

茶园土壤镁供应状况及镁肥施用效果研究

阮建云¹,管彦良²,吴 洵¹

(¹ 中国农业科学院茶叶研究所,杭州 310008; ²浙江省台州市黄岩区林业特产局,318020)

摘要:对取自我国茶叶主产区浙江等7省共287个土壤样品交换性镁含量的分析表明,0~20 cm和20~40 cm土层含量低于40 μg/g的比例分别为57.9%和64.0%,并表现自北向南逐渐降低的特征。不同茶园土壤非交换性镁的释放强度(5次1 mol/L中性NH₄OAC连续提取量)与其总量(1 mol/L HNO₃煮沸提取)呈显著正相关($r=0.678^{**}$, $n=17$)。在浙江等地进行的田间试验(土壤交换性镁含量20~69 μg/g)表明,施镁平均增产茶叶5.7%。施镁增加茶叶游离氨基酸含量,增加范围1.2%~16.8%,平均7.0%,这可能与施镁显著增强硝酸还原酶活性,从而改善对氮素的吸收和利用能力有关。

关键词: 茶叶;镁;产量;品质;红壤

Status of Mg Availability and the Effects of Mg Application in Tea Fields of Red Soil Area in China

RUAN Jian-yun¹, GUAN Yan-Liang, WU Xun^{1,2}

(¹ Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008;

² Forest Administrative Bureau, Huangyan District, Taizhou 318020)

Abstract: A total number of 287 soil samples were collected from 7 major tea producing provinces of red soil area in China and the exchangeable Mg content was analyzed. The soils with exchangeable Mg below 40 μg/g accounted for 57.9% and 64.0% of the total samples in the surface soil (0-20 cm) and subsoil (20-40 cm), respectively, exhibiting a zonal distribution with their values declining gradually from the northern to the southern tea growing provinces. The release magnitudes of non-exchangeable Mg by serial extraction of NH₄OAC after removal of exchangeable form correlated positively ($r=0.678^{**}$, $n=17$) with their total contents extracted by boiling 1 mol/L HNO₃ for 10 min. In 5 field experiments (exchangeable Mg 20-69 μg/g), the results showed that Mg application either as Kieserite (MgSO₄·H₂O) or Sul-Po-Mag (containing 22% K₂O, 11% MgO and 22% S) increased tea yield by a mean of 5.7%. The concentration of free amino acids was increased averagely by 7.0% through Mg application, which in a pot experiment was showed to be associated with enhanced nitrate reductase activity in tea plant with sufficient Mg supply.

Key words: Tea; Magnesium; Yield; Quality; Red soil

茶叶是我国重要的经济作物,目前种植面积超过100万ha,主要分布于我国南方的热带和亚热带地区。这些地区成土母质风化程度高,土壤镁的含量相对较低。自20世纪80年代以来报道,在南方地区的粮食作物、油料作物、经济作物、蔬菜、水果等

施镁肥有不同程度的增产效果^[1,2]。由于茶树系聚铝作物,在茶树枯枝落叶中含有大量的铝,随枯枝落叶回归土壤后,造成铝在茶园土壤中累积^[3],并与土壤胶体上的镁交换,易造成镁的淋溶损失。笔者对茶园土壤与非茶园土壤的比较研究表明,茶园土

收稿日期:2001-10-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30170553);国际钾肥研究所(IPI)、加拿大钾磷研究所(PPIC)和浙江省“151”人才基金资助项目

作者简介:阮建云(1966-),男,浙江温岭人,副研究员,硕士,主要从事茶树营养与施肥研究。Tel: 0571-86650542; Fax: 0571-86590059; E-

mail: ruanjy@yahoo.com

壤的交换性镁含量明显低于非茶园土壤^[4]。日本、斯里兰卡、印度等产茶国家通常推荐使用镁肥或含镁的白云石粉来纠正茶园缺镁症^[5~7],我国也有零星报道茶园施镁效果^[8]。本文通过对我国主要产茶省份土壤交换性镁含量和非交换性镁释放特性、盆栽和大田试验施用镁肥对茶叶产量和品质成分及其代谢影响的研究,旨在为我国茶园施肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 土壤样品

