

田 甜, 韦锦坚, 陈远权, 等. 茶树的铝、硒、钙营养及互作研究综述[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 29–33.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.007

茶树的铝、硒、钙营养及互作研究综述

田 甜, 韦锦坚, 陈远权, 韦持章, 陈海生

(广西南亚热带农业科学研究所, 广西龙州 532400)

摘要:重点论述了茶树的铝、硒、钙营养特性和钙铝、硒铝互作的研究进展, 并作出相应展望; 对不同茶树品种, 确定不同化学成分生成所需的最适铝浓度范围; 茶树耐铝机理有待进一步探求; 茶树对硒的吸收、转运途径和代谢机制有待进行跟踪和微观深入研究; 研究茶树的硒遗传特性, 以期富硒茶树品种的筛选和选育提供理论基础; 研究钙硒互作对茶叶品质及茶叶中钙硒含量的影响, 以期通过施用适宜配比的钙和硒肥, 提高非富硒地区茶叶硒含量; 探求铝硒钙互作对茶叶品质与茶叶中铝硒钙含量的影响以及互作机制, 对“富硒、低铝、高品质茶叶”的研究具有理论指导意义。

关键词:茶树; 铝; 硒; 钙; 互作; 研究现状; 展望

中图分类号: S571.106; Q945.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0029-04

硒是人体必需微量元素, 具有抗脂质过氧化、清除体内自由基、提高机体免疫功能、抗癌防癌和抗衰老等作用^[1-2]。大量流行病学研究和干预试验结果表明, 硒化合物在癌症预防方面发挥着重要作用^[3]。随着社会经济的发展和人民保健意识的增强, 富硒食品越来越受到关注^[4]。茶树富硒能力较强, 通过饮茶的方式补硒方便易行, 是补硒的有效途径^[5], 但我国天然富硒区域和天然富硒茶产量均有限, 因此在非富硒地区推广富硒技术用于生产加工富硒茶具有很大的市场前景, 对提高茶叶品质和经济价值具有重要意义。茶树是喜铝植物, 合适的铝能促进茶树根系的发育, 但高浓度的铝会抑制茶树生长, 造成铝胁迫^[6-9], 尤其在我国酸雨污染严重的区域, 高铝对茶树的毒害更严重; 茶叶产品中铝含量为 224 ~ 2 633 mg/kg, 茶汤中检测到的铝含量为 0.703 ~ 5.931 mg/L^[10], 铝具有生物毒性, 且在人体内具有积累性, 越来越多的报导认为, 人体积累过多的铝后会加速对钙和磷的排泄而使体内代谢失调, 还有人认为老年性痴呆是铝的毒性所致^[11]。因此, 在保证茶叶生长和品质的同时, 又能控制茶叶中的铝含量已成为了研究的热点。少数研究表明, 高铝条件下, 适宜浓度的钙或硒可以缓解铝胁迫^[12-15], 黄进研究了硒铝互作对茶树抗氧化系统的影响^[15], 但硒铝互作对茶叶品质以及对茶叶硒铝含量的影响等研究尚少, 外源钙对茶树硒吸收与品质的影响研究缺乏, 适量硒或钙缓解茶树铝毒害的机理尚需验证和探究。

本研究阐述了茶树的铝、硒、钙营养特性及钙铝、硒铝互作的研究进展, 并对茶树的铝、硒营养研究和铝硒钙互作进行了展望, 以期富硒茶树品种的筛选和选育、硒与钙及其他养分的配施、“富硒、低铝、高品质茶叶”的研究以及新型硒肥的研发提供一定基础。

