植物营养与肥料学报 2015,21(1): 147 - 155
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2015.0116

氮磷钾对春茶光合生理及氨基酸组分的影响

罗 凡[1,2], 龚雪蛟[2], 张 厅[2], 杜 晓[1*]
(1 四川农业大学园艺学院,四川雅安 625014; 2 四川省农业科学院茶叶研究所, 四川成都 610066)

摘要:【目的】当前为追求茶园高产盲目施肥、滥用化肥造成生态环境破坏的现象较为严重,因此如何合理施肥显得尤为重要,本文通过研究氮、磷、钾不同水平及其配比对春茶净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO_2 浓度(Ci)和水分利用效率(WUE)等光合生理指标和春茶新梢氮、磷、钾含量, 氨基酸总量及其组分的影响,为茶园平衡施肥和精准施肥提供理论指导。**【方法】**采取单因素试验设计,设氮、磷、钾各 3 个水平及其配比和对照,共 14 个处理(N1、N2、N3、P1、P2、P3、K1、K2、K3、NP、NK、PK、NPK、CK),在茶树新梢长至 1 芽 3 叶时采样,用 Li-6400 便携式光合测定仪测定茶树的光合生理指标,用氨基酸自动分析仪测定春茶氨基酸总量及组分含量,分别采用凯氏定氮法、钒钼黄比色法和原子吸收分光光度法测定茶树新梢的全氮、全磷和全钾含量。分析不同施肥处理对茶树光合生理指标和春茶氨基酸总量及其组分的影响,并通过逐步回归分析建立 Pn 与茶树新梢氮、磷、钾含量, Tr、Gs 和 Ci 的回归方程。**【结果】**NPK 处理茶树 Pn 比 CK 提高 9.70%;P2、P3 和 NPK 处理的 Tr 显著增加,比 CK 分别提高 10.60%、14.92%、14.25%; NPK 处理的 Gs 显著增加,比 CK 高 23.15%,同时 Gs 随不同施肥水平表现出与蒸腾速率较一致的趋势,二者的相关性极显著;Ci 随氮、磷、钾施用量的增加而上升;WUE 随氮、磷、钾施用量的增加而下降。NPK 处理的茶树新梢的氮、磷含量较高,相同施肥处理的茶树新梢的磷含量低于氮、钾。逐步回归分析显示,茶树新梢磷含量, Ci 和 Gs 对 Pn 的直接作用较大,直接通径系数分别为 0.3688、-0.8139和0.4677, $Pn = 12.955 + 26.624P - 0.087Ci + 38.233Gs$;NPK 处理下春茶氨基酸总量及茶氨酸、天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸和胱氨酸等主要氨基酸组分的含量分别比对照提高了 27.88%、26.60%、35.78%、35.06%、24.41%和 24.41%,与对照差异显著。**【结论】**新梢磷含量和气孔导度对春茶净光合速率的提高有直接的促进作用,而胞间 CO_2 浓度对净光合速率有一定的消减作用。氮磷钾配施可显著提升茶树新梢叶片的气孔导度并保证茶树新梢中较高的磷含量,从而提高了茶树的净光合速率。氮磷钾肥配施能显著提高春茶氨基酸总量及其组分含量,提高了春茶的品质,表明茶叶中氨基酸总量和茶氨酸等重要组分含量的提高是氮、磷、钾营养共同作用的结果。因此,氮磷钾配合施用可以提高春茶的产量和品质。

关键词: 氮磷钾; 光合生理指标; 氨基酸组分; 春茶; 茶树
中图分类号: S571.1.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)01-0147-09

Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on photo-biological characteristics and amino acid components of tea plants in spring

LUO Fan[1,2], GONG Xue-jiao[2], ZHANG Ting[2], DU Xiao[1*]
(*1 College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;*
2 Tea Research Institude, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract:【Objectives】 It is very serious that abuse of chemical fertilizers causes environment destruction for chasing productivity in tea garden, so it is very important that reasonable application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. In this paper, effects of different application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on photo-biological characteristics, such as Pn, Tr, Gs, Ci, WUE and contents of N, P and K in new shoots and amino acid components of tea plants in spring, were studied to provide theoretical guidance for balanced fertilization and accurate fertilization in tea gardens. **【Methods】** We got by single factor design in the experiment and used

收稿日期: 2013-12-12 **接受日期:** 2014-06-11
基金项目: 国家茶叶产业技术体系项目(CARS-23)资助。
作者简介: 罗凡(1970—),男,四川苍溪人,博士研究生,研究员,主要从事茶树育种、茶叶加工及新产品开发等工作。E-mail: scstea@126.com
* 通信作者 E-mail: duxiao@163.com