1.1.1 我国主要产茶省份茶园土壤交换性镁含量状况 土壤样品取自我国茶叶主要产区的浙江、安徽、江苏、湖南、湖北、广西、福建等7省共287个点,分表土(0~20cm)和心土(20~40cm),部分样点为0~15cm和15~30cm。以1 mol/L NH₄OAC浸提-等离子体发射光谱仪测定交换性镁的含量。

1.1.2 茶园土壤非交换性镁的释放特性 利用NH₄OAC(pH7)连续浸提方法研究我国茶园土壤非

交换性镁的释放特性。土壤样品取自我国典型茶园表土,其基本性质见表1。茶园土壤以NH₄OAC振荡交换去除交换性镁后,再以1 mol/L NH₄OAC震荡浸提30 min,在2 000 r/min下离心,倒出浸提液,重复浸提5次,累计5次提取量为非交换性镁释放强度。非交换性镁总量用1 mol/L HNO₃煮沸提取10 min,减去交换性镁量,提取液中的镁用原子吸收分光光度计测定。

1.2 盆栽试验

盆栽试验土壤取自本所茶园,含有机质4.23 g/kg,pH 5.2,含75%砂、15%粉粒和10%粘粒,交换性镁含量12 μg/g。每盆装土2.16 kg,种植3株无性系中茶102茶苗。经1年均匀生长之后,选择生长一致的茶苗进行以下试验:(1)在3月份,按0、200、400、600和800 μg MgO/g的用量设置5个镁水平(硫酸镁),同时每盆施1.0g N,1.0 g P₂O₅,1.0g K₂O

表1 茶园土壤交换性镁、非交换性镁及NH₄OAC连续提取的释放强度

Table 1 Exchangeable, non-exchangeable Mg and its release by serial extraction of NH₄OAC in tea soils

编号 No.	取样地点 Sampling site	土壤类型 Soil type	母质 Parent material	pH	有机质 O. M. (g/kg)	交换性镁 Ex Mg (μg/g)	非交换性镁总量 Non Ex Mg (μg/g)	非交换性镁释放强度 Released non Ex Mg (μg/g)
1	广西桂林 Guilin, Guangxi	砖红壤 Laterite	石灰岩 Lime stone	4.6	10.7	10.8	63.5	12.4
2	广西桂林 Guilin, Guangxi	砖红壤 Laterite	石灰岩 Lime stone	4.3	12.7	37.6	58.0	13.4
3	湖南祁阳 Qiyang, Hunan	红壤 Red earth	第四纪红土 Quaternary red clay	4.9	11.4	70.5	62.6	26.0
4	湖南衡山 Hengshan, Hunan	红壤 Red earth	第四纪红土 Quaternary red clay	4.8	21.9	21.8	145.0	14.0
5	江西秀谷 Xiugu, Jiangxi	红壤 Red earth	红沙岩 Red sandy stone	5.0	16.9	14.1	73.7	12.0
6	江西上饶 Shangrao, Jiangxi	红壤 Red earth	第四纪红土 Quaternary red clay	4.8	10.4	79.8	342.7	17.3
7	浙江兰溪 Lanxi, Zhejiang	红壤 Red earth	第四纪红土 Quaternary red clay	4.8	10.6	58.5	67.8	16.9
8	浙江绍兴 Shaoxing, Zhejiang	红壤 Red earth	花岗岩 Granite	3.8	9.2	12.3	193.3	16.2
9	浙江嵊县 Shengxian, Zhejiang	红壤 Red earth	玄武岩 Basalt	4.9	14.1	14.1	64.6	13.0
10	贵州松桃 Songtao, Guizhou	黄壤 Yellow earth	花岗岩 Granite	5.0	17.9	132.9	534.6	27.1
11	江苏金坛 Jingtian, Jiangsu	黄棕壤 Yellow brown earth	下蜀系黄土 Loess	5.2	18.0	202.5	987.5	28.5
12	江苏溧阳 Liyang, Jiangsu	黄棕壤 Yellow brown earth	下蜀系黄土 Loess	5.2	10.8	78.6	821.4	19.6
13	安徽郎溪 Langxi, Anhui	黄棕壤 Yellow brown earth	下蜀系黄土 Loess	5.0	15.7	42.3	517.7	13.3
14	安徽宣城 Xuancheng, Anhui	黄棕壤 Yellow brown earth	下蜀系黄土 Loess	5.1	16.1	24.8	777.7	14.0
15	湖北枣阳 Zhaoyang, Hubei	黄棕壤 Yellow brown earth	花岗岩 Granite	5.0	24.3	181.8	758.2	30.5
16	湖北保康 Baokang, Hubei	黄棕壤 Yellow brown earth	板页岩 Plate shale	5.0	10.3	235.8	1821.7	33.5
17	山东日照 Rizhao, Shandong	棕壤 Brown earth	片麻岩 Gnesis	5.2	17.8	91.6	1404.4	22.8