收稿日期: 2015-10-21

基金项目: 广西壮族自治区公益性基金(编号: GXNYRKS201609)。

作者简介: 田 甜(1989—), 女, 山西翼城人, 硕士, 助理农艺师, 主要从事植物营养研究。E-mail: tiantian3854@qq.com。

通信作者: 韦锦坚, 高级农艺师, 主要从事茶树品种选育研究。

E-mail: 181993158@qq.com。

1 茶树铝、硒、钙营养特性

1.1 茶树的铝营养特性

茶树喜生于酸性、富含大量交换性铝的土壤中, 土壤交换性铝含量受多种因素影响。研究表明, 交换性铝含量随着 pH 值增加急剧减少; 向茶园提供铵态氮和有机质, 可使土壤交换性铝含量显著增加^[16-17]。茶树叶片中铝含量可达 5 ~ 16 g/kg, 远远高于一般粮食和饲料作物中 200 mg/kg 的平均含量, 是少见的富铝植物。不同叶龄茶叶铝的含量不同, 变化规律一般为老叶 > 成叶 > 嫩叶^[18], 此外, 不同器官之间铝含量的差异表现为叶 > 根 > 茎, 相同器官随着发育的成熟含铝量逐渐增加^[19]。廖万有认为铝元素被茶树根尖吸收有 2 种机制, 一方面可通过与 F⁻ 形成 Al-F 络合物进入根尖细胞, 另一方面可通过与 P 形成 Al-P 络合物被吸收, 后者是茶树吸收铝的主要方式, 而植物对 N、P、K 的需求量较多, 所以茶树吸收大量元素 P 的同时对铝的吸收也较多^[20]。李海生和张志权发现高铝土壤中对于一般作物无效态的磷, 对茶树不一定是无效的, 并得出了铝可以促进茶树根系对磷的吸收和利用, 一定程度上体现了茶树对铝的耐性^[9], 和前人的研究结果^[21-22]一致。铝在茶树体内转移与分布的影响因素较多, 其中土壤 pH 值对茶树体内的铝向幼叶转移有显著影响, 且幼叶铝含量与土壤 pH 值呈显著正相关($r=0.779$)^[23]。

1.2 铝对茶叶品质及抗氧化系统的影响

研究表明, 适宜浓度的铝能促进茶树的生长发育, 促使茶树对营养元素的吸收, 以及提高茶树的生理活性和抗性, 并改善茶叶的品质^[6]。国内外许多学者证明, 适宜浓度的铝能显著提高茶叶中茶多酚、儿茶素类物质、咖啡碱、氨基酸、维生素 C、黄酮类化合物、可溶性糖、香气和叶绿素等主要化学成分含量^[14, 24-28]。马小雪等研究了土壤 pH 值及根部施铝对茶叶品质的影响, 发现根施铝浓度为 0.5 g/kg 时, 茶叶中茶多酚、氨基酸和咖啡碱含量均达到最大, 且土壤中交换性铝含量和 pH 值达到最适宜茶树生长的范围^[23]。黄进发现单铝条件下, 适宜浓度的铝处理后, 过氧化物酶(peroxidase, POD)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶

(catalase, CAT) 3 种酶活性较高, 证明外源适量铝可促进茶树代谢系统的效率^[15]。

外界适宜浓度的铝能促进茶树根的发育, 但高浓度的铝会损伤茶树抗氧化系统, 影响其生长和茶叶品质^[7]。罗亮等通过研究茶树在不同浓度铝处理下的生理响应, 发现高浓度的铝处理 (100 mg/L) 会降低 POD 和 CAT 活性, 提高丙二醛含量^[8]。段小华等发现茶树对低浓度铝适应性是通过提高抗氧化系统酶的活性和一些渗透调节物质 (脯氨酸和可溶性糖) 的含量来实现的, 而高浓度的铝 (30 mg/L) 则损伤茶树抗氧化系统^[29]。但是对于茶叶不同化学成分, 对铝的适宜范围各研究结果不尽相同, 所以有必要通过示踪元素的方法进行进一步研究, 并且茶树的耐铝机理有待进一步确定。

1.3 茶树的硒营养特性

茶树具有较强的富硒能力, 茶树体内 80% 的硒以有机化合物形式存在, 所以茶树是理想的天然富硒资源。钟颜麟等用 DAN 荧光法检测茶树硒的富集形态, 结果表明, 蛋白质硒占 79.25%, 是根茎叶硒的主要积累形式^[30]。高柱等利用氢化物-原子荧光光度法同样证明茶叶中硒主要以有机态的形式存在, 其中主要为蛋白硒, 其次为多糖硒、核酸硒等^[31]。土壤中的硒通过根尖被植物吸收, Anderson 研究结果表明其中硒酸盐与硫酸盐在根尖细胞膜上有相同载体结合位点, 故硒酸盐主要通过硫酸盐载体蛋白进入根尖细胞^[32], 然后通过木质部运往地上部; Li 等研究发现硒酸盐是硒在木质部伤流液中的主要存在状态^[33]。亚硒酸盐存在于偏酸性且还原性较强的土壤中, 主要通过水通道蛋白和磷酸盐载体蛋白被吸收^[34-35], 且大部分硒在根部直接转化后再进入木质部^[33]。

