

DOI: 10.5846/stxb201810112203

向芬,李维,刘红艳,周凌云,银霞,曾泽萱.氮素水平对茶树叶片氮代谢关键酶活性及非结构性碳水化合物化合物的影响.生态学报,2019,39(24): 9052-9057.

Xiang F, Li W, Liu H Y, Zhou L Y, Yin X, Zeng Z X. Effects of nitrogen levels on key enzyme activities and non-structural carbohydrates in nitrogen metabolism in tea leaves. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(24): 9052-9057.

氮素水平对茶树叶片氮代谢关键酶活性及非结构性碳水化合物化合物的影响

向 芬*, 李 维, 刘红艳, 周凌云, 银 霞, 曾泽萱

湖南省农业科学院茶叶研究所, 长沙 410125

摘要:以福鼎大白茶(FD)、保靖黄金茶1号(HJ1)、白毫早(BHZ)为材料,设置不施氮 N_0 (0 g)、低氮 N_1 (11 g)、中氮 N_2 (22 g)和高氮 N_3 (33 g)4个氮素水平的盆栽实验,研究了铵态氮对3个品种茶树的根系活力、氮代谢关键酶及非结构性碳水化合物(NSC)的影响。结果表明:随着施氮水平的提高, N_2 、 N_3 处理的茶树根系活力较对照 N_0 显著增加($P<0.05$),但二者间无显著差异;叶片谷氨酰胺合成酶(GS)、谷氨酸合成酶(GOGAT)活性总体呈上升趋势;与对照比较,茶树叶片全氮和可溶性蛋白含量增加,其中HJ1在 N_2 和 N_3 处理后显著增加($P<0.05$);在3个茶树品种中,非结构性碳水化合物中可溶性总糖含量均呈上升趋势,淀粉含量具有品种特异性,施氮处理后3个茶树品种氮代谢关键酶活性及NSC含量变化存在差异,以HJ1的氮同化关键酶GS、GOGAT酶活性较高、根系活力较强,氮代谢产物显著增加,表明其具有较高的氮同化速率。施氮后HJ1的总NSC的含量及碳氮比的变化幅度较另外2个品种小,能够更好的保持碳氮平衡,游离氨基酸含量增幅较高,品质更优。因此,通过茶树氮代谢关键酶活性及非结构性化合物的研究能为茶树品种的品质评价以及提高茶树的品质和氮素利用效率提供依据。

关键词:氮素水平;根系活力;氮素利用率;非结构性碳水化合物;茶树

Effects of nitrogen levels on key enzyme activities and non-structural carbohydrates in nitrogen metabolism in tea leaves

XIANG Fen*, LI Wei, LIU Hongyan, ZHOU Lingyun, YIN Xia, ZENG Zexuan

Tea Research Institute of Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China

Abstract: We investigated the effects of nitrogen on root activity, key enzyme activities of nitrogen metabolism, and non-structural carbohydrates (NSC) in 3 tea varieties (Fuding dabai tea (FD), Baojing huangjin tea 1# (HJ1) and Baihaozao (BHZ)) with 4 ammonium nitrogen (N) treatments: without N deposition: N_0 (0 g), low N deposition: N_1 (11 g), medium N deposition: N_2 (22 g), and high N deposition: N_3 (33 g). The results showed that root activity increased significantly in N_2 and N_3 compared with the control, however, there were no differences between these two treatments. The GS and GOGAT activities in tea leaves increased after N treatment. Compared with the control, the total nitrogen content and soluble protein content in tea leaves generally increased following nitrogen treatment, significantly in the case of N_2 and N_3 in HJ1 ($P<0.05$). As the mass of N in the treatment increased, the NSC and total soluble sugars presented a tendency of increasing. However, the changes in starch content displayed varietal specificities in FD, HJ1 and BHZ. Changes in key enzymes involved in nitrogen metabolism and NSC content were observed after nitrogen treatment, which were different in the 3 tea varieties. Following N treatment, HJ1 showed higher GS and GOGAT activities, higher root activity, and a

基金项目:湖南农业科技创新资金项目(2017JC17);2018年度湖南省重点研发计划项目(2018NK2032);湖南省自然科学基金(2017JJ3167)

收稿日期:2018-10-11; 网络出版日期:2019-09-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiangfen-1210@163.com

significant increase of nitrogen metabolites compares to FD and BHZ, which indicates a higher rate of nitrogen assimilation. The total NSC content and C/N changed less in HJ1, which had a better quality of higher free amino acid content, implying that HJ1 better maintain a carbon-nitrogen balance. Therefore, research on the activities of key enzymes involved in nitrogen metabolism and NSC in tea plants can provide a basis for evaluating the quality of tea varieties and improving the quality and nitrogen use efficiency of tea plants.