(尿素、过磷酸钙、硫酸钾)。生长 7 个月后,取全株,烘干、称重,并取 1 芽 2 叶供游离氨基酸分析;(2) 设对照(CK)和施镁(+Mg)处理,施镁处理加硫酸镁(以 MgO 计)500 $\mu\text{g/g}$,氮、磷、钾每盆用量同试验(1)。养分于 10 月施入,生长 7 个月后,取 1 芽 2 叶和根系,按常规方法分析游离氨基酸含量^[9],另取 1 芽 1 叶按文献[10]方法分析硝酸还原酶活性。

1.3 田间试验

田间试验选择在我国主要茶类(绿茶、红茶和乌龙茶)产区茶园中进行,分别设于中国农业科学院茶叶研究所(绿茶)、广东省农业科学院茶叶研究所(红茶)、福建省安溪县芦田茶场(乌龙茶)、浙江嵊县和绍兴县茶场(绿茶)。试验地交换性镁含量见表 2。

设对照(CK)和施镁(+Mg)2 个处理。在前 3 个试验点,镁肥为硫酸镁($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$),用量 35 kg MgO/ha。氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)用量分别为 300 kg/ha、150 kg/ha 和 150 kg/ha,施用尿素、过磷酸钙和硫酸钾,分 3 次于春、夏、秋茶季之前施入。在后 2 个试验点,镁肥为硫酸钾镁肥($\text{Su} \cdot \text{P} \cdot \text{Mg}$,含 22% K_2O 和 11% MgO),用量 42 kg MgO/ha,以硫酸钾将所有处理的钾用量调至 85 kg K_2O /ha,氮(N)、磷(P_2O_5)用量分别为 150 kg/ha 和 80 kg/ha,施用尿素、过磷酸钙。小区面积 30~40 m^2 ,重复 3 次。按处理、重复计产,并于春和秋茶期间取鲜叶制成蒸青样供内含物分析。蒸青鲜叶中的游离氨基酸、茶多酚和咖啡碱按常规方法测定^[9]。

表 2 镁对茶叶产量(鲜叶)的影响

Table 2 Fresh leaf yield of tea as influenced by Mg application in field experiments

试验地点 Location	试验时期 Duration (年)	交换性镁含量 Ex Mg ($\mu\text{g/g}$)	施镁量 MgO (kg/ha)	对照平均产量 Average CK yield (t/ha)	施镁平均产量 Average + Mg yield (t/ha)	平均增产 Average increase (t/ha)
广东英德 Yingde, Guangdong	1993~1996	20	35	20.71	21.65	0.94
浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang	1993~1996	62	35	9.23	9.79	0.56
福建安溪 Anqi, Fujian	1992~1993	35	35	7.69	8.00	0.31
浙江绍兴 Shaoxing, Zhejiang	1996~1997	69	42	3.32	3.48	0.16
浙江嵊县 Shengxian, Zhejiang	1996~1997	48	42	20.25	21.57	1.32

2 结果与分析

2.1 我国红壤茶园土壤镁供应状况

2.1.1 茶园土壤交换性镁含量和分布特征 对我国主要产茶省茶园的调查表明,多数茶园(约 80%)的交换性镁含量在 10~80 $\mu\text{g/g}$ 之间,交换性镁含量低于 40 $\mu\text{g/g}$ 土样所占的比例在表土和心土分别为 57.9%和 64.0%(表 3),其平均含量分别仅为 19.3

$\mu\text{g/g}$ 和 19.0 $\mu\text{g/g}$,其中表土的交换性镁含量通常高于心土。分类统计表明,我国茶园土壤交换性镁含量自北向南逐渐降低,表现出明显的地带性特征(表 4),因此,缺镁土壤主要分布于南方地区或土壤质地偏砂性以及一些老茶园。这一结果反映了我国土壤的自然分布规律造成的母质、粘土矿物等的不同,同时也反映了茶园物质与养分循环特性和淋溶作用造成镁损失的强度与降水之间的关系。