totally 14 fertilizer treatments with nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers, including single application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers with three treatments (N1, N2, N3, P1, P2, P3, K1, K2 and K3), combined application of nitrogen-phosphorus, nitrogen-potassium and phosphorus-potassium fertilizers (NP, NK and PK), combined application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers (NPK), and no fertilizer (CK). When the tea new shoots grow to 1 bud and 3 leaves, samples are collected. We used Li-6400 photosynthesis system to determine the photo-biological characteristics, and automatic amino acid analyzer to determine the contents of amino acid and its components. Using the Kjeldahl method, vanadium-molybdenum-yellow colorimetry and atomic absorption spectrophotometry to determine the contents of N, P and K in the new shoots. We analysed effects of different fertilizer treatments on the photo-biological characteristics and the contents of amino acid components, and we set up regression and path analyses of N, P, K, Tr, Gs and Ci on Pn in spring. **【Results】** Compared with CK, Pn of the tea plants under the NPK treatment is increased by 9.70%. The Tr values under the P2, P3 and NPK treatments are significantly increased by 10.60%, 14.92% and 14.25%, respectively, and Gs under the NPK treatment is significantly increased by 23.15%. Gs exhibits the same variation trend with Tr, and they have significant correlation. Ci is increased with the increase of nitrogen fertilizer, phosphorus fertilizer or potassium fertilizer amounts, while WUE is decreased. The contents of N and P in new shoots under the NPK treatment are higher, and the content of P in new shoots is lower than the contents of N and K in the same treatment. The path analysis shows that the contents of P, Ci and Gs have greater direct effects to Pn, and the direct coefficients are 0.3688, −0.8139 and 0.4677, respectively. $Pn = 12.955 + 26.624P - 0.087Ci + 38.233Gs$. The contents of amino acid, Thea, Asp, Thr, Ser, and Cys are significantly increased by 27.88%, 26.60%, 35.78%, 35.06%, 24.41% and 24.41%, respectively. **【Conclusions】** The Pn of the tea plants is improved by the contents of P and Gs, but Ci has some subduction to Pn. The combined application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers significantly improves Gs of the tea plants, ensures a higher P content in new shoots, and further improves Pn. The combined application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers also improves the quality of the spring tea by significantly increasing the contents of amino acid and components, which indicates that the contents of amino acid and components are improved by nitrogen, phosphorus and potassium nutrition. These results provide a theoretical guidance for fertilization of nitrogen, phosphorus and potassium. Therefore, the combined application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers can improve the yield and quality of the spring tea in tea gardens.

Key words: nitrogen; phosphorus and potassium; photo-biological characteristics; amino acid components; spring tea; tea plant

氮磷钾是植物生长必需的矿质元素,是植物进行光合作用的物质基础,茶树利用光能合成自身生长所需要的碳水化合物,其生物产量的90%～95%是光合作用的产物[1-4]。春季是茶园生产中的主要采收季节,春茶品质全年最优,其产量占全年茶树产量的30%以上,而产值一般占全年茶园产值的70%左右,而且名优绿茶主要集中在春季生产,因此春茶的产量及品质直接关系到茶园生产的经济效益。近年来,围绕茶树氮、磷、钾营养的研究主要集中在氮、磷、钾肥的施用对茶叶产量及品质的影响和茶树对氮、磷、钾营养需求及吸收特性等方面[5-11],关于茶树光合作用的研究也多以茶树内部因素和生态因子为对象[12-16],在合理施肥以改善春季茶树光能利用率方面的研究较少。

氨基酸是茶叶中的主要化学成分之一,是反映茶叶品质高低的重要指标,特别是某些氨基酸组分与茶叶的口感及香气关系密切,是构成茶叶品质的极其重要的成分。研究表明,NH_4^+-N可显著提高茶叶中的茶氨酸、精氨酸以及丝氨酸含量[17],钾对茶叶独特含量的茶氨酸有特别的影响[18],但是在氮、磷、钾肥配施对春茶氨基酸及其组分含量的影响研究极少。目前为追求茶园高产盲目施肥、滥用化肥造成生态环境破坏的现象较为严重[19-22],因此迫切需要对茶园的平衡施肥[23]和精准施肥进行研究,特别是氮、磷、钾肥的合理施用,对茶园生产和茶叶产量及品质的提高具有十分重要的意义。

本文在氮、磷、钾不同水平及其配比下研究了氮、磷、钾肥对春茶光合生理及氨基酸及其组分含量的影响,并通过逐步回归分析,探讨了不同施肥处理下茶树新梢氮、磷、钾含量与光合生理指标的内在关系,为合理施肥,提高春茶产量和改善春茶品质提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验茶园位于雅安市雨城区金广合作社,试验地为平地。该地区属亚热带湿润季风气候,年均降水量 1732 mm,年均气温 16.1℃,年日照率为 23%,土壤为黄壤土。0—20 cm 土层土壤有机质含量 29.4 g/kg、全氮 1.69 g/kg、全磷 0.52 g/kg、全钾 15.8 g/kg、速效氮 173.9 mg/kg、速效磷 7.67 mg/kg、速效钾 135.8 mg/kg、pH 值 5.5。

供试茶树品种为福鼎大白茶,七年生。

1.2　试验设计与实施

试验采用单因子试验设计,共设 14 个处理。氮、磷、钾各设 3 个水平,为 N1、N2、N3、P1、P2、P3、K1、K2、K3;氮磷钾配比设 NP、NK、PK、NPK 4 个处理,另设不施肥对照 CK。每个处理 3 次重复,随机区组排列,共计 42 个小区,小区面积为 9 × 1.5 = 13.5 m^2,小区间设保护行。具体施肥量见表 1。氮、磷、钾肥分别用尿素[$CO(NH_2)_2$,含氮 46.4%],普过磷酸钙[$Ca(H_2PO_4)_2$,含 $P_2O_5$13%]和硫酸钾(K_2SO_4,含 K_2O 51%)。氮肥分上年冬季和来年春季施入,其比例为 3∶4,磷、钾肥上年冬季一次性施入[4]。施肥采用沟施,施肥沟宽 10 ～ 15 cm,深 15 ～ 25 cm,施肥后用土覆盖。