Key Words: nitrogen levels; root activity; nitrogen utilization efficiency; non-structural carbohydrates; *Camellia sinensis*

氮素是茶树生长需求最多的元素,也是茶树主要品质成分游离氨基酸、茶多酚、糖类等的组成部分^[1-2]。由于氮素能提高茶树产量和品质,导致茶农盲目增施氮肥,极易造成生态环境污染,茶叶质量下降^[3],严重影响了茶产业的可持续发展。

碳氮代谢是植物中最重要也是最基本的代谢^[4],茶树中的碳氮(C、N)代谢平衡协调,C、N代谢产物分配合理,茶叶品质才优质^[5]。适量施用氮肥有利于茶叶中游离氨基酸、咖啡碱、水浸出物含量的提高和可溶性糖、可溶性蛋白、全氮含量的增加^[1,6-7],过量施氮则会导致茶树叶片中主要糖类物质的合成受限,使茶叶游离氨基酸中具有苦涩味的精氨酸(Arg)大量合成,进而导致茶叶品质下降^[6]。谷氨酰胺合成酶(glutamine synthetase,GS)/谷氨酸合成酶(glutamate synthase,GOGAT)对茶树的氮代谢过程具有重要的调节作用,施氮能提高GS、GOGAT的酶活性^[5],但过量施氮会导致GS酶活性下降^[8],其变化会影响氮素同化的进程,进而影响茶树氮碳代谢产物的分配与碳氮平衡^[9],因此,氮素供给水平的高低对茶树植株的碳、氮同化平衡具有重要的作用。非结构性碳水化合物(NSC)—可溶性糖和淀粉,为碳代谢的主要产物,不仅对植物的代谢、生长、发育有着重要的作用^[10],还可以反映植物的碳代谢状况以及抗逆性^[11],并通过协调植物生理来适应环境。NSC含量不仅能够反映植物的碳、氮同化平衡,同时也直接反应植株单株叶面积^[12],进而影响茶叶作物的产量。目前茶树中N代谢关键酶活性及对茶叶品质相关的物质研究较多^[13-14],但对氮素水平下茶树根系活力及非结构性碳水化合物相关研究较少。因此,我们从不同氮素水平下茶树根系活力,茶叶N代谢的关键酶及非结构性碳水化合物等方面进行研究,为提高茶叶品质、产量及其氮素利用效率,实现茶园化肥的减施增效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为福鼎大白茶(FD)、保靖黄金茶1号(HJ1)、白毫早(BHZ),于2013年1月进行盆栽试验。土壤条件及盆栽基本情况与向芬等文章一致^[2],供试土壤为砂质红壤,pH 4.96,碱解氮 97.40 mg/kg,速效磷 35.37 mg/kg,速效钾 98.87 mg/kg,土壤取自长沙市芙蓉区马坡岭茶叶试验基地(湖南长沙,113°1'13"E,d 28°12'20.580"N)。盆栽直径 40 cm,高 35 cm。土壤经自然风干、去杂质、压碎过 2 mm 孔径筛后,每盆称重 14.5 kg 土装盆,每盆移栽 3 株茶树。

1.2 试验设计

以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 为氮源,自2014年连续4年每年春季设置4个氮素水平处理,即不施氮、低氮、中氮和高氮,分别施 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 为0(N_0)、11(N_1)、22(N_2)、33 g/盆(N_3),每个处理重复4次,茶园按常规进行统一管理。2017年4月对茶树进行一芽二叶取样并经90 s的蒸汽杀青固样后烘干至恒重^[15],2017年8月对各处理茶树进行根系活力测定并对各茶树处理倒5叶的GS酶活性、GOGAT酶活性、可溶性总糖、淀粉、可溶性蛋白含量进行测定。