1.4 影响茶叶硒含量的因素

茶叶硒含量受多种因素影响, 其中土壤类型、茶树品种、茶树部位和施肥方式是主要因素^[36]。研究表明, 茶叶中硒含量与土壤中有效态硒含量呈显著正相关, 而土壤中有效态硒含量又受土壤类型影响。沙济琴等研究发现, 不同类型土壤的有效态硒含量大小顺序为砖红壤 > 红黄壤 > 红壤、酸性紫色土^[37]; 刘海燕等研究了影响贵州土壤硒含量的因素, 发现不同茶产地和同一产地不同深度的土壤硒含量差异极显著, 同时发现不同品种茶叶均为新叶硒含量明显高于老叶, 且新叶硒含量与土壤硒含量呈显著正相关^[38]。同一种植土壤上, 不同茶树品种之间茶叶硒含量差异显著。沙济琴等对闽东和闽南茶区的多个品种进行鲜叶硒含量分析, 得出同一立地条件下, 不同茶树品种间鲜叶硒含量差异达 1~4 倍^[37]; 江福英等认为不同品种间调控硒元素吸收、转运、转化、利用的基因型不同, 所以对硒的富集能力不同^[36]。不同茶树器官的硒含量差异明显, 但对于其分布规律尚存在分歧。顾谦等发现, 茶树所有器官中叶片的硒含量最高, 且老叶是嫩叶的 3 倍以上, 认为主要是由于在老叶中形成大分子蛋白质结合态硒, 使硒流动性变小, 从而造成硒在老叶中的积累^[39]; 钟颜麟等通过同位素示踪法研究茶树硒的富集特性, 结果表明, 茶叶中含硒量以老叶最多, 依次为果壳 > 老枝 > 嫩叶 > 根系和种子, 表明茶叶中的含硒量会随新梢的老化而增加^[40]; 江福英等表明茶树各器官硒含量排序为叶片 > 枝干 > 果壳 > 种子 > 根系, 而嫩叶、嫩枝 < 老叶、老枝^[36], 与顾谦等、钟颜麟等的观点一致; 但王雅玲等认为硒元素被根尖吸收后, 优先分配到茶树营养

生长旺盛的叶芽中^[41], 刘海燕等亦通过研究发现不同品种的茶叶均为新叶硒含量明显高于老叶^[38]。另外, 茶叶硒含量还受季节影响, 而茶叶加工过程对茶叶硒含量无影响。

1.5 外源硒对茶叶品质的影响

金建昌等通过盆栽方法, 研究了叶面喷施亚硒酸钠对茶叶中硒含量的影响, 发现叶面喷施亚硒酸钠能明显提高茶叶硒含量, 提高幅度跟亚硒酸钠的喷施浓度有关^[42]。黄进证明单硒作用下, 在低硒浓度下, SOD 活性显著增强, CAT、POD 活性也有所增加; 高硒浓度下 SOD 活性降低, CAT、POD 仍保持较高活性, 茶树生长受到抑制^[15]。胡秋辉等研究了硒生物肥, 并通过叶面喷施, 发现直接由新叶和芽吸收硒而生产的富硒茶叶, 与天然富硒茶叶中硒的化学本质是相同的^[43]。李静通过盆栽方法, 采用叶面喷施和土施 2 种方式研究外源硒肥对茶叶产量及品质的影响, 发现叶面喷施及土施亚硒酸钠 (Na_2SeO_3) 都能提高茶叶产量和硒含量, 并能改善不同采摘期的茶叶品质; 另外, 叶面喷施 Na_2SeO_3 能降低儿茶素的含量, 而土施 Na_2SeO_3 对儿茶素的含量无影响。李静认为施用亚硒酸钠后, Se 很可能提高了茶树体内的谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, GSH-Px) 活性, 缓解了自由基引起的膜脂过氧化作用, 从而提高茶叶产量, 改善茶叶品质^[44]。对于茶树对硒的吸收、转运、转化和利用途径还很模糊, 而且对于茶树的硒遗传特性研究缺乏, 另外, 硒和其他营养元素之间的交互作用尚需进一步研究。

