

麻竹叶片生理特性研究进展

刘晓颖¹, 江登辉², 殷彪¹, 荣俊冬¹, 陈礼光¹, 郑郁善^{1*}

(1. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002; 2. 福建农林大学园林学院, 福建福州 350002)

摘要 从影响叶片生长的各个因子作为出发点,对麻竹叶片生理特性的影响进行了综述,对麻竹叶片的主要化学成分和逆境下叶片表型变化进行了介绍,探究了不同逆境条件、不同生长期、不同生长条件和不同经营模式对叶片生理特性产生的变化,并对麻竹叶片的研究方向进行了展望,旨在更加清楚了解叶片对于植物的重要性,对麻竹的生长发育和栽培措施有一定的帮助。

关键词 麻竹叶片;生理特性;化学成分;叶片表型;经营管理措施

中图分类号 S 795.5 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)05-0018-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress on Physiological Characteristics of *Dendrocalamus latiflorus* Leaf

LIU Xiao-ying¹, JIANG Deng-hui², YIN Biao¹ et al (1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002; 2. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

Abstract From the various factors that affect the leaf growth as a starting point, the effects of the physiological characteristics of *Dendrocalamus latiflorus* leaves were summarized, the main chemical components of *Dendrocalamus latiflorus* leaves and the changes of the leaf phenotype under stress were introduced, the changes of leaf physiological characteristics caused by different adversity conditions, different growth periods, different growth conditions and different business models were explored, the research direction of *Dendrocalamus latiflorus* leaves was also prospected, in order to better understand the importance of the leaves to the plants, and to some extent help the growth and development and cultivation of *Dendrocalamus latiflorus*.

Key words *Dendrocalamus latiflorus* leaves; Physiological characteristics; Chemical composition; Leaf phenotype; Management measures

麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)是禾本科(Poaceae)竹亚科(Bambusoideae)牡竹属(*Dendrocalamus*)的笋材两用丛生竹,因其笋味道甜美,笋制品颇受喜爱;竹竿高大粗壮,生长速度较快,根系发达^[1],叶面积指数高等特点成为我国南方广泛栽培的竹种之一,广泛应用于生态工程造林,生态和经济效益明显。竹林在维护生态平衡、防止水土流失、涵养水源等方面发挥着重要作用,在生物能源、生物多样性保护、退化土地恢复等方面的潜力日益显现。1998年国家推行天然林保护工程以来,我国便实施了“以竹代木”的战略,竹林更是被广泛栽植,竹类植物较多的成为研究的对象。针对麻竹的研究已见大量报道,而关于麻竹叶片生理特性的研究甚少。麻竹叶片作为竹类重要的营养器官,对植株养分的供给有非常重要的作用,因此叶片生长情况对植株的影响不可忽视,叶片生理能反映叶片生长发育情况。麻竹叶片的生理特性在不同环境条件下的表现具有差异性,通过研究麻竹叶片在逆境条件、不同生境条件、不同发育期、不同养分供给条件、不同经营管理措施下叶片的部分生理特性,如可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素含量、微量元素、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)等变化,来探讨麻竹叶片在生长发育过程中生理特性的变化,为今后更好地研究、广泛造林以及对提高栽培管理水平有重要意义。

1 麻竹叶片主要成分分析

竹叶是竹类植物主要的营养器官之一,通过光合作用产

生有机物为植株提供生长发育所需的部分能量。同时麻竹竹叶中含有多种黄酮类化合物,近年的研究结果指出,麻竹叶片中含有多种天然产物,如酚酸类化合物、挥发油、黄酮类化合物以及萜类等成分^[1]。王淑英等^[2]从麻竹叶中分离化合物,鉴定化合物结构,发现了9个黄酮、2个酚酸、3个萜类以及1个木质素类化合物。麻竹叶具有较高的药用价值,其中的一些成分对抗衰老、抗肿瘤、调节血脂和保护心脑血管等有着很重要的药理功能^[3]。麻竹叶大、宽且厚,气味香溢,而且含有大量的黄酮酚酸、萜醌类化合物、生物活性多糖、香豆素类内酯、特种氨基酸等微量元素等,随着绿色无公害观念日盛普及,绿色的麻竹叶已开始出现替代塑料袋等材料,逐渐受到消费者的青睐,成为粽子及其他包裹食物的主要材料。

2 麻竹叶片逆境生理研究

逆境是指植物所不适应的生长环境,一般包括高温、低温、干旱、水涝、盐害等。在逆境生长条件下植物的生长发育受到影响,植物的形态结构或者生理生化会发生改变,植物体内的各类激素以及相关酶的活性受到不同程度的影响,影响程度与胁迫时间的长短以及胁迫的强度相关,当胁迫强度超过植物的承受范围时植物生长受到严重抑制,甚至导致植株死亡。植物叶片不仅只是营养器官,同时也是植物适应外部环境变化最敏感的器官之一。