1.3 测定指标及方法

根系活力采用TTC法进行测定^[16];GS、GOGAT酶活性采用苏州科铭生物技术有限公司提供的试剂盒进

行提取与测定;可溶性总糖、淀粉含量采用蒽酮比色法进行测定^[17];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝比色法进行测定^[18];游离氨基酸含量采用茚三酮染色法进行测定^[19];全氮含量采用凯氏定氮法测定^[20];碳氮比=(可溶性总糖+淀粉含量)/全氮含量^[20-21]。

1.4 数据分析

利用 Excel2010 软件对数据进行处理,采用 DPS14.5 软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 氮素水平对茶树吸收根根系活力的影响

从表 1 可知,不同施氮水平下各品种茶树根系活力存在差异,3 个茶树品种中以 HJ1 的根系活力较强,氮素水平处理中以 N_1 、 N_2 处理根系活力较高,二处理间差异不显著,极显著高于 N_0 、 N_3 ($P<0.01$);FD、BHZ 的 N_2 处理的根系活力最高,且与对照 N_0 差异极显著 ($P<0.01$), N_3 较 N_2 略低。

表 1 氮素水平对茶树吸收根根系活力的影响/ ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$)

Table 1 The influence of nitrogen levels on root activity of tea plants

品种 Cultivars	N_0	N_1	N_2	N_3
FD	30.44±0.52 Cc	30.73±1.05 Cc	39.81±0.59 Aa	37.95±0.74 Bb
HJ1	32.35±0.49 Bb	41.29±1.31 Aa	39.88±0.72 Aa	32.65±0.40 Bb
BHZ	30.75±0.34 Bb	30.79±1.23 Bb	36.91±1.21 Aa	36.01±0.61 Aa

FD: 茶树品种, 福鼎大白茶, tea cultivars, Fuding dabai tea; HJ1: 茶树品种, 保靖黄金茶 1 号, tea cultivars, Baojing huangjin tea 1#; BHZ: 茶树品种, 白毫早, tea cultivars, Baihaozao; N_0 : 0 g/盆 (NH_4)₂SO₄, 0 g/pot (NH_4)₂SO₄; N_1 : 11 g/盆 (NH_4)₂SO₄, 11 g/pot (NH_4)₂SO₄; N_2 : 22 g/盆 (NH_4)₂SO₄, 22 g/pot (NH_4)₂SO₄; N_3 : 33 g/盆 (NH_4)₂SO₄, 33 g/pot (NH_4)₂SO₄; 数值表示为平均值±标准差 ($n=3$), 同一行不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$), 同一行不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)

2.2 氮素水平对茶树叶片非结构性碳水化合物含量的影响

可溶性总糖、淀粉为茶树光合作用的主要产物。施氮处理后, 3 个茶树品种的可溶性总糖含量增加, 其中 FD 的 N_2 、 N_3 处理较对照显著增加 ($P<0.05$), 分别较对照增加 10.68% 和 16.31% (图 1); FD、HJ1 淀粉含量降