表 1　试验地各处理施肥量(kg/hm^2)

Table 1　Fertilizer rate in different experimental fields

处理 Treatment	施肥量 Fertilizer rate					
	冬季 Winter			春季 Spring		
	尿素 $CO(NH_2)_2$	普过磷酸钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	硫酸钾 K_2SO_4	尿素 $CO(NH_2)_2$	普过磷酸钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	硫酸钾 K_2SO_4
N1	22.5	0	0	30.0	0	0
N2	45.0	0	0	60.0	0	0
N3	67.5	0	0	90.0	0	0
P1	0	37.5	0	0	0	0
P2	0	75.0	0	0	0	0
P3	0	112.5	0	0	0	0
K1	0	0	37.5	0	0	0
K2	0	0	75.0	0	0	0
K3	0	0	112.5	0	0	0
NP	45.0	75.0	0	60.0	0	0
NK	45.0	0	75.0	60.0	0	0
PK	0	75.0	75.0	0	0	0
NPK	45.0	75.0	75.0	60.0	0	0
CK	0	0	0	0	0	0

1.3　测定项目与方法

待试验茶园各小区茶树新梢长至 1 芽 3 叶时,采 1 芽 2 叶新梢,100℃蒸汽杀青后,烘干,即为蒸青样,用于全氮、全磷、全钾含量和氨基酸总量及其组分的测定。

氮采用凯氏定氮法、磷采用钒钼黄比色法、钾采用原子吸收分光光度法测定[24]。氨基酸总量用 GB-T8314-2002 法测定;氨基酸组分采用氨基酸自

动分析仪,按照 GB/T 5009.124-2003 测定。

光合指标测定:采用美国 Li-COR 公司生产的 Li-6400 便携式光合测定仪,在各处理每小区选取三片当年生光照良好、长势较一致的新梢顶芽下第5片成熟功能叶片进行测定。测定时间为2013年4月16日上午10:00,天气晴朗,按N1、N2、N3、P1、P2、P3、K1、K2、K3 、NP、NK、PK、NPK 的顺序依次测定。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理,用 DPS 7.05 统计分析软件进行差异显著性检验(LSD 法)、相关分析和通径分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对茶树光合生理指标的影响

2.1.1 对茶树叶片胞间 CO_2 浓度(Ci)的影响 从图1可以看出,随着氮、磷、钾肥单施量的增加 Ci 呈上升趋势,在各自最大施用量(N3、P3 和 K3)时达到峰值,且显著高于对照处理。氮磷钾配施处理下的 Ci 的大小顺序为 PK > NK > NPK > CK > NP,其中 PK 处理与 CK 差异显著。N3、P3 、K3 和 PK 处理的 Ci 分别比对照提高了8.37%、7.66%、7.65%和5.07%。说明单施一定量的氮、磷、钾肥或磷钾肥配施均可显著提高茶树叶片的胞间 CO_2 浓度。

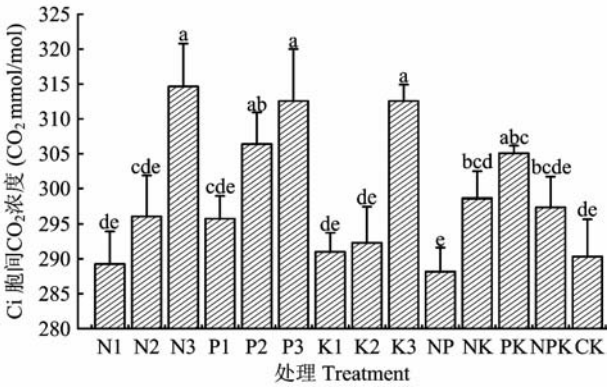

图1 不同施肥处理对茶树胞间 CO_2 浓度(Ci)的影响

Fig.1 Effects of different fertilizer treatments on Ci of tea plants

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达5%水平 Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level.]

2.1.2 对蒸腾速率(Tr)和气孔导度(Gs)的影响 图2显示,P2、P3 和 NPK 处理的 Tr 显著增加,分别比对照处理高10.60%、14.92%、14.25%。Tr 随着磷肥施用量的增加而上升,其他各处理与对照差异不显著。说明单施适量磷肥和氮磷钾肥配施均可显著提高茶树叶片的蒸腾速率。

NPK 处理的 Gs 显著增加,比对照高23.15%,其他各处理与对照无显著差异。Gs 随不同施肥处理的变化表现出与 Tr 较一致的趋势,相关分析表明,Gs 和 Tr 存在极显著的相关性,相关系数为0.734。