表 3 我国主要产茶省茶园土壤交换性镁含量分布¹⁾

Table 3 Distribution profile of exchangeable Mg content in tea soils from main tea producing provinces

土层 Depth	项目 Item	交换性镁含量 Exchangeable Mg ($\mu\text{g/g}$)				Total
		<20	20~39	40~79	≥ 80	
表土 Surface soil	频率 Frequency (%)	34.2	23.7	23.0	19.1	100.0
	平均值 Mean ($\mu\text{g/g}$)	13.0	28.3	58.9	162.8	56.1
心土 Subsoil	频率 Frequency (%)	35.9	29.1	17.5	17.5	100.0
	平均值 Mean ($\mu\text{g/g}$)	12.1	27.6	55.6	182.3	54.0

¹⁾ 总计 287 个样点,部分样点表土、心土分别为 0~15 cm 和 15~30 cm

Total 287 samples. At part of the sites surface soil and subsoil were taken from 0-15 cm and 15-30 cm, respectively

表 4 我国茶园土壤交换性镁含量的地带性分布特征

Table 4 Content of exchangeable Mg in different soil types of tea gardens in China

茶园土壤类型 Type of soil	棕壤 Brown earth	黄棕壤 Yellow-brown earth	红壤 Red earth	赤红土 Lateritic red earth	砖红壤 Laterite
含量变幅 Range ($\mu\text{g/g}$)	88.4 ~ 215.4	9.2 ~ 316.2	1.8 ~ 288.4	3.9 ~ 248.0	4.4 ~ 124.8
平均 Mean ($\mu\text{g/g}$)	125.4	94.2	35.3	22.3	17.1

2.1.2 茶园土壤非交换性镁的释放特性 虽然非交换性镁是土壤镁的重要组成部分,但其释放特性所知甚少,对此我们利用 NH_4OAC 连续浸提的方法进行了研究,主要结果见表 1。供试的 17 个土壤样品取自不同的茶园,基本代表了我国茶园土壤的主要类型。土壤交换性镁含量范围为 $2 \sim 240 \mu\text{g/g}$,其中半数左右在 $40 \mu\text{g/g}$ 以下,以砖红壤或红壤的交换性镁含量较低。非交换性镁的总量为 $60 \sim 2000 \mu\text{g/g}$,一般红壤和砖红壤的含量低于 $100 \sim 200 \mu\text{g/g}$,而黄棕壤和棕壤的非交换性镁总量高于红壤和砖红壤。采用 NH_4OAC 连续提取 5 次时,非交换性镁在第 3 次浸提过程中有一较大的释放高峰(图 1),这可能是由于这些土壤中原被固定或以矿物态存在的镁历经多次提取后得以逐步释放,并在历经 2 次提取后形成释放高峰。非交换性镁释放强度与其总量有关,二者呈显著正相关($r = 0.678, P = 0.003^{**}$),因此,不同土壤非交换性镁的释放强度(累计 5 次提取量)有较大差异(表 1),在砖红壤和红壤中的数量比较有限,通常每次提取的量低于 $3 \sim 5 \mu\text{g/g}$,而在棕壤和黄棕壤中非交换性镁的总量比较高,它的释放强度也相对较大(图 1)。土壤中的非交换性镁能为 NH_4OAC 逐步提取,说明它是茶园土壤镁素的潜在供源,可以缓慢释放为茶树生长所利用。