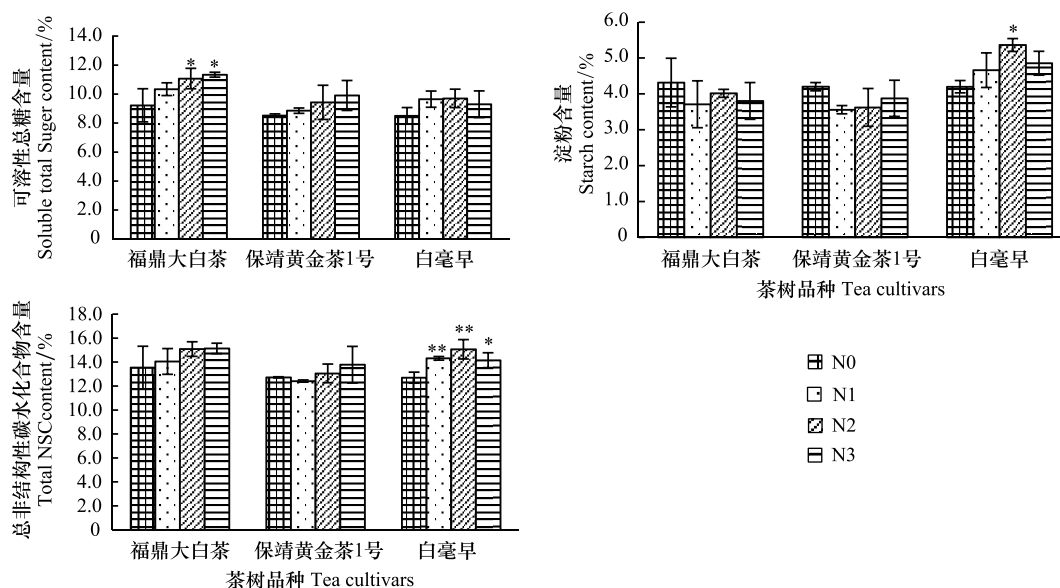


图 1 施氮水平对茶树可溶性总糖、淀粉含量、总非结构性碳水化合物含量的影响

Fig.1 Effects of nitrogen levels on soluble total sugar, starch and total NSC content of tea leaves

* 和 ** 分别代表不同施氮处理与对照间在 0.05 水平 ($P<0.05$) 与 0.01 水平 ($P<0.01$) 存在显著性差异

低,但 BHZ 的淀粉含量反而增加,其 N_2 处理较对照增加 27.72% (图 1), 差异显著 ($P<0.05$)。3 个茶树品种的总 NSC 含量 HJ1 的最低, 其经氮处理后变化幅度最小, 与对照比较, FD、HJ1 各施氮处理无显著性变化, BHZ 各施氮处理极显著或显著高于对照。

2.3 氮素水平对茶树叶片氮代谢关键酶活性的影响

GS 和 GOGAT 是植物氮代谢的关键酶, 与对照比较, 施氮处理后 FD、HJ1 随着施氮量的增加 GOGAT 的活性增强, FD 的 N_2 处理, HJ1 的 N_2 、 N_3 极显著增加, 分别增加 70.48%, 75.93%, 97.42%, 而 BHZ 的 N_2 、 N_3 处理较对照极显著降低 (图 2)。施氮后 FD、HJ1、BHZ 的 GS 活性较对照增强 (图 2), 其中 FD 施氮处理的 GS 活性较对照极显著增加 ($P<0.01$)、BHZ 的 N_2 、 N_3 较对照显著增加 ($P<0.05$), HJ1 的 N_1 处理较对照极显著增加 ($P<0.01$)。3 个品种中以 HJ1 的 GOGAT、GS 酶活性最强。

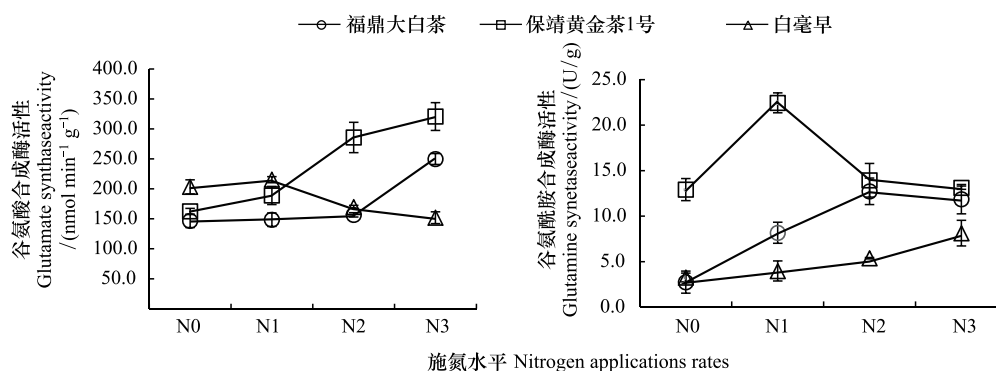


图2 施氮水平对茶树叶片 GOGAT (glutamate synmase)、GS (glutamine synetase) 酶活性的影响

Fig.2 Effects of nitrogen levels on GOGAT and GS activity of tea leaves

2.4 氮素水平对茶树叶片氮代谢主要产物的影响

从图 3 可知, 施氮处理后, 茶树叶片全氮含量增加, 以 N_2 、 N_3 处理增加较多, 其中 HJ1 的 N_2 、 N_3 处理增加显著 ($P<0.05$), FD、HJ1、BHZ 的叶片全氮含量最高分别增加 2.31%、10.08%、5.04% (图 3)。施氮处理后, 与对照比较, 可溶性蛋白含量亦增加, 以 N_2 、 N_3 处理增加较多, 其中 HJ1 的 N_2 、 N_3 处理显著增加 ($P<0.05$), FD、HJ1、BHZ 的可溶性蛋白含量最高分别增加 1.39%、7.06%、2.80% (图 3)。