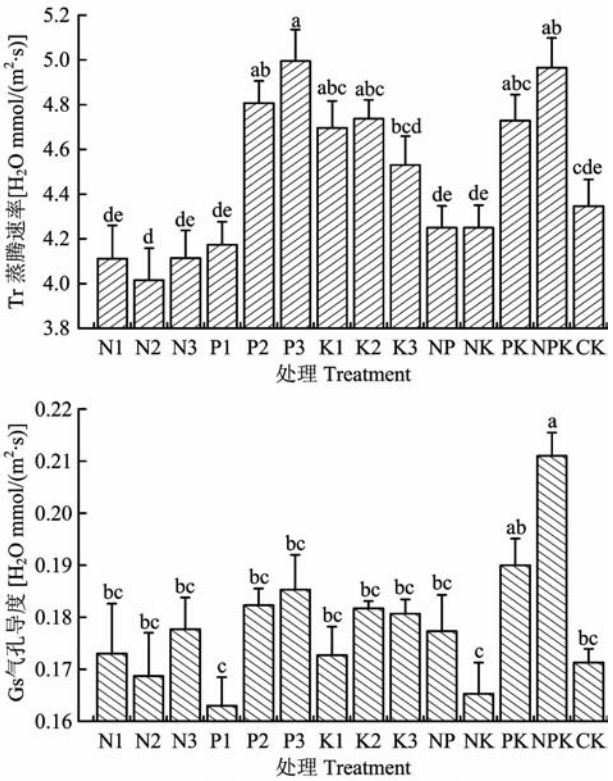

图2 不同施肥处理对茶树叶片蒸腾速率(Tr)和气孔导度(Gs)的影响

Fig.2 Effects of different fertilizer treatments on Tr and Gs of tea plants

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达5%水平 Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level.]

2.1.3 对茶树净光合速率(Pn)及水分利用效率(WUE)的影响 表2结果表明,NPK 处理的净光合速率在所有14个处理中最高,达9.41 CO_2 μmol/(m^2·s),比 CK 高9.70%。Pn 随着氮肥施用量的增加,呈下降趋势,其中 N2 和 N3 处理的 Pn 显著低于 CK,表明单施氮肥超过一定量反而会降低茶树的净光合速率。单施磷肥的 P1、P2 和 P3 处理的 Pn 显著低于 CK,说明磷肥单施对茶树的光合速率有一定的抑制作用。钾肥单施各处理,随钾肥施用量的增加 Pn 呈下降的趋势,其中 K1 处理的 Pn 为最高,但与 CK 的差异不显著。NP 和 NPK 处理的 Pn 显著高于 NK 和 PK 处理,NPK 处理下 Pn 最高,

表 2　不同施肥处理对茶树 Pn 和 WUE 的影响

Table 2　Effects of different fertilizer treatments on Pn and WUE of tea plants

处理 Treatment	净光合速率 Pn [CO_2 μmol/(m^2·s)]	水分利用效率 WUE (CO_2 μmol/mmol,H_2O)
N1	8.65 ±0.04 ab	2.11 ±0.08 a
N2	7.29 ±0.86 cde	1.81 ±0.16 bcde
N3	6.43 ±1.43 e	1.58 ±0.40 def
P1	6.42 ±0.41 e	1.55 ±0.14 efg
P2	6.68 ±0.67 e	1.39 ±0.15 fg
P3	6.43 ±0.23 e	1.29 ±0.06 g
K1	7.92 ±0.53 bc	1.69 ±0.14 cde
K2	7.81 ±0.60 bcd	1.67 ±0.28 cdef
K3	6.94 ±0.35 de	1.53 ±0.11 efg
NP	8.89 ±0.02 a	2.09 ±0.05 ab
NK	7.78 ±0.21 bcd	1.84 ±0.14 abc
PK	7.85 ±0.24 bcd	1.66 ±0.10 cdef
NPK	9.41 ±0.33 a	1.90 ±0.09 abc
CK	8.57 ±0.26 ab	1.98 ±0.14 ab

注(Note):Pn—净光合速率 Net photosynthetic rate; WUE—水分利用效率 Water use efficiency. 同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

由此可以看出,氮磷钾配施可提高茶树的净光合速率。有研究表明,氮、磷、钾的缺乏或过量均会引起植物光合速率的下降[25-28]。这说明,与氮、磷、钾肥单施相比,氮磷钾配施更有利于提高茶树的光合效率。

水分利用效率(WUE)是基于叶片生理水平,即单位水量通过叶片蒸腾散失时所形成的有机物的量[29],它取决于叶片净光合速率与蒸腾速率的比值,反映了茶树利用水分的能力[30]。不同施肥处理下茶树的水分利用效率如表 2 所示,可以看出,N1、NP 处理茶树的 WUE 高于对照,表现出较高的水分利用效率,其余各处理均低于对照。

随着氮肥单施量的增加,茶树的 WUE 反而下降,N3 处理的 WUE 比 CK 低 20.28%,差异显著;P1、P2、P3 处理茶树的 WUE 均显著低于 CK,分别比 CK 低 21.65%、29.69%、34.78%。K1、K2、K3 处理茶树的 WUE 也显著低于 CK 处理,比 CK 分别降低 14.54%、15.77%、22.46%。而 NP、NK 和 NPK 处理茶树的 WUE 与 CK 无显著差异。表明氮肥和磷肥配施有助于保持茶树对水分的利用效率,氮、磷、钾肥单施会降低茶树的水分利用效率,其原因可能与茶树净光合速率受到抑制和蒸腾速率的增加有关。