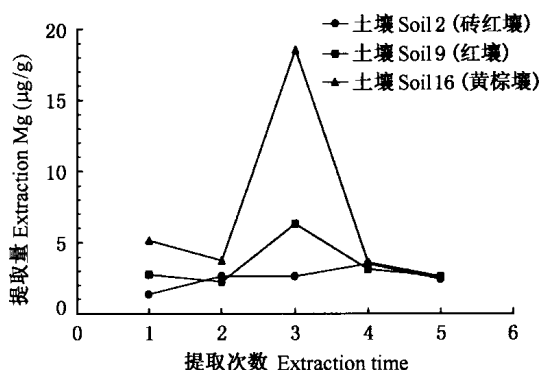


图 1 茶园土壤非交换性镁的释放特性

Fig. 1 Release of non-exchangeable Mg by serial extraction with mol/L NH_4OAC

2.2 镁营养对茶树生长和硝酸还原酶活性的影响

盆栽试验(1)的结果表明(图 2),随着镁用量的

增加,茶树的生物量随之增加,在镁用量为 $600 \mu\text{g/g}$ 时达到最大,但是在镁用量为 $800 \mu\text{g/g}$ 时,生物产量则有所下降,茶树新梢的游离氨基酸含量也表现出类似的趋势。盆栽试验(2)的结果(表 5)进一步表明施镁后,根部的游离氨基酸含量有增加的趋势,但施镁主要影响叶片中的游离氨基酸含量。施镁显著增强了硝酸还原酶的活性,说明供镁能改善茶树对硝酸根的吸收和代谢能力。

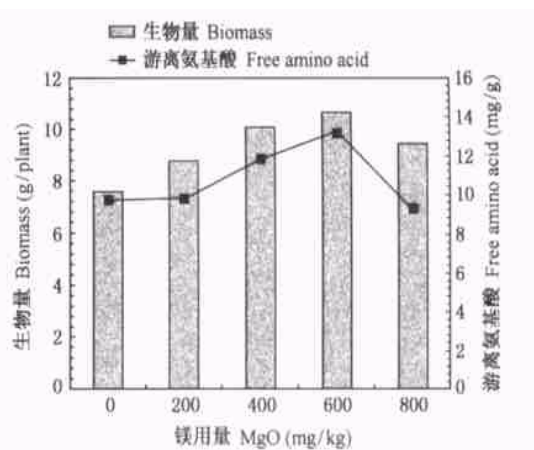


图 2 镁供应状况对茶树生物量和游离氨基酸含量的影响

Fig. 2 Effect of Mg rates on biomass and free amino acids in tea

2.3 镁对茶叶产量和品质成分的影响

大田试验茶园土壤交换镁的最初含量为 $20 \sim 69 \mu\text{g/g}$,连续 2~4 年 5 个点的结果表明,施镁对茶叶产量的增产幅度为 $0.1\% \sim 8.1\%$,平均增产 5.7% (表 2)。

游离氨基酸、茶多酚和咖啡碱是对茶叶品质有重要影响的成分,它们的含量随试验地点和茶季的不同而异,这主要是由于受取样时间、品种特性和生长条件等的影响。比较施镁与对照处理(表 6),施镁显著增加茶叶的游离氨基酸的含量,增加范围 $1.2\% \sim 16.8\%$,平均 7.0% 。施镁有降低茶多酚含量的趋势,但在各试验点的表现不尽一致,变量范围为 $-13.9\% \sim +2.6\%$,平均 -2.1% 。施镁趋于增加咖啡碱的含量,范围为 $-1.3\% \sim +16.6\%$,平均 3.0% 。

表 5 镁营养对茶树生长、氨基酸含量和硝酸还原酶活性的影响¹⁾

Table 5 Biomass, nitrate reductase activity and concentration of a amino acid as influenced by Mg nutrition

处理 Treatment	生物量 Biomass (g/plant)	叶片游离氨基酸 Free amino acid in leaves (mg/g)	根部游离氨基酸 Free amino acid in roots (mg/g)	硝酸还原酶活性 Nrase activity ($\mu\text{mol NO}_2^-/\text{gFW}\cdot\text{h}$)
CK	27.4b	11.12b	3.92a	317.1b
+ Mg	33.8a	13.24a	4.20a	391.3a

¹⁾ 每列字母同为“a”,表示差异不显著,“a”与“b”表示差异显著。

a occurred in the same rank means no difference; a and b occurred in the same rank means the difference is significant.