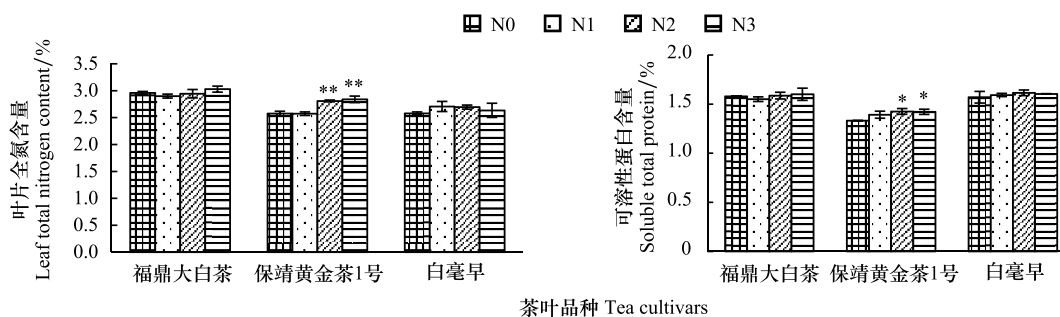


图3 施氮水平对茶树叶片全氮、可溶性蛋白含量的影响

Fig.3 Effects of nitrogen levels on total nitrogen and soluble total protein of tea leaves

2.5 氮素水平对茶叶游离氨基酸含量的影响

施氮处理能够提高茶树的游离氨基酸含量, 以 N_2 、 N_3 处理的游离氨基酸含量增加较多 (表 2)。3 个品种中以保靖黄金茶 1 号的游离氨基酸含量较高。FD、HJ1、BHZ 的 N_2 处理下分别较对照提高 31.69%、42.40%、30.25%, N_3 处理下分别较对照提高 14.61%、20.56%、48.46%。

表 2 施氮水平对茶叶游离氨基酸含量的影响

Table 2 Effect of nitrogen application level on the content of free amino acids in tea leaves

品种 Cultivars	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃
FD	4.45±0.17 Ce	4.71±0.11 BCc	5.86±0.09 Aa	5.10±0.21 Bb
HJ1	4.67±0.22 Bc	5.26±0.23 Bbc	6.65±0.10 Aa	5.63±0.16 Bb
BHZ	3.24±0.11 Cd	3.50±0.13 Cc	4.22±0.08 Bb	4.81±0.13 Aa

2.6 氮素水平对茶叶叶片碳氮比的影响

碳氮比是植物光合产物分配方向的重要指标^[21]。由图 4 可知,与对照比较,施氮后 FD、BHZ 茶树品种的碳氮比增加,FD、HJ1 随着施氮量的增加其叶片碳氮比与对照差异不显著, BHZ 以 N₂ 处理碳氮比最大,较对照显著增加($P<0.05$)。

3 讨论与结论

在茶树生长过程中氮代谢动态变化对茶叶品质影响重大。适量施氮有利于增加作物的氮代谢关键酶

GS、GOGAT 酶活性,提高作物的产量和品质^[22-23]。茶树为喜铵作物^[24-26],本研究以铵态氮作为茶树氮源对茶树进行了根系活力、氮代谢及 NSC 的研究,结果表明施氮后提高了茶树根系活力,但过量施氮对茶树根系活力无持续提升效果;施氮亦有利于叶片中氮代谢关键酶 GS、GOGAT 活性,其中高氮下 GS、GOGAT 酶活性增幅减弱,与上述结果基本一致。说明适量施氮有利于增强茶树根系对氮素养分的吸收,有利于光合同化产物与氮素的累积^[2],进而提高茶树的产量,这与我们前期的研究,即适量施氮下茶树生长势最强的结果一致^[2]。施氮有利于提高茶树非结构性碳水化合物可溶性糖含量,淀粉含量的变化则具有品种特异性,氮处理后 FD、HJ1 的淀粉含量降低,而 BHZ 的淀粉含量上升。可溶性糖含量作为作物抗性生理指标之一^[11,21,27],在高氮(N₃)下茶树可溶性糖含量增加,有利于茶树适应环境中的高氮胁迫。前期研究表明,高氮处理会导致茶树叶肉叶绿素含量下降,叶肉的光合活性减弱,气孔导度下降^[2]进而导致光合作用受阻。本研究的结果与前期的研究结果一致,即高氮处理后光合产物减少,这可能会引起光合作用与呼吸作用之间的碳源供应不平衡,造成茶树叶片中 NSC 等有机物质堆积以抵御逆境胁迫,进而导致茶树叶片碳过剩和碳氮比的升高^[20]。