2.1 温度对麻竹叶片生理特性的影响 温度对植物的生长发育起着关键的作用,过高或过低都会对植物产生不良影响。生长在我国南方的植物大多都遭受高温逆境胁迫,而低温也是植物生长中常遇到的自然灾害之一^[4]。近年来,温室效应导致全球气温上升,一些极端天气频繁发生,如异常高温和干旱,植物的生长面临高温逆境的严峻挑战。在高温的

基金项目 “十三五”国家重点研发计划(2018YFD0600100)。

作者简介 刘晓颖(1995—),女,福建宁德人,硕士研究生,研究方向:森林培育。*通信作者,教授,博士生导师,从事森林培育研究。

收稿日期 2019-07-23

条件下,酶活性降低,蛋白质变性,叶绿素会被降解且以叶绿素 a 下降最为明显,叶绿体类囊体膜会被破坏,叶绿体的电子传递效率会降低,叶片会积累活性氧,影响光合作用相关蛋白的稳定性,光合作用效能降低,有机物合成速率减缓,同时会导致植物呼吸作用增强或无氧呼吸,有毒物质积累,最终导致叶片衰老死亡^[5]。Kuo 等^[6]以番茄 (*Lycopersicon esculentum*) 为材料,高温逆境胁迫下发现,叶片中脯氨酸水平有所提高。叶绿素合成过程需要大量酶的参与,而低温会抑制酶的活性,从而影响光合色素合成,导致有机物合成受阻。陈始竹等^[7]研究发现,高温胁迫会导致叶绿体内类囊体膜结构和状态发生变化,导致叶绿素降解,影响植物光合作用,有机物合成受阻。张玮等^[8]采用人工室内低温的处理方法,发现麻竹叶片的细胞质膜的透性增加、可溶性糖含量以及可溶性蛋白含量显著增加,POD 酶活性提高,SOD 酶活力却逐渐下降,一些叶片甚至出现枯死现象。应叶青等^[9]选用 3 种不同年龄毛竹 (*Phyllostachys edulis*),研究毛竹在低温状态下生理特性的变化得出,随着温度的变化,毛竹叶绿素含量呈现出先降低后升高再降低的趋势;SOD 活性和 MDA 含量先升高后降低;而 POD 活性为先升高后降低再升高;可溶性蛋白的含量呈先升高后持续降低。

2.2 水分对麻竹叶片生理特性的影响 水分逆境包括水分不足和水分过多两方面,当植物在遭受重度水分胁迫时,植物叶片表型会发生变化,如叶片起皱、卷曲、干枯、产生坏死斑点和过早凋落等。根据李在军等^[10]干旱胁迫试验发现,在干旱胁迫下,细胞膜的过氧化程度减缓,膜的透性和丙二醛含量都呈减少的趋势,细胞中游离脯氨酸的含量呈现出升—降—升的动态变化,叶片含水量下降,光合色素含量等指标也会受到抑制,能利用的可见光范围减小。程许娜等^[11]模拟干旱胁迫测定 2 年生樟树 (*Cinnamomum camphora*) 幼苗叶片的生理生化指标,结果表明,随着干旱程度的加强和胁迫时间的延长,叶片中丙二醛含量增幅先慢后快,SOD 酶活性表现为升—降—升—降的趋势;CAT 酶活性表现为升—降—升的趋势;POD 酶活性、可溶性蛋白呈现出先升后降的变化趋势。同时干旱胁迫会使叶片卷曲、萎蔫、叶片面积变小或者着生角度发生改变^[12];水分过多会产生涝害,这时容易发生植物因根系缺氧而减弱呼吸,进而导致植物死亡^[13]。杨惠敏等^[14]研究发现,随干旱程度的加剧,气孔密度有明显的上升趋势,气孔在叶片上的分布趋向均匀;过高的水分并不能使叶片水分利用率达到最高值,而过低的水分会导致叶片无法正常生长,适量的水分能较好地发挥植物叶片的生理作用。于文颖等^[15]采用不同水分处理玉米叶片光合等生理特性发现,随着含水率的降低,叶片气孔导度、蒸腾速率、光合速率的最高值都提前出现,而最低值与细胞液浓度峰值时间不变,得出在田间持水量为 60% 时,水分利用率最高。