表 6 镁肥对茶叶中游离氨基酸、茶多酚和咖啡碱含量的影响

Table 6 The concentrations of free amino acid, polyphenols and caffeine in tea from field experiments

试验地点 Site	取样时间 Sampling time	氨基酸 Free amino acid			茶多酚 Polyphenols			咖啡碱 Caffeine		
		CK (mg/g)	+ Mg (mg/g)	镁肥效果 Mg effect(%)	CK (mg/g)	+ Mg (mg/g)	镁肥效果 Mg effect(%)	CK (mg/g)	+ Mg (mg/g)	镁肥效果 Mg effect(%)
广东英德 Yingde, Guangdong	1993 年春茶 Spring tea,1993	27.92	29.77	+6.2	265.3	257.7	-2.9	37.90	37.91	0
	1993 年秋茶 Autumn tea,1993	12.56	13.78	+8.8	254.3	223.2	-13.9	27.12	27.06	-0.2
	1996 年春茶 Spring tea,1996	20.17	21.58	+6.5	316.4	316.4	0	37.50	38.76	+3.2
浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang	1996 年秋茶 Autumn tea,1996	20.50	20.75	+1.2	327.5	335.3	2.3	32.16	38.58	+16.6
	1993 年春茶 Spring tea,1993	30.71	32.47	+5.4	266.4	262.6	-1.4	36.19	37.36	+3.1
	1993 年秋茶 Autumn tea,1993	14.20	15.40	+7.8	241.8	239.4	-1.0	29.12	31.30	+7.0
福建安溪 Anxi, Fujian	1994 年春茶 Spring tea,1994	21.90	22.80	+3.9	-	-	-	-	-	-
	1994 年秋茶 Autumn tea,1994	9.90	11.90	+16.8	-	-	-	-	-	-
	1993 年春茶 Spring tea,1993	27.85	28.18	+1.2	251.3	235.9	-6.5	37.68	38.49	+2.1
浙江嵊县 Shengxian, Zhejiang	1993 年秋茶 Autumn tea,1993	9.75	11.62	+16.1	259.5	250.5	-3.6	24.95	25.56	+2.4
	1996 年春茶 Spring tea,1996	21.80	23.10	+6.0	268.7	266.1	-1.0	22.8	22.5	-1.3
	1996 年秋茶 Autumn tea,1996	18.90	20.10	+6.3	265.4	272.4	+2.6	19.7	19.9	+1.0
浙江绍兴 Shaoxing, Zhejiang	1996 年春茶 Spring tea,1996	32.20	34.50	+7.1	296.5	298.8	+0.7	29.8	29.7	-0.3
	1996 年秋茶 Autumn tea,1996	19.10	19.90	+4.2	298.5	296.6	-0.6	24.1	24.6	+2.1

“-”未测定 Not determined

3 讨论

早先的研究认为土壤交换性镁含量是影响镁肥效果的最主要因子,当交换性镁含量低于 $50 \mu\text{g/g}$ 时,镁肥的效果较显著^[4]。而我们的田间试验结果表明,即使交换性镁含量超过这一数值,施镁肥也取得了显著的增产效果。由于目前尚不能确定茶树缺镁时土壤交换性镁含量的临界水平,如按照 $40 \mu\text{g/g}$

来计算,我国主要产茶地区的红壤茶园中缺镁的比例达到了 60% 左右。除了考虑交换性镁的含量外,非交换性镁作为镁的潜在供源也需要予以重视。通过培养试验,李伏生发现土壤非交换性镁释放量与非交换性镁量没有多少关系^[11],但是本文结果却与此有所不同。我们利用 NH_4OAC 连续浸提方法表明非交换性镁可以缓慢释放,且其供应强度与其在土壤中的总量呈正相关,因此,对非交换性镁的生物

有效性还需要进行进一步的研究。

不同茶类如红茶、绿茶或乌龙茶的品质特征各不相同,对鲜叶中游离氨基酸、茶多酚以及咖啡碱等化学成分含量的要求也不尽一致,因此施肥对茶叶品质的影响也因茶类的不同而异。游离氨基酸具有鲜、醇、甜味,是绿茶中起着主导作用的滋味物质,其含量与绿茶的品质呈显著正相关。本项研究表明施镁明显提高游离氨基酸的含量,说明对改善绿茶的品质具有良好的作用,这可能与施镁增强硝酸还原酶活性,从而加强了茶树对硝态氮的利用能力,进而促进茶叶氨基酸的合成有关。据有关研究^[12],乌龙茶品质与鲜叶的茶多酚/氨基酸例(酚/氨)呈显著负相关,随着酚/氨的增加,乌龙茶成茶的品质趋向下降,适宜的酚/氨为 8.0~9.0 之间。施镁使游离氨基酸和咖啡碱的含量有所升高,使乌龙茶鲜叶中的酚/氨更接近于此适宜值,利于提高乌龙茶品质。从总体看镁有降低茶多酚含量的趋势,但在各点的田间试验结果不尽一致,因此对红茶的品质是否产生不利影响尚待进一步研究。由于镁对茶叶产量和生理代谢有重要影响,在缺镁的红茶产区仍然需要补充一定量的镁肥,例如世界上的主要红茶生产国斯里兰卡、印度等都推荐在茶园中施用镁肥^[5~7]。