随着施氮量的增加,茶树叶片全氮含量增加,茶树氮代谢产物可溶性蛋白含量亦增加,与孙常青等^[28]的研究一致,其中保靖黄金茶 1 号 N₂、N₃ 处理显著增加。但 3 个茶树品种的氮代谢关键酶活性及 NSC 含量存在差异,其中以 HJ1 的根系活力较强,养分吸收能力较强,对施氮后的氮代谢变化最明显,其氮同化关键酶 GS、GOGAT 酶活性亦最强,表明施氮能促进保靖黄金茶 1 号的 GS、GOGAT 酶催化氮素同化过程,加速对氮素养分的吸收和利用,这与李维等^[29]的研究结果一致。与另外 2 个茶树品种相比,N₂ 处理后 HJ1 叶片中氮代谢产物可溶性蛋白含量增加,非结构性碳水化合物淀粉含量较低,可溶性糖含量适中,且游离氨基酸含量最高,品质较好。

综上所述,适量施氮能显著提高茶树根系活力、叶片氮代谢关键酶活性,非结构性碳水化合物含量、可溶性蛋白含量,全氮含量亦增加,有利于保持茶树的碳氮平衡。茶树品种间的氮代谢关键酶活性及 NSC 含量变化存在差异。因此,茶树氮代谢关键酶及非结构性碳水化合物可以作为评价茶树品种的品质优劣的指标,为改善茶树的氮素利用率及茶叶品质提高理论依据。

参考文献 (References):

- [1] 苏有健,廖万有,丁勇,王宏树,夏先江. 不同氮营养水平对茶叶产量和品质的影响. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1430-1436.