2.3 盐害对麻竹叶片生理特性的影响 盐胁迫对植物叶片的影响主要有:①盐离子大量积累破坏叶绿体结构,叶绿素含量降低,以及对叶绿素酶分解的促进作用,导致植物光合

作用减弱,有机物合成受影响,生长量降低。郑容妹^[16]通过对绿竹 (*Dendrocalamopsis oldhami*)、吊丝单 (*Dendrocalamopsis vario-striata*)、大头典 (*Dendrocalamopsis beecheyana* var. *pubescens*) 的盆栽苗进行盐分胁迫处理发现,在盐胁迫下,叶绿素 a 与叶绿素 b 随着胁迫时间和浓度的增加均呈现出下降的趋势。盐胁迫对竹类植物叶片叶绿素 a+b 含量总体表现为在低浓度盐胁迫时,变化不显著,随着盐胁迫的加深,叶绿素 a+b 含量逐渐下降;同时植物的呼吸作用在低盐度时受到促进,高盐度时受到抑制,呼吸所消耗能量增加,不利于植物生长。②陈松河等^[17]通过不同胁迫强度下叶片保水力变化得出,随着胁迫程度和胁迫时间的增长,叶片的保水力呈现出逐渐下降的趋势,植株鲜重减少,这与戴胜玥等^[18]对溪荪 (*Iris sanguinea*) 叶片进行盐胁迫得出的结论一致。③盐胁迫会加速植物的衰老,植物细胞膜功能受损,有毒代谢产物在细胞体内积累并产生水分胁迫效应,叶片的表型会发生变化,靠近枝条基部叶片叶尖部分的叶缘出现褐色的坏死斑,最后叶缘连成一片,最终导致叶片脱落死亡。

3 不同生境下叶片生理特性的表现

生境是指物种或物种群体赖以生存的生态环境。在不同生境条件下,叶片生理特性有不同的表现。李从娟等^[19]通过研究不同生境条件下荒漠植物叶片一些生理指标发现,生境对植物叶片 N、P 的含量影响不显著,其因物种不同而表现出不同程度的影响。在不同生境情况下同种植物也会有不同的表型,钟悦鸣等^[20]通过对荒漠湿地和绿洲河岸林 2 种不同生境下生长的胡杨叶片进行研究试验,发现生长在荒漠湿地中的胡杨 (*Populus euphratica*) 与生长在绿洲河岸林的胡杨,叶片解剖结构厚度及面积前者显著大于后者,说明在比较恶劣的环境中胡杨会改变叶片结构厚度和叶片面积来适应生长环境。屠臣阳等^[21]对不同生境黄顶菊 (*Flaveria bidentis*) 的 C、N、P 的化学计量特征进行研究,结果表明,在水边生境下生长的黄顶菊叶片中 P、N 含量明显高于农田以及荒地生境条件下生长的黄顶菊,在水边生长的黄顶菊叶片蛋白质以及核酸的合成速率都加快,细胞代谢旺盛,生长速率较快。

4 不同发育期下叶片生理特性的表现

植物生长过程包括苗期、幼年期、壮年期、衰老期这 4 个时期,但大部分植物叶片有年生长周期,一般春夏两季发芽,后逐渐生长发育,一些落叶树种到了秋冬季节便开始凋落。蒋会兵等^[22]通过研究紫鹃茶叶发现,随着叶片的不断发育,其花青素含量先增加后减少,第二叶时达到顶峰,说明叶片在不同发育期间叶片结构基因和调控基因的表达不同,导致花青素的含量产生变化。邱尔发等^[23]通过对不同年龄的麻竹之间阴阳叶的生理特征比较,发现阳叶的 N 元素含量和 P 元素含量都比阴叶更高,差异在发笋初期和中期达到最大值,K 元素含量则是阴叶高于阳叶;发笋初期至末期,阴阳叶中的 K、P、N 含量都逐渐下降,两者差异也在逐渐减小。陈羨德等^[24]对沿海沙地的麻竹进行施肥试验,试验结果表明麻竹叶片在不同发笋期其 N、P、K 含量有明显的差异,但总

体来说均以末期的含量最低。一些果类植物,还因果期的不同,其叶片也存在差异。马建军等^[25]以野生欧李(*Cerasus humilis*(Bge.)Sok.)为试验材料研究发现,在果实发育期时,新梢不同叶位中的主要矿质含量不同,Cu含量增加最为明显,Mn、Ca、Mg的含量逐渐增加,而Fe、Zn、K逐渐下降且Zn下降最为明显;果实成熟增长期新梢中,Cu、Mn、Zn、K的含量则逐渐增加,Fe、Ca含量逐渐下降,Mg的含量却无多大变化。麻竹开花与未开花状态下叶片的性状表现不同,邱尔发等^[23]采用对比的试验方法研究山地的麻竹开花与未开花时叶片的性状,结果表明未开花的麻竹叶片在同化能力等方面要比开花的麻竹更强。在不同发育期内,大多数植物的叶片生理特性的表现都有所差异,这对今后的栽培技术有一定的指导作用,如施肥时可根据不同发育期选择不同含量的元素相互补充。