2.2　不同施肥处理下茶树新梢的养分含量,Tr,Gs 和 Ci 对茶树 Pn 的逐步回归与通径分析

从表 3 可以看出,NPK 处理茶树新梢的氮、磷含量较高,K3 处理茶树新梢中钾含量最高,但相同施肥处理的磷含量低于氮、钾含量。通过逐步回归分析建立的 Pn 的回归方程为 $Pn = 12.955 + 26.624P - 0.087Ci + 38.233Gs$ ($F = 37.5763$, $P < 0.05$, $R = 0.9584$, $d = 1.4314$),表明新梢磷含量、气孔导度和胞间 CO_2 浓度是影响净光合速率的主要因素,其中,新梢磷含量和气孔导度对净光合速率的提高有直接的促进作用,而胞间 CO_2 浓度对净光合速率有一定的消减作用。胞间 CO_2 浓度(Ci)的直接通径系数($Pyxi = -0.8139$)最大,气孔导度(Gs)的直接通径系数($Pyxi = 0.4677$)次之,磷的直接通径系数($Pyxi = 0.3688$)最小。磷、胞间 CO_2 浓度与净光合速率(Pn)的相关系数分别为 0.514 和 -0.700,达到显著或极显著水平(表 4)。气孔导度通过胞间 CO_2 浓度对净光合速率的间接通径系数($Pyxij$)较大为 -0.2196,胞间 CO_2 浓度通过气孔导度对净光合速率的间接通径系数($Pyxij$)为 0.1259,

表 3　不同施肥处理下茶树新梢氮、磷、钾含量(%)

Table 3　The contents of N, P and K in new shoots of different fertilizer treatments

处理 Treatment	氮含量 N content	磷含量 P content	钾含量 K content
N1	5.22 ±0.04	0.52 ±0.06	1.78 ±0.15
N2	5.32 ±0.13	0.52 ±0.003	1.71 ±0.04
N3	5.39 ±0.18	0.54 ±0.01	1.69 ±0.04
P1	5.07 ±0.05	0.50 ±0.03	1.67 ±0.06
P2	4.90 ±0.38	0.50 ±0.03	1.57 ±0.03
P3	5.09 ±0.32	0.50 ±0.04	1.68 ±0.06
K1	5.18 ±0.07	0.51 ±0.03	1.62 ±0.15
K2	5.26 ±0.16	0.51 ±0.01	1.74 ±0.15
K3	5.01 ±0.02	0.52 ±0.02	1.81 ±0.04
NP	5.23 ±0.02	0.52 ±0.001	1.73 ±0.001
NK	5.25 ±0.12	0.53 ±0.02	1.66 ±0.06
PK	4.93 ±0.39	0.53 ±0.06	1.70 ±0.16
NPK	5.46 ±0.06	0.54 ±0.01	1.66 ±0.05
CK	5.11 ±0.08	0.54 ±0.01	1.67 ±0.08

表4 新梢氮磷钾含量、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度对茶树净光合速率的逐步回归与通径分析

Table 4 Regression and path analyses of the contents of N, P and K in new shoots, Tr, Gs and Ci on Pn

项目 Item	相关系数 Relative correlation						通径系数 Path coefficient			
	P	K	Ci	Gs	Tr	Pn	直接作用 Direct effect (*Pyxi*)	间接作用 Indirect effect (*Pyxij*)		
								P	Ci	Gs
N	0.431	0.141	-0.258	0.148	-0.268	0.391				
P		0.271	-0.032	0.256	-0.213	0.514*	0.3688		0.026	0.1193
K			-0.015	-0.029	-0.324	0.152				
Ci				0.270	0.277	-0.700**	-0.8139	-0.0118		0.1259
Gs					0.734**	0.341	0.4677	0.0493	-0.2196	
Tr						0.048				

注(Note): *—$P=0.05$; **—$P=0.01$.

说明气孔因素以气孔导度通过影响胞间 CO_2 浓度对茶树净光合速率产生作用为主,这与童贯和[31]不同钾水平对小麦旗叶光合速率日变化影响的研究结果相似。磷通过气孔导度对净光合速率的间接通径系数(*Pyxij*)为0.1193,表明磷可通过影响气孔导度而对净光合速率产生作用。

2.3 不同施肥处理对春茶氨基酸总量及组分含量的影响

氨基酸总量及组分含量是衡量茶叶品质的重要指标,对茶叶口感和香气具有重要的影响。春茶是全年品质最好的茶叶,春茶的氨基酸总量及组分含量的高低直接决定春茶的品质,尤其是茶叶独有的茶氨酸。表5显示,NK处理的茶叶氨基酸总量和谷氨酸含量分别比对照提高了15.41%、19.83%,差异显著。N3和K2处理的茶叶谷氨酸含量显著提高,比对照分别提高18.13%、18.41%。而NPK处理的春茶氨基酸总量、茶氨酸含量和各组分含量(Glu除外)是所有处理中最高的,氨基酸总量、茶氨酸、天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸和胱氨酸含量分别比对照提高27.88%、26.60%、35.78%、35.06%、24.41%和24.41%,差异显著。说明氮磷钾配施有利于提高春茶氨基酸总量及组分含量,从而提高春茶的品质,春茶中氨基酸总量和茶氨酸等重要组分含量的提高是氮、磷、钾营养共同作用的结果。

3 讨论与结论

氮、磷、钾作为茶树生长的必需大量矿质元素,对春季茶树的光合生理和春茶品质均有一定的影响。适量的氮肥单施可提升茶树的净光合速率,而磷肥和钾肥单施对提高茶树净光合速率的效果不明显,单施过量甚至有抑制作用。有研究表明,氮素过量会导致植物叶绿素含量、有机物同化力、酶含量及活性的下降[26]。在对冬小麦的研究中发现,磷素过量会使旗叶的净光合速率、蒸腾速率等光合生理指标下降[27]。钾素的过量会导致叶绿体含量、ATP含量降低并使光合磷酸化受阻,从而降低光合速率[28]。