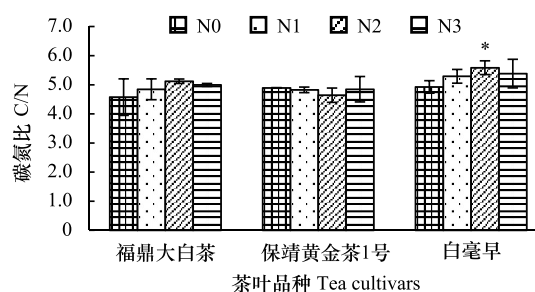


图 4 施氮水平对茶叶叶片碳氮比的影响

Fig.4 Effects of nitrogen levels on C/N of tea leaves

- [2] 向芬, 李维, 刘红艳, 周凌云, 江昌俊. 氮素水平对不同品种茶树光合及叶绿素荧光特性的影响. 西北植物学报, 2018, 38(6): 1138-1145.
- [3] Xue D, Yao H Y, Huang C Y. Microbial biomass, N mineralization and nitrification, enzyme activities, and microbial community diversity in tea orchard soils. Plant and Soil, 2006, 288(1/2): 319-331.
- [4] 岳红宾. 不同氮素水平对烟草碳氮代谢关键酶活性的影响. 中国烟草科学, 2007, 28(1): 18-20, 24-24.
- [5] 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.
- [6] 杨亦扬, 马立锋, 黎星辉, Ratcliffe R G, Kruger N J, 阮建云. 氮素水平对茶树新梢叶片代谢谱及其昼夜变化的影响. 茶叶科学, 2013, 33(6): 491-499.
- [7] 周小生. 茶树氮素营养的快速诊断及其相关的生理生化指标的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.
- [8] 张智猛, 万书波, 宁堂原, 戴良香. 氮素水平对花生氮素代谢及相关酶活性的影响. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1407-1416.
- [9] 王俊忠, 黄高宝, 张超男, 杨亚军, 赵会杰, 朱晓燕, 马培芳. 施氮量对不同肥力水平下夏玉米碳氮代谢及氮素利用率的影响. 生态学报, 2009, 29(4): 2045-2052.
- [10] 赵会杰, 邹琦, 张秀英. 两个不同穗型小麦品种生育后期碳水化合物代谢的比较研究. 作物学报, 2003, 29(5): 676-681.
- [11] 刘海坤, 刘小宁, 黄玉芳, 叶优良. 不同氮水平下小麦植株的碳氮代谢及碳代谢与赤霉病的关系. 中国生态农业学报, 2014, 22(7): 782-789.
- [12] 霍常富, 孙海龙, 王政权, 范志强, 赵晓敏. 光照和氮营养对水曲柳苗木生长及碳-氮代谢的影响. 林业科学, 2009, 45(7): 38-44.
- [13] 刘健伟. 基于组学技术研究氮素对于茶树碳氮代谢及主要品质成分生物合成的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [14] 李海琳, 王丽鸳, 成浩, 韦康, 阮丽, 吴立赞. 氮素水平对茶树重要农艺性状和化学成分含量的影响. 茶叶科学, 2017, 37(4): 383-391.
- [15] 周国兰, 何萍, 刘晓霞, 郑文莉, 赵华富. 蒸青固样方式对茶叶主要生化成分的影响研究. 贵州茶叶, 2009, 37(1): 19-19, 24-24.
- [16] 白宝璋, 金锦, 白松, 黄丽萍. 玉米根系活力 TTC 测定法的改良. 玉米科学, 1994, 2(4): 44-47.
- [17] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学实验技术. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [18] 李叶云, 庞磊, 陈启文, 周月琴, 江昌俊. 低温胁迫对茶树叶片生理特性的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(4): 134-138.
- [19] 赵熙, 黄浩, 银霞, 黄怀生, 粟本文, 郑红发. 绿茶贮藏过程中主要生化成分和抗氧化活性的变化及相关性研究. 广东农业科学, 2016, 43(3): 120-124.
- [20] 潘春霞, 杨丽芝, 邵璐璐, 陶晨悦, 王威, 应叶青. 多效唑和干旱胁迫对毛竹实生苗活力、光合能力及非结构性碳水化合物的影响. 生态学报, 2018, 38(6): 2082-2091.
- [21] 蒋思思, 魏丽萍, 杨松, 肖摇迪, 王晓洁, 侯继华. 不同种源油松幼苗的光合色素和非结构性碳水化合物对模拟氮沉降的短期响应. 生态学报, 2015, 35(21): 7061-7070.
- [22] 孙永健, 孙园园, 李旭毅, 郭翔, 马均. 水氮互作下水稻氮代谢关键酶活性与氮素利用的关系. 作物学报, 2009, 35(11): 2055-2063.
- [23] 孙永健, 孙园园, 严奉君, 杨志远, 徐徽, 李玥, 王海月, 马均. 氮肥后移对不同氮效率水稻花后碳氮代谢的影响. 作物学报, 2017, 43(3): 407-419.
- [24] 陈林. 茶树体内茶氨酸代谢及其相关酶的基础方法研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2008.
- [25] Yang Y Y, Li X H, Ratcliffe R G, Ruan J Y. Characterization of ammonium and nitrate uptake and assimilation in roots of tea plants. Russian Journal of Plant Physiology, 2013, 60(1): 91-99.
- [26] Ruan J R, Zhang F S, Wong M H. Effect of nitrogen form and phosphorus source on the growth, nutrient uptake and rhizosphere soil property of *Camellia sinensis* L. Plant and Soil, 2000, 223(1/2): 63-71.
- [27] Fu G F, Song J, Xiong J, Li Y R, Chen H Z, Le M K, Tao L X. Changes of oxidative stress and soluble sugar in anthers involve in Rice pollen abortion under drought stress. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(7): 1016-1025.
- [28] 孙常青, 杨艳君, 郭志利, 屈非. 施肥和密度对杂交谷可溶性糖、可溶性蛋白及硝酸还原酶的影响. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1169-1177.
- [29] Li W, Xiang F, Zhong M C, Zhou L Y, Liu H Y, Li S J, Wang X W. Transcriptome and metabolite analysis identifies nitrogen utilization genes in tea plant (*Camellia sinensis*). Scientific Reports, 2017, 7(1): 1693.