup> N和712 kg/hm<sup>2</sup> N)吸收根生物量没有变化,即氮肥施用使得原本不施肥处理下减少的吸收根得以保持。11月至12月,不施肥时生物量未有显著变化,施肥的两个处理吸收根生物量显著增加。而7月至8月、9月至10月、12月至1月,此三月份不同氮肥处理下月份间的变化趋势,或统一增加或无差异。结合氮肥分次施用时间和采样时间,9月、11月和12月进行采样时距离上一次的施肥时间约为30 d、20 d和50 d,而8月、10月、1月约为80 d、60 d和80 d。以上结果表明氮肥施用对吸收根月份间变化的影响与氮肥施用到茶园的时间有关,一定时间范围内氮肥施用对吸收根生物量增加起到作用,氮肥施用时间与吸收根生长的具体效应还有待进一步研究。

#### 3.2 茶树吸收根主要养分浓度和储量的变化

植物组织中的养分含量与养分的累积是土壤养分供给能力的直接反映者<sup>[26]</sup>。目前茶树吸收根养分累积

的研究甚少,在其他作物上,如于立忠等指出施肥对日本落叶松各级根序全碳浓度没有显著影响,对细根磷浓度影响极小,对各级细根 C/N 影响不显著<sup>[27]</sup>。关于杨树的研究表明,高浓度供应氮肥会减弱根系对氮的吸收能力<sup>[28]</sup>。但也有学者认为施肥对根系养分具有积极作用,袁渭阳等<sup>[29]</sup>研究得出细根不仅贮存着大量的碳,而且能将碳直接转移到土壤中并存储相当长的时间,因此其对土壤有机碳库有着重要意义。低氮水平对福建建瓯木荷根系生长促进作用明显,且氮磷利用效率高<sup>[30]</sup>。本研究结果表明氮肥施用对田间茶树吸收根碳浓度和碳储量无显著影响。

茶树属于需肥较大的多年生叶用经济作物,且采用特殊的施肥方式,如本试验茶园采用的 1 基 3 追方式。这种施肥方式下磷钾镁等营养元素施用在基肥期,而氮素施用是依据茶树年生育周期氮素需求进行分次施用,因此氮肥施用对吸收根氮素吸收利用的影响更为复杂。本研究结果表明施用氮肥降低了部分月份茶树吸收根磷、钾和镁的浓度和储量,对吸收根氮储量没有显著影响,吸收根氮浓度受氮肥水平和采样月份交互作用的影响较大,如结果分析时所述吸收根氮浓度受氮肥水平影响因不同月份而异。结合氮肥施用时间进行分析,吸收根氮浓度受氮肥水平影响不同月份间表现出的差异可能是由氮肥施用到茶园后引起的一个短期抑制效应,且这种作用随着肥料施用时间的延长而减缓。如 9 月和 11 月采样时距离上一次氮肥施用时间约 30 d 和 20 d,此时吸收根氮浓度均为不施氮肥处理下吸收根氮浓度较高,而在施肥较长时间后进行采样的 7 月和 1 月(距上次氮肥施用约 50 d 和 80 d)施用氮肥时茶树吸收根氮浓度较高。