茶树光合生理的各项指标之间存在较为复杂的联系,影响因素众多,导致同一种施肥处理对不同指标的影响不完全一致。研究表明,单施适量氮肥可显著提升茶树叶片胞间 CO_2 浓度,却不能提高叶片的蒸腾速率和气孔导度;单施磷肥提高了茶树叶片胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率,却显著降低了茶树的净光合速率;单施钾肥使茶树的水分利用效率显著降低,却有利于提高茶树叶片的胞间 CO_2 浓度。氮磷钾配施对提高茶树叶片胞间 CO_2 浓度的作用不如单施氮、磷、钾肥的处理,但却可显著提高茶树新梢叶片的气孔导度和保证茶树新梢中较高的磷含量,从而有利于增强茶树的净光合速率和水分利用效率。植物净光合速率和水分利用效率是光合生理的综合结果[32-33],能综合反映茶树的光合性能。本研究通过茶树新梢氮、磷、钾含量以及蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度对茶树净光合速率的逐步回归分析,表明新梢叶片中的磷含量、胞间 CO_2 浓度以及气孔导度对茶树光合作用有较大的直接作

表 5　不同施肥处理对春茶氨基酸总量及组分含量的影响(%)

Table 5　Effects of different fertilizer treatments on the contents of amino acid and components of spring tea

处理 Treatment	氨基酸总量 Amino acid	天冬氨酸 Asp	苏氨酸 Thr	丝氨酸 Ser	谷氨酸 Glu
N1	4.98 ±0.14 bcd	2.30 ±0.49 abc	0.42 ±0.08 abc	0.64 ±0.13 bcde	1.89 ±0.21 abcd
N2	4.71 ±0.56 cd	1.85 ±0.10 c	0.34 ±0.04 c	0.62 ±0.04 bcde	1.88 ±0.14 abcd
N3	5.06 ±0.17 bcd	2.22 ±0.05 abc	0.39 ±0.03 bc	0.66 ±0.07 abcde	2.09 ±0.06 ab
P1	4.45 ±0.31 d	1.88 ±0.02 c	0.37 ±0.03 bc	0.58 ±0.06 cde	1.80 ±0.01 cd
P2	4.80 ±0.31 cd	2.01 ±0.39 bc	0.38 ±0.04 bc	0.54 ±0.05 e	1.73 ±0.02 d
P3	5.28 ±0.46 bc	2.19 ±0.12 abc	0.39 ±0.02 bc	0.67 ±0.01 abcde	2.02 ±0.04 abc
K1	5.27 ±0.28 bc	2.65 ±0.35 ab	0.46 ±0.071ab	0.70 ±0.09 abc	1.92 ±0.001 abcd
K2	5.33 ±0.44 bc	2.48 ±0.54 abc	0.44 ±0.10 abc	0.75 ±0.06 ab	2.09 ±0.26 ab
K3	4.92 ±0.35 bcd	2.24 ±0.16 abc	0.42 ±0.02 abc	0.56 ±0.09 de	1.72 ±0.08 d
NP	5.25 ±0.16 bc	2.19 ±0.06 abc	0.40 ±0.01 bc	0.62 ±0.06 bcde	1.82 ±0.18 bcd
NK	5.51 ±0.13 ab	2.45 ±0.18 abc	0.42 ±0.04 abc	0.70 ±0.01 abc	2.12 ±0.06 a
PK	5.07 ±0.13 bcd	1.86 ±0.02 c	0.36 ±0.05 bc	0.68 ±0.04 abcd	1.94 ±0.18 abcd
NPK	6.10 ±0.19 a	2.77 ±0.07 a	0.52 ±0.001 a	0.79 ±0.06 a	1.97 ±0.21 abcd
CK	4.77 ±0.26 cd	2.04 ±0.65 bc	0.39 ±0.09 bc	0.64 ±0.01 bcde	1.77 ±0.02 cd

处理 Treatment	丙氨酸 Ala	缬氨酸 Val	胱氨酸 Cys	亮氨酸 Leu	茶氨酸 Thea
N1	0.34 ±0.08 abc	0.27 ±0.12 ab	0.64 ±0.13 bcde	0.35 ±0.14 ab	12.17 ±1.12 abc
N2	0.31 ±0.01 c	0.14 ±0.07 b	0.62 ±0.04 bcde	0.19 ±0.09 b	12.43 ±1.09 abc
N3	0.39 ±0.02 abc	0.20 ±0.02 b	0.66 ±0.07 abcde	0.25 ±0.04 b	12.38 ±0.96 abc
P1	0.33 ±0.01 abc	0.17 ±0.03 b	0.58 ±0.06 cde	0.22 ±0.03 b	10.96 ±0.52 c
P2	0.32 ±0.02 bc	0.21 ±0.10 b	0.54 ±0.05 e	0.27 ±0.14 ab	11.55 ±0.75 bc
P3	0.41 ±0.10 ab	0.18 ±0.02 b	0.67 ±0.01 abcde	0.24 ±0.02 b	12.77 ±1.004 abc
K1	0.38 ±0.02 abc	0.34 ±0.14 ab	0.70 ±0.09 abc	0.42 ±0.20 ab	12.89 ±0.04 abc
K2	0.39 ±0.02 abc	0.28 ±0.19 ab	0.75 ±0.06 ab	0.34 ±0.28 ab	13.01 ±0.26 abc
K3	0.35 ±0.02 abc	0.30 ±0.06 ab	0.56 ±0.09 de	0.38 ±0.09 ab	11.30 ±2.86 bc
NP	0.37 ±0.05 abc	0.23 ±0.03 ab	0.62 ±0.06 bcde	0.29 ±0.01 ab	12.89 ±3.05 abc
NK	0.41 ±0.04 ab	0.25 ±0.01 ab	0.70 ±0.01 abc	0.30 ±0.01 ab	14.03 ±0.41 ab
PK	0.34 ±0.01 abc	0.14 ±0.09 b	0.68 ±0.04 abcd	0.16 ±0.11 b	12.40 ±0.47 abc
NPK	0.42 ±0.08 a	0.44 ±0.06 a	0.79 ±0.06 a	0.55 ±0.04 a	14.80 ±0.75 a
CK	0.35 ±0.01 abc	0.24 ±0.21 ab	0.64 ±0.01 bcde	0.28 ±0.27 ab	11.69 ±0.79 bc