致谢:感谢中国农业科学院茶叶研究所伍炳华在部分田间试验中给予协助。

References

- [1] Xie J C, et al. Soil magnesium status and prospects for magnesium requirements in South China. *Proceedings of the International Symposium on the Role of Sulphur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition*. Chengdu: Chengdu Science and Technological University Press, 1993: 126 - 134. (in Chinese)
谢建昌,等. 中国南方地区土壤镁素状况与需镁前景. 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术讨论会论文集. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 126 - 134.
- [2] Wang H, et al. Nutrition diagnosis of magnesium in plants and application of magnesium fertilizer. *Soils and Fertilizers*, 2000, (4): 4 - 8. (in Chinese)
汪洪,等. 植物镁素营养诊断及镁肥施用. 土壤肥料, 2000, (4): 4 - 8.
- [3] Ding R X, et al. Biogeochemical cycle of aluminium and fluorine in a tea garden soil system and its relationship to soil acidification. *Acta Pedologica Sinica*, 1991, 28(3): 229 - 236. (in Chinese)
丁瑞兴,等. 茶园-土壤系统铝和氟的生物地球化学循环及其对土壤酸化的影响. 土壤学报, 1991, 28(3): 229 - 236.
- [4] Ma L F, Shi Y Z, Ruan J Y. The pH of soils from tea gardens of Zhejiang, Jiangsu and Anhui Provinces and their variations since year 1990. *Chinese J. Soil Sci.* 2000, 31(5): 205 - 207. (in Chinese)
马立锋,石元值,阮建云. 苏、浙、皖茶区茶园土壤 pH 状况及十年来的变化. 土壤通报, 2000, 31(5): 205 - 207.
- [5] Verma D P, et al. Magnesium nutrition of tea. *United Planters' Association of Southern India Joint Area Scientific Symposium VII (JASS VII)*, Chikmagalur, Karnataka, India. 1998, 51: 12 - 14.
- [6] Obatolu C R. Correction of magnesium deficiency in tea plants through foliar applications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1999, 30: 1649 - 1655.
- [7] Sivapalan P, et al. Supply of magnesium for mature tea in Sri Lanka. *Sri Lanka J. Tea Sci.* 1988, 57: 34 - 39.
- [8] Ma M T, et al. Effect of potassium magnesium sulphate application on soil K balance and tea yield in red soil tea gardens. *Soils*, 1992, 24(6): 306 - 309. (in Chinese)
马茂同,等. 红壤茶园施用钾、镁、硫酸对钾素平衡和茶叶质量的影响. 土壤, 1992, 24(6): 306 - 309.
- [9] Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. *Experimental Manual for Tea Physiology and Biochemistry*. Beijing: Agricultural Press, 1983. (in Chinese)
中国农业科学院茶叶研究所编. 茶树生理及茶叶生化实验手册. 北京: 农业出版社, 1983.
- [10] Wu B H, et al. Activity of nitrate reductase and its control. *China Tea*, 16(2): 16 - 17. (in Chinese)
伍炳华,等. 茶树硝酸还原酶活性及其调控. 中国茶叶, 1994, 16(2): 16 - 17.
- [11] Li F S. Liberation and fixation of magnesium in soils in South China. *Chinese J. Soil Sci.* 1991, 22(3): 115 - 118. (in Chinese)
李伏生. 南方几种土壤镁素释放和固定的初步研究. 土壤通报, 1991, 22(3): 115 - 118.
- [12] Zhang W J, et al. Relationship between the ratio of polyphenols to amino acids with the quality of oolong tea as well as its control. *Commun. Tea Sci.* 1993, (4): 13 - 16. (in Chinese)
张文锦,等. 乌龙茶鲜叶酚氨比与品质的关系及其调控. 茶叶科学简报, 1993, (4): 13 - 16.