不同月份间茶树吸收根养分浓度和储量间存在较大差异,本试验结果表明,茶树吸收根养分储量月份间变化与生物量一致,为双峰型变化,峰值出现在 8 月和翌年 1 月,7 月和 11 月各养分储量均较低。且试验结果表明施用中等用量的氮肥处理下,8 月吸收根各养分的储量有所降低,即夏季养分储量峰值被减弱,从而减缓了茶树吸收根养分储量夏秋季的月份间变化。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 农业部种植业管理司. 2012 年全国茶园面积、产量、产值统计. 茶叶科学, 2013, 33(3): 267-267.
- [ 2 ] 陈宗懋, 杨亚军. 中国茶叶词典. 上海: 文化出版社, 2013.
- [ 3 ] Vogt K A, Publicover D A, Bloomfield J, Perez J M, Vogt D J, Silver W L. Belowground responses as indicators of environmental change. *Environmental and Experimental Botany*, 1993, 33(1): 189-205.
- [ 4 ] 卫星, 张国珍. 树木细根主要研究领域及展望. 中国农学通报, 2008, 24(5): 143-147.
- [ 5 ] 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 卢正立, 王伟伟, 杨智杰, 陈水光. 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计. 生态学报, 2013, 33(18): 5636-5643.
- [ 6 ] 骆耀平. 茶树栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2008, 63-65.
- [ 7 ] Cloughley J B. Effects of harvesting policy and nitrogen application rates on the production of tea in Central Africa. II. Quality and total value of the crop. *Experimental Agriculture*, 1983, 19(1): 47-54.
- [ 8 ] Kamau D M, Spiertz J H J, Oenema O, Owuor P O. Productivity and nitrogen use of tea plantations in relation to age and genotype. *Field Crops Research*, 2008, 108(1): 60-70.
- [ 9 ] Owuor P O, Odhiambo H O. Response of some black tea quality parameters to nitrogen fertiliser rates and plucking frequencies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1994, 66(4): 555-561.
- [ 10 ] Ruan J, Haerdter R, Gerendás J. Impact of nitrogen supply on carbon/nitrogen allocation: a case study on amino acids and catechins in green tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] plants. *Plant Biology*, 2010, 12(5): 724-734.
- [ 11 ] 伍炳华, 韩文炎, 姚国坤. 茶树氮磷钾营养的品种间差异 I.—氮肥在茶树品种间的生长和生理效应. 茶叶科学, 1991, (1): 11-18.
- [ 12 ] Han W Y, Ma L F, Shi Y Z, Ruan J Y, Kemmitt S J. Nitrogen release dynamics and transformation of slow release fertiliser products and their effects on tea yield and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008, 88(5): 839-846.
- [ 13 ] Ruan J, Gerendás J, Härdter R, Sattelmacher B. Effect of nitrogen form and root-zone pH on growth and nitrogen uptake of tea (*Camellia sinensis*) plants. *Annals of Botany*, 2007, 99(2): 301-310.
- [ 14 ] Canham C A, Froend R H, Stock W D, Davies. Dynamics of phreatophyte root growth relative to a seasonally fluctuating water table in a Mediterranean-type environment. *Oecologia*, 2012, 170(4): 909-916.
- [ 15 ] 王光军, 李树战, 闫文德, 郑威, 禹茜. 樟树人工林土壤呼吸的动态变化. 中南林业科技大学学报: 自然科学版, 2008, 28(4): 118-122.

- [16] 楚旭, 邸雪颖, 张吉利, 蔡慧颖, 阎秉哲. 大兴安岭两种林分细根生物量分布特征及季节动态. 东北林业大学学报, 2011, 39(5): 36-39.
- [17] Yang L Y, Wu S T, Zhang L B. Fine root biomass dynamics and carbon storage along a successional gradient in Changbai Mountains, China. Forestry, 2010, 83(4): 379-387.
- [18] 杜有新, 潘根兴, 李恋卿, 胡忠良, 王新洲. 贵州中部喀斯特山地不同植被生态系统细根生态特征及养分储量. 应用生态学报, 2010, 21(8): 1926-1932.
- [19] López B, Sabaté S, Gracia C A. Annual and seasonal changes in fine root biomass of a *Quercus ilex* L. forest. Plant and Soil, 2001, 230(1): 125-134.
- [20] Makkonen K, Helmisaari H S. Seasonal and yearly variations of fine-root biomass and necromass in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. Forest Ecology and Management, 1998, 102(2): 283-290.
- [21] Albaugh T J, Allen H L, Dougherty P M, Kress L W, King J S. Leaf area and above-and belowground growth responses of loblolly pine to nutrient and water additions. Forest Science, 1998, 44(2): 317-328.
- [22] 梅莉, 王政权, 张秀娟, 于立忠, 杜英. 施氮肥对水曲柳人工林细根生产和周转的影响. 生态学杂志, 2008, 27(10): 1663-1668.
- [23] 于立忠. 施肥对日本落叶松细根形态特征及养分含量的影响[D]. 长春: 东北林业大学, 2006.
- [24] 王晓萍. 土壤水分对茶树根系吸收机能的影响. 中国茶叶, 1992, (4): 10-13.
- [25] 王冉, 李吉跃, 张方秋, 朱报著, 潘文. 不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响. 生态学报, 2011, 31(001): 98-106.
- [26] 李霞, 饶龙兵, 郭洪英, 段红平, 陈益泰. 氮水平对桉木属幼苗根系形态及氮累积利用影响. 土壤, 2013, 45(1): 34-40.
- [27] 于立忠, 丁国泉, 朱教君, 张娜, 张小鹏, 英慧. 施肥对日本落叶松不同根序细根养分浓度的影响. 应用生态学报, 2009, 20(4): 747-753.
- [28] Rothstein D E, Zak D R, Pregitzer K S, Curtis P S. Kinetics of nitrogen uptake by *Populus tremuloides* in relation to atmospheric CO<sub>2</sub> and soil nitrogen availability. Tree Physiology, 2000, 20(4): 265-270.
- [29] 袁渭阳, 李贤伟, 张健, 荣丽. 不同年龄巨枝人工林枯落物和细根碳储量研究. 林业科学研究, 2009, 22(3): 385-389.
- [30] 张蕊, 王艺, 金国庆, 周志春, 丰忠平. 施氮对木荷 3 个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响. 生态学报, 2013, 33(12): 3611-3621.