注(Note):同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

用,是茶树光合作用的重要影响因素,其中新梢磷含量与茶树净光合速率呈显著正相关,对净光合速率的提高有直接的促进作用。相同施肥处理下磷在茶树新梢中的含量虽少于氮和钾,但其生理功能不能忽视,茶树的许多生理过程,不仅是光合作用,而且呼吸作用及生长发育等都需要磷的参与,尤其是体

内的各种酶促反应和能量传递与磷素的关系很大[34]。但是,由于本试验茶园土壤磷含量相对较低,对试验结果可能有一定的影响。

氮、磷是氨基酸合成的重要元素,氨基酸是茶树氮代谢的产物,其含量与组成以及其降解和转化的产物都直接影响茶叶的品质。张文锦[9]指出,茶树鲜叶含氮量与鲜叶及成茶氨基酸含量呈高度正相关。茶氨酸是茶叶中特有的氨基酸,与绿茶滋味等级的相关系数达0.787～0.876[35],它的合成需要ATP供给能量,而磷是合成ATP的重要元素。本研究表明,氮磷钾肥配施能显著提高春茶氨基酸总量及其组分含量,从而提升春茶的品质,春茶中氨基酸总量和茶氨酸等重要组分含量的提高是氮、磷、钾营养共同作用的结果。因此,氮、磷、钾肥的配合施用可以提高茶园茶叶的产量和品质。

参考文献:

[1] Richards R A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops [J]. Phyton-international Journal of Experimental Botany, 2000, 51: 447-458.

[2] Kuang T Y, Lu C M, Li L M. Photosynthetic efficiency of crops and its regulations [M]. Jinan: Scientifical and Technological Press, 2004. 58-89.

[3] Jiang G M, Han N B, Bai K Z *et al*. Chain of correlation between variables of gas exchange and potential in different winter wheat cultivars[J]. Photosynthetica, 2000, 38: 227-232.

[4] 杨亚军. 中国茶树栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
Yang Y J. Chinese tea cultivation [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005.

[5] 杜旭华. 氮素形态对茶树生长及氮素吸收利用的影响[D]. 南京: 南京农业大学博士学位论文, 2009.
Du X H. Research on the effect of nitrogen form on growth physiology and nitrogen absorption-utilization in four tea varieties [D]. Nanjing: PhD dissertation of Nanjing Agricultural University, 2009.

[6] 刘秀敏. 氮素形态对茶树生理特性和茶叶品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学硕士学位论文, 2009.
Liu X M. Effects of nitrogen forms on the physiological characteristics of tea plant and tea leaf quality[D]. Zhengzhou: MS thesis of Henan Agricultural University, 2009.

[7] 苏有健. 不同氮营养水平对茶叶产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1430-1436.
Su Y J. Effects of nitrogen fertilization on yield and quality of tea [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(6): 1430-1436.

[8] 唐劲驰. 初投产茶园氮磷钾配比施用与产量、品质的关系研究[J]. 茶叶科学, 2011, 31(1): 11-16.
Tang J C. Relations between tea yields & quality and applied ratio of NPK fertilizers in the initial production tea garden[J]. Journal of Tea Science, 2011, 31(1): 11-16.

[9] 张文锦. 鲜叶氮磷钾含量与乌龙茶品质关系的研究[J]. 福建茶叶, 1992, (3): 16-19.
Zhang W J. Research on oolong tea quality relationship with the content of nitrogen, phosphorus and potassium in fresh leaves[J]. Tea in Fujian, 1992, (3): 16-19.

[10] 阮建云, 吴洵. 土壤水分与供钾水平对茶树生长和产量的影响[J]. 土壤通报, 1997, 28(5): 232-234.
Ruan J Y, Wu X. Effects of soil humidity and potassium fertilization on growth and yield of tea plant[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1997, 28(5): 232-234.

[11] 阮建云, 吴洵. 茶园土壤钾素容量、强度关系及施用钾、镁肥的影响[J]. 茶叶科学, 1996,16(2): 93-98.
Ruan J Y, Wu X. Potassium quantity-intensity relationship(Q/I) in tea soils and the influence of potassium and magnesium application on it[J]. Journal of Tea Science, 1996, 16(2): 93-98.

[12] 林金科, 赖明志, 詹梓金. 茶树叶片净光合速率对生态因子的响应[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 404-408.
Lin J K, Lai M Z, Zhan Z J. Response of net photosynthetic rate to ecological factors in tea leaves[J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(3): 404-408.