1.6 茶树的钙营养特性

钙能维持细胞膜的稳定性, 维持细胞的正常功能, 从而为各化学品质的合成提供结构基础; 此外, 钙能调节细胞内的酸度, 使同化物质转化和运输正常运行。Ca²⁺ 对茶树根系生理有重要作用, 缺钙会导致 ATP 水解酶活性下降, 当 Ca²⁺ 浓度小于 1 mmol/L 时, ATP 水解酶活性随供钙水平提高而提高^[12]。土壤中的 Ca²⁺ 主要通过质流转移到茶树根表面, Ca²⁺ 进入根系细胞, 在根系中通过横向短距离运输进入木质部。White 研究表明, 钙的吸收主要发生在尚未形成凯氏带的根尖和侧根形成部位^[45], 同时有研究发现部分 Ca²⁺ 可以由此通过离子通道流进内皮层细胞而转入共质体并到达木质部薄壁细胞组织^[46-47], 由木质部薄壁细胞组织进入中柱可能需要 Ca²⁺-ATP 的驱动; 还有一些 Ca²⁺ 由内皮层细胞运出, 沿内皮层内侧的质外体途径进入木质部导管^[45,47]。钙在茶树体内属于难以移动的元素, 故随着器官的老化, 钙难以转移至幼嫩部位, 而在老器官中积累。茶树体内钙含量 (以 CaO 计) 为 2 000~12 000 mg/kg^[48]。在茶树年发育周期中, 4—6 月吸收的钙量占全年的 33%, 7—8 月占 23%^[49]。春梢嫩芽中钙含量 2 000 mg/kg, 秋后老叶 8 000 mg/kg, 落叶达 12 000 mg/kg。不同季节茶梢中钙含量表现为秋梢 > 春梢 > 夏梢^[48]。

1.7 茶树钙吸收的影响因素

影响茶树对钙素吸收的因素主要为土壤 pH 值和钙与其他元素之间的互作。相关研究表明, 土壤 pH 值在 5.0~6.0 时, 最有利于茶树对钙的吸收, 且土壤交换性钙含量随 pH 值升高而增加, 所以茶树对钙的吸收随之上升^[50]。吴洵通过多年的试验研究发现, 茶树各组织中 Ca/Mg 值则随组织老化而增大; 叶中 Ca/Mg 值 > 1, 根中 Ca/Mg 值 < 1; 土壤交换性钙、镁的含量以及钙镁比例均会影响茶树对土壤钙、镁的吸收; 缺

钙、缺镁或两者比例失调,对茶树产量和品质均有显著影响^[51]。有研究证明,施用硫酸铝,可以抑制茶树对钙的过量吸收。夏文娟等通过向土壤施加硫酸铝研究土壤化学性质的变化,发现添加硫酸铝后土壤 pH 值降低,交换性钙含量下降,而且铝与钙素的拮抗作用造成茶树对钙的吸收减少^[52]。

1.8 钙对茶树生长发育的影响

长期以来,茶树一直被认为是嫌钙植物,对钙过量比较敏感。伍炳华通过试验表明,茶树根系对 Ca^{2+} 的亲合力较高,能适应低钙酸性土壤,所以对低钙条件不敏感。茶树的所谓嫌钙是其适应酸性土壤的表现,其对土壤低钙的不敏感正好表明其根系对钙离子具有较强的亲合力或能以某种机理维持在较低供钙水平下的正常生理功能^[12]。申加枝等研究发现高钙离子浓度下,茶苗根尖数显著减少,根系活性降低,且根系表面形成白色粘膜,影响根系对其他养分的吸收,进而影响到茶树新梢中生化成分的合成^[53]。钙过量还会对镁离子的吸收产生拮抗作用,这些都会对茶树的生长发育产生影响^[51]。

2 茶树的钙铝互作研究进展

2.1 钙铝互作对茶树钙铝吸收的影响

段小华等通过研究钙铝互作对茶树钙铝吸收累积的影响,发现外源施加铝会降低根对钙的吸收但不影响茎和叶对钙的积累,而施加钙则会降低茶树各器官对铝的吸收和积累,增加茶叶中的钙含量,对其他矿质元素的吸收和累积则没有影响^[54]。段小华等进一步研究了钙铝互作对茶叶品质的影响,表明营养液在高铝条件下,增加钙的浓度能够增加茶叶各化学品质成分的含量,推断这可能与钙减轻铝对茶树的毒害作用有关^[14]。陈文荣等研究了不同浓度的钙对大豆铝毒的缓解作用,结果表明,150 mg/L 铝胁迫下,大豆植株生物量、根系活力、可溶性糖和可溶性蛋白质含量及 POD 活性显著下降,游离脯氨酸含量显著上升,外源施加适量的钙(320 mg/L)可显著削弱铝毒^[55]。罗虹等采取水培法,研究了不同水平的钙或硅对荞麦真叶期和初花期铝毒害的缓解效应,结果显示,在 Al^{3+} 胁迫下,适宜浓度的钙或硅能完全消除荞麦在初花期 Al^{3+} 对可溶性蛋白质形成的抑制效应,显著提高植株抗逆性,且钙的缓解效果略强于硅。但随着 Al^{3+} 浓度的提高,钙和硅的缓解效应减弱^[56]。李海生等研究不同铝水平下茶对铝及矿质养分的吸收与累积,发现与对照相比,各器官的含钙量下降,认为这可能归因于钙铝的拮抗作用^[9]。伍炳华证明,在 Al^{3+} 存在下, Ca^{2+} 的吸收受到一定抑制,但适宜的 Al^{3+} 可以提高 Ca^{2+} 的营养效率。 Al^{3+} (1 mmol/L 以下)的存在,可以促进缺钙培养的茶苗根系 ATP 水解酶活性,同时 Al^{3+} 可以部分替代钙的作用而提高 ATP 酶活性。在适宜的 Ca^{2+} : Al^{3+} (1.5 : 1.1) 条件下,茶苗根系 ATP 水解酶活性达到最高^[12]。

在茶树栽培上,过量钙毒害可能主要是由于土壤 pH 值过高而造成的,可以适当施用 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$,以降低土壤 pH 值,同时抑制茶树对 Ca^{2+} 的过量吸收;对于过酸的茶园土壤(pH 值 < 4),或活性 Al^{3+} 过高的土壤,可以施加含钙肥料,如石灰、钙镁磷肥或硝酸钙等^[12],在茶园中适当增施钙有助于提高茶叶化学品质,降低茶叶中铝的含量,提高茶叶的安全性^[14]。

2.2 茶树的钙铝互作机制

李航通过室内模拟试验,分析不同钙铝比条件下茶园土壤对铝的吸附特性和活性,发现在介质中铝初始浓度较低时,不同钙铝比的茶园土壤对铝的吸附量差异不明显,即茶园土壤中活性铝含量差异不大;在铝初始浓度较高时,随钙铝比的升高茶园土壤对铝的吸附量明显增加,即随钙量的增加茶园土壤中活性铝的含量下降。李航认为当吸附溶液中加入钙后,钙离子与土壤胶体表面负电荷相作用后被土壤胶体吸附, Al^{3+} 与被土壤吸附的 Ca^{2+} 进行交换后被土壤胶体吸附,所以钙存在情况下可以促进土壤对铝的吸附^[13]。也有研究认为,介质中 Ca^{2+} 浓度增大后,茶树根系吸收的 Ca^{2+} 量增加,由于电荷竞争,对 Al^{3+} 的吸收量减少;另外, Ca^{2+} 与 Al^{3+} 在载体上有相同结合位点,所以施入土壤中的 Ca^{2+} 与 Al^{3+} 会竞争载体,导致茶树根系对 Al^{3+} 吸收量减少^[57-58]。

2.3 铝铝互作对茶树抗氧化系统的影响

茶树适宜在酸性土壤条件下生长,而酸性条件下 Al^{3+} 的溶出增加,容易受到高浓度铝的胁迫效应。硒能提高植物的抗逆性,所以研究硒铝互作对茶树生长具有重要意义。黄进通过研究硒铝互作对几种重要抗氧化酶活性的影响,发现当硒铝都在适宜范围内时,茶树抗氧化性显著提高;当两者都在高浓度范围时, CAT 和 POD 活性较高,而 SOD 活性较低,此时 $\text{O}_2 \cdot$ 大量积累,茶树生长胁迫加剧。在高铝浓度下,适量硒的加入对 3 种酶的活性都有提高作用,说明高铝浓度处理下,加硒能降低茶树受到的铝胁迫^[15]。庞贞武等采用二次正交旋转组合设计,分别建立了水稻的幼苗存活率、地上部和根部鲜重及根脯氨酸含量对外源硒、铝、硅、磷 4 因素的回归模型,通过降维得到幼苗存活率对硒和铝的二元二次回归曲线,分析得出铝胁迫时,硒在 0.478 ~ 0.564 mg/L 时有缓解铝毒效果,但这一浓度范围仅限于对水稻品种金优 725 的研究,对于其他品种,尚待进一步确认^[59]。对于硒铝互作对茶叶品质及茶叶中硒铝含量的影响并未做研究,而且适量硒缓解茶树铝胁迫的机理也未做深入探讨。

3 展望

3.1 对茶树的铝、硒营养研究展望

茶叶中不同化学成分生成所需的介质中铝浓度范围不同,而且不同的品种间也有差异,但目前各研究尚未有统一结果,所以有必要对不同品种,通过建立茶多酚、咖啡碱、游离氨基酸等主要化学成分含量与外源不同铝浓度的回归方程,寻求不同化学成分生成所需的最适铝浓度范围,或者通过示踪元素的方法进行进一步研究,并且茶树的耐铝机理有待进一步探求。茶树为典型的富硒植物,但茶树对硒的吸收、转运途径和代谢机制还很模糊,有待通过同位素示踪法、细胞生物学以及分子生物学的理论和技术进行探究,而且对于茶树的硒遗传特性需深入探讨,以期富硒茶树品种的筛选和选育提供理论基础。另外,硒和其他营养元素之间的交互作用研究缺乏,而且仅局限于对因素交互设计试验宏观结果的简单判断分析,更深入的硒和其他元素间互作机理机制研究报道尚少,新型硒肥的研发也因此受阻。