[13] 林金科, 赖明志. 影响茶树叶片净光合速率的生态生理因子的初步分析[J]. 作物学报, 2000, 26(1): 110-115.
Lin J K, Lai M Z. Preliminary analysis for the relationship between eco-physiological factors and net photosynthetic rate of tea leaves[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(1): 110-115.

[14] 肖润林, 王久荣, 汤宇, 等. 高温干旱季节遮阳网覆盖对茶园温湿度和茶树生理的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(3): 251-255.
Xiao R L, Wang J R, Tang Y *et al*. Effects of covering with outer shading screens on temperature, moisture and tea tree physiology during hot-dry season in tea plantation[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24 (3): 251-255.

[15] 杨书远, 张庆国, 李伟, 等. CO_2 浓度升高对茶树光合速率影响的初步研究[J]. 中国农业气象, 2005, 26(2): 90-94.
Yang S Y, Zhang Q G, Li W *et al*. Effect of CO_2 concentration increasing on the photosynthetic rate of Camellia sinensis[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(2): 90-94.

[16] 韦朝领, 江昌俊, 陶汉之, 等. 茶树叶片光合作用的光抑制及其恢复研究[J]. 安徽农业大学学报, 2003, 30(2): 157-162.
Wei C L, Jiang C J, Tao H Z *et al*. Photo inhibition and recovery of photosynthesis in leaves of Camellia Sinensis[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2003, 30(2): 157-162.

[17] 程启坤, 阮宇成, 王月根, 等. 绿茶滋味品质的化学鉴定法[J]. 茶叶科学, 1985, (1): 7-17.
Cheng Q K, Ruan Y C, Wang Y G *et al*. Chemical evaluation of green tea taste[J]. Journal of Tea Science, 1985, (1): 7-17.

[18] Ruan J Y, Wu X, Ye Y. Effect of potassium, magnesium and

sulphur applied in different forms of fertilizers on free amino acid content in leaves of tea (*Camellia Sinensis* L)[J]. Journal of Food Agriculture and Environment, 1998, (76): 389-396.

[19] 全为民, 严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J]. 生态学报, 2002, 22(3): 291-299.
Quan W M, Yan L J. Effects of agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(3): 291-299.

[20] 郑良勇. 农业施肥与生态环境[J]. 热带农业科学, 2004, 24(5): 56-59.
Zheng L Y. Fertilizer application and ecology environment[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2004, 24(5): 56-59.

[21] Yagi K, Minami K. Effect of organic matter application on methane emission from Japanese paddy fields[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1990, 36: 599-610.

[22] Wang Z P. Methane production from anaerobic soil amended with rice straw and nitrogen fertilizer[J]. Fertilizer Research, 1992, (3): 115-120.

[23] 庞庆, 王益谦. 农田生态系统养分平衡及其面源污染研究—以四川省为例[J]. 中国环保产业, 2004, (6): 17-19.
Pang Q, Wang Y Q. Nutrients balance of farm eco-system and its non-point source pollution[J]. China Environmental Protection Industry, 2004, (6): 17-19.

[24] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis (Third edition)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.

[25] 廖克波, 潘启龙, 黄松殿, 等. 氮磷钾配比对油楠幼苗光合生理特性的影响[J]. 南方农业, 2013, 44(4): 611-615.
Liao K B, Pan Q L, Huang S D *et al*. Effects of N, P and K formula on photosynthetic physiological properties of Sindora seedling[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(4): 611-615.

[26] 蔡瑞国, 张敏, 戴忠民, 等. 施氮水平对优质小麦旗叶光合特性和籽粒生长发育的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 49-55.
Cai R G, Zhang M, Dai Z M *et al*. Effects of nitrogen application rate on flag leaf photosynthetic characteristics and grain growth and development of high-quality wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(1): 49-55.

[27] Fredeen A L, Raab T K, Rao I M. Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in Glycine max (L.) Merr[J]. Planta, 1990, 181: 399-405.

[28] 郑炳松, 蒋德安, 翁晓燕, 等. 钾营养对水稻剑叶光合作用关键酶活性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(5): 489-494.
Zheng B S, Jiang D A, Weng X Y *et al*. Effects of potassium on the contents and activities of Rubisco, Rubisco activase and photosynthetic rate in rice leaf[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & life science), 2001, 27(5): 489-494.

[29] Yu G R, Wang Q F, Zhuang J. Modelling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration[J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 16(3): 303-318.

[30] 王会肖, 刘昌明. 作物水分利用效率内涵及研究进展[J]. 水科学进展, 2000, 11(1): 99-104.
Wang H X, Liu C M. Advances in crop water use efficiency research[J]. Advance in Water Science, 2000, 11(1): 99-104.

[31] 童贯和. 不同供钾水平对小麦旗叶光合速率日变化的影响[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 547-553.
Tong G H. The effect of different levels of potassium nutrition on the diurnal variation of photosynthetic rates of wheat flag leaves [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(4): 547-553.

[32] Hui D F, Luo Y Q, Cheng W X *et al*. Canopy radiation and water-use efficiencies as affected by elevated CO_2[J]. Global Change Biology, 2001, 7: 75-91.

[33] Xu L K, Hsiao T C. Predicted versus measured photosynthetic water use efficiency of crop stands under dynamically changing field environments[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(407): 2395-2411.

[34] 庄晚芳. 茶树生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1984.
Zhuang W F. Tea physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1984.

[35] 宛晓春. 茶叶生物化学(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
Wan X C. Tea biochemistry (Third edition)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008.