3.2 对茶树的铝钙互作研究展望

钙是植物细胞膜的构架元素,具有稳定细胞膜结构的功

能,介质中钙含量的增加有利于植物根系对多种元素的吸收。所以在非富硒地区,研究钙硒互作对茶叶品质以及茶叶中钙硒含量的影响很有意义,以期通过施用适宜配比的钙和硒肥,提高非富硒地区茶叶中硒含量。

诸多研究发现,高铝浓度下,添加钙既可以降低茶树对铝的吸收和积累,又可以提高茶叶品质^[12~14,54];加硒能降低茶树受到的铝胁迫^[15,59]。但相关学者仅对硒铝互作在茶树抗氧化系统上的影响作了研究,而对茶叶品质以及茶叶中硒铝含量影响未作探讨,且适量硒或钙缓解铝毒的机理尚需深入研究。所以可以通过随机区组或者二次正交旋转组合设计,初步分析铝硒钙三者的协同拮抗关系,探求铝硒钙互作对茶叶品质与茶叶中铝硒钙含量的影响,并从细胞和分子水平上探究铝硒钙互作机制以及适量硒或钙缓解茶树铝胁迫的机理,这对硒肥与其他养分的合理配施、新型硒肥的研发以及对“富硒、低铝、高品质茶叶”的研究具有理论指导意义。

参考文献:

- [1] 李基文. 微量元素硒与健康的研究进展[J]. 职业卫生与应急救援, 2006, 24(2): 76-79.
- [2] 陈 铭, 刘更另. 高等植物的硒营养及在食物链中的作用(二)[J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 185-188.
- [3] Patrick L. Selenium biochemistry and cancer: a review of the literature[J]. Alten Med Rev, 2004, 9(3): 239-258.
- [4] 陈必铤, 黄 键. 我国富锌和富硒功能食品研究现状[J]. 食品研究与开发, 1999, 20(1): 33-37.
- [5] 杜琪珍, 沈星芳, 方兴汉. 茶叶中的硒成分分析[J]. 茶叶科学, 1991(2): 133-137.
- [6] 郑功宇, 陈寿松, 苏培凌, 等. 铝对茶叶主要化学品质影响的研究进展[J]. 茶叶科学技术, 2013(3): 1-5.
- [7] 林郑和, 陈荣冰. 铝对茶叶叶片抗氧化系统的影响[J]. 热带作物学报, 2009, 30(5): 598-602.
- [8] 罗 亮, 谢忠雷, 刘 鹏, 等. 茶树对铝毒生理响应的研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(2): 305-308.
- [9] 李海生, 张志权. 不同铝水平下茶对铝及矿质养分的吸收与累积[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 186-190.
- [10] Fujita K, Chaudhary M I, Adu - Gyamfi J J, et al. Dinitrogen fixation and growth responses to phosphorus and aluminum application in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1995, 41(4): 729-735.
- [11] McLachlan D R C. Aluminum and the risk for Alzheimer's disease[J]. Environmetrics, 1995, 6(3): 233-275.
- [12] 伍炳华. 铝对茶树根系钙吸收及ATP水解活性的影响[J]. 中国茶叶, 1994(4): 18-19.
- [13] 李 航. 硅钙铝交互作用对茶园土壤铝的吸附能力和活性的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [14] 段小华, 胡小飞, 邓泽元, 等. 茶叶主要化学品质指标和茶树体部分微量元素的钙铝调控效应[J]. 西北植物学报, 2012, 32(5): 988-994.
- [15] 黄 进. 硒对茶树抗氧化系统的影响及其在品种间富集特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [16] 阮建云, 王国庆, 石元值, 等. 茶园土壤铝动态及茶树铝吸收特性[J]. 茶叶科学, 2003, 23(增刊1): 16-20.
- [17] 谢忠雷, 李 航, 汪精华, 等. 外源有机质存在下钙铝交互作用

对茶园土壤铝的吸附能力与活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(2): 293-298.

- [18] Chenery E M. A preliminary study of aluminum and the tea bush [J]. Plant and Soil, 1955(6): 174-200.
- [19] Exley C, Schneidera C, Doucet F J. The reaction of aluminium with silicic acid in acidic solution: an important mechanism in controlling the biological availability of aluminium[J]. Coordination Chemistry Reviews, 2002, 228(2): 127-135.
- [20] 廖万有. 茶生物圈中铝的生物学效应及其研究展望[J]. 福建茶叶, 1995(4): 13-17.
- [21] Konishi S, Miyamoto S, Taki T. Stimulatory effects of aluminum on tea plant grown under low and high phosphorus supply [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1985, 31(3): 361-368.
- [22] Konishi S, Miyamoto S. Stimulatory effect of aluminum on the growth of tea plants with special reference to phosphorus absorption [J]. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1984, 55: 29-35.
- [23] 马小雪, 肖 斌, 闫列娟, 等. 不同酸度下外源铝对茶叶铝含量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(11): 187-191, 196.
- [24] 段小华. 影响茶树铝循环和茶叶品质因素的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2012.
- [25] 杨凌云, 夏建国, 吴德勇. 施铝对川西蒙山茶茶叶品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(20): 6154-6156.
- [26] 黄 媛, 段小华, 胡小飞, 等. 模拟酸雨和铝调控对茶叶主要化学品质与铝积累的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2011, 19(3): 254-259.
- [27] 王小平, 刘 鹏, 罗 虹, 等. 铝氟交互处理对茶叶品质的影响[J]. 茶叶科学, 2009, 29(1): 9-14.
- [28] 郑伟伟, 刘 鹏, 徐根娣, 等. 铝对茶叶叶片主要化学成分的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 822-826.
- [29] 段小华, 胡小飞, 邓泽元, 等. 模拟酸雨和铝添加对茶树生长及生理生化特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(2): 304-310.
- [30] 钟麟麟, 刘勤晋. 茶硒赋存形态的研究[J]. 茶叶科学, 1992(2): 94.
- [31] 高 柱, 蔡芸梅, 彭传斌, 等. 富硒茶叶中硒的赋存形态研究[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(1): 31-33.
- [32] Anderson J W. Selenium interactions in sulfur metabolism[M]//de Kok L J, Stulen I, Rennenberg H, et al. Sulfur nutrition and assimilation in higher plants - regulatory, agricultural and environmental aspects. The Hague, The Netherlands: SPB Academic Publishing, 1993: 49-60.
- [33] Li H F, McGrath S P, Zhao F J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite [J]. New Phytologist, 2008, 178(1): 92-102.
- [34] Zhang L H, Hu B, Li W, et al. OsPT2, a phosphate transporter, is involved in the active uptake of selenite in rice[J]. New Phytologist, 2014, 201(4): 1183-1191.
- [35] Zhang L H, Yu F Y, Shi W M, et al. Physiological characteristics of selenite uptake by maize roots in response to different pH levels[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2010, 173(3): 417-422.
- [36] 江福英, 张文锦. 茶叶中硒积累的研究进展[J]. 茶叶科学技术, 2014(4): 5-9.
- [37] 沙济琴, 郑达贤. 茶树鲜叶含硒量影响因素分析[J]. 茶叶科学, 1996, 16(1): 25-30.

姚礼军,胡志超,王申莹,等.花生收获机收获台研究现状与关键技术分析[J].江苏农业科学,2016,44(12):33-38.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.008

花生收获机收获台研究现状与关键技术分析

姚礼军^{1,2}, 胡志超^{1,2}, 王申莹², 曹明珠², 王冰², 于昭洋²

(1.安徽农业大学工学院,安徽合肥 230036; 2.农业部南京农业机械化研究所,江苏南京 210014)

摘要:收获台在花生联合收获机中起着至关重要的作用,其工作性能的好坏直接影响了机器收获质量以及后续摘果的性能。目前运用在花生联合收获机上的收获台种类形式多样,其中典型代表的是挖-拔组合式(运用在花生联合收获机上)和捡拾式(运用在花生分段联合收获机上)。总结了花生收获台的演进历程和当今国内外花生收获机收获台常见类型,分析不同结构特征,简述其工作原理,找出工作时存在的问题。同时,对农业机械领域可借鉴的相关装置进行剖析和对收获台未来发展提出相应对策与展望,以期能为今后的研究提供参考依据。

关键词:花生;联合收获机;收获台;工作原理;结构特征;设备创新;关键技术

中图分类号: S225.7⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0033-06

我国是世界上种植花生的主要国家之一,种植面积和产量都位于世界前列,但我国的花生收获机械水平较发达国家(如美国)相对滞后,大部分花生种植区主要还是靠人工、半

机械作业收获为主,严重制约了花生生产的发展。近年来,随着人们对机械化生产的渴求以及科研单位水平的提升,花生收获机械有了较为全面的发展,主要类型有分段收获机械和联合收获机械。分段收获是由多种不同设备分别(分段)完成整个收获作业的过程,常用的分段收获设备有挖掘犁、挖掘收获机、摘果机、复收机、捡拾联合收获机等。联合收获是指由1台设备一次完成挖掘、抖土、摘果、清选、集果和秧蔓处理等收获作业,是当前集成度最高的花生机械化收获技术^[1-2]。挖掘捡拾是花生联合收获机的重要作业环节,也是花生联合收获的关键技术,收获台的结构设计、优化以及作业参数选定直接决定了花生收获机的作业性能。目前有关花生

收稿日期:2015-11-17

基金项目:国家现代农业花生产业技术体系项目(编号:CARS-14-机械化装备);中国农业科学院科技创新工程项目;花生智能化高效联合收获关键技术与装备研究项目(编号:2016YFD0702102)。作者简介:姚礼军(1990-),男,安徽安庆人,硕士研究生,研究方向为机械化生产技术与装备。E-mail:1002526216@qq.com。通信作者:胡志超,研究员,博士生导师,研究方向为农业技术装备。E-mail:zchu369@163.com。

[38]刘海燕,黄彩梅,周盛勇,等.茶叶锌、硒含量变化与种植土壤差异的研究[J].植物科学学报,2015,33(2):237-243.

[39]顾谦,赵慧丽,童梅英,等.茶叶中总硒含量及其影响因素的研究[J].生物数学学报,1994,9(5):108-113.

[40]汪智慧,龚加顺,郭向华.茶树硒营养的研究进展[J].土壤肥料,2000(3):3-6.

[41]王雅玲,潘根兴,刘洪莲,等.皖南茶区土壤硒含量及其与茶叶中硒的关系[J].农村生态环境,2005,21(2):54-57.

[42]金建昌,许晓路.叶面喷施亚硒酸钠对盆栽茶叶硒含量的影响研究[J].江西科学,2014,32(1):39-42.

[43]胡秋藩,潘根兴,朱建春,等.硒提高茶叶品质效应的研究[J].茶叶科学,2000,20(2):137-140.

[44]李静.不同肥料品种及其用量对茶叶产量和品质的影响研究[D].雅安:四川农业大学,2005.

[45]White P J. The pathways of calcium movement to the xylem[J]. Journal of Experimental Botany,2001,52(358):891-899.

[46]Cholewa E, Peterson C A. Evidence for symplastic involvement in the radial movement of calcium in onion roots[J]. Plant Physiology, 2004,134(4):1793-1802.

[47]Yang H Q, Jie Y L. Uptake and transport of calcium in plants[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2005, 31(3): 227-234.

[48]姚元涛,宋鲁彬,田丽丽.茶树钙素营养研究进展[J].落叶果树,2011,43(2):37-39.

[49]童启庆.茶树栽培学[M].北京:中国农业出版社,2000.

[50]林智,吴洵,俞永明.土壤pH值对茶树生长及矿质元素吸收的影响[J].茶叶科学,1990(2):27-32.

[51]吴洵.茶树的钙镁营养及土壤调控[J].茶叶科学,1994,14(2):115-121.

[52]夏文娟,张丽霞,向勤程,等.添加硫酸铝对茶园土壤部分化学性质的影响[J].茶叶通讯,2005,32(3):8-11.

[53]申加枝,胡建辉.钙过量对不同茶树品种生化成分的影响差异[J].山东农业科学,2014,46(10):74-76.

[54]段小华,胡小飞,邓泽元,等.钙对铝胁迫下茶树钙铝及部分矿质营养吸收积累的影响[J].江西师范大学学报:自然科学版,2012,36(3):321-325.

[55]陈文荣,刘鹏,徐根娣,等.施钙处理对大豆铝毒缓解作用的研究[J].浙江师范大学学报:自然科学版,2008,31(2):201-207.

[56]罗虹,刘鹏,李淑.硅、钙对水土保持植物荞麦铝毒的缓解效应[J].水土保持学报,2005,19(3):101-104.

[57]Rengel Z. Role of calcium in aluminium toxicity[J]. New Phytologist,1992,121(4):499-513.

[58]Wagatsuma T, Kaneko M. High toxicity of hydroxy-aluminum polymerions to plant roots[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1987,33(1):57-67.

[59]庞贞武,师瑞红,谢国生,等.铝、硒、硅和磷复合处理对水稻幼苗生长的影响[J].应用生态学报,2009,20(6):1375-1382.