5 不同经营管理措施下叶片生理特性的表现

在自然界中,植物都是自然生长,但随着社会的发展、科技的进步,越来越多的植物开始进行大量栽培采用人工干预管理措施,从为满足人们的需求为目的出发,探讨出许多不同的经营管理措施,对植物采取不同经营管理措施,其叶片生长特性会发生变化。麻竹常见的经营管理措施包括钩梢、种植密度调控、施肥等。

5.1 钩梢对麻竹叶片生理特性的影响 钩梢是常见的麻竹管理措施之一,植物具有很强的自我修复能力,麻竹在钩梢后,去除顶端优势后,麻竹顶部叶片生物量增加、光合作用增强。童龙等^[26-27]研究表明,钩梢可以增大叶片的光照面积,提高麻竹叶片的光合作用,提升对光能的利用率;以不钩梢为对照,对麻竹设计轻度、中度、重度3种钩梢处理,其中,以中度钩梢最为有效,麻竹叶片的生理特性在中度钩梢时具有明显优势;钩梢对叶片C含量影响较小,在3种钩梢强度中,中度钩梢含量最高,N、P含量呈现显著差异,均高于不钩梢处理,且不同年龄的麻竹在同一钩梢强度下有不同的影响程度。

5.2 栽植密度对麻竹叶片生理特性的影响 麻竹种植密度对麻竹叶片生长最显著的影响就是光照,种植太过密集导致叶片受光面积减小,光合利用率较低,由于光照不足,导致植物叶片生理特性与正常生长状态发生变化。适当的遮阴对于一些植物来说,有助于其生长,Jose等^[28]通过研究栽培密度对苹果养分含量变化的影响,发现遮阴的树叶N、P含量均下降,K含量上升,Ca含量的影响较小,Mg含量随遮阴强度增加而下降。张永强等^[29]研究不同种植密度对小麦叶片叶绿素含量、光合指标、叶绿素荧光特性的影响,结果表明,随着种植密度的增大,小麦的最大光化学效率、实际化学效率、叶绿素含量、蒸腾速率、叶片净光合速率都呈现出先增大后减小的趋势,而胞间CO₂浓度则是先降后升,同时小麦的最终产量也是先增后减。

5.3 施肥对麻竹叶片生理特性的影响 施肥是较为常见且效果显著的一种人工干预措施,主要是为了补充植物生长发育所需的养分,叶片的生理特性往往与养分有关,不同养分

供给环境下,其表现有所不同。史发孟^[30]研究不同养分土壤条件下橡胶树的生长情况发现,不同养分土壤条件对初选优株叶片SPAD和叶绿素荧光参数的影响不同,不同养分土壤条件下,不同品种初选优株叶片SPAD存在差异。荣俊冬等^[31]研究发现,保水剂能增加叶片中的叶绿素含量、可溶性糖以及可溶性蛋白含量,能提高POD、SOD活性,降低MDA含量和电解质渗透率,且在沟施60 kg/hm²效果最佳。养分往往从土壤中获取,所以研究不同养分供给条件下叶片生理特性的表现可从土壤施肥中进行试验研究,而施肥模式与叶片生长关系密切^[32]。常见的施肥方式有传统施肥和配方施肥,现如今施肥通常都是采用配方施肥,对植物所需营养物质进行精准把控,黄莹等^[33]研究发现传统施肥方式不能增加叶片中的营养元素含量,反而随着施肥时间的增加呈现出减少的趋势,并根据不同的施肥处理探索出麻竹施肥的最佳配比(N-P₂O-K₂O=17-8-11),配方施肥能增加叶片当中的多种营养元素,如Ca、Mg、K、Mn、Cu、Zn等含量,该试验探究了叶片营养矿物质元素含量的变化,没能全面地反映出麻竹叶片中营养成分的变化。

6 结论与展望

了解植物叶片生理特性对植物的生长状态有重要的指示作用。植物的生长发育所需能量来自根系及叶片,因此叶片的生长状态对植物的生长有着重要的作用。叶片的表型及叶片中养分含量、各类微量元素以及成分的不同变化对叶片的生长状态有很重要的指示作用。近年来有关竹类植物叶片生理特性的研究较多,但总体而言相对于竹子其他部分而言还是较少的。目前对麻竹叶片生理特性的研究还不够深入,对麻竹叶片生长特性及生理特性的变化规律了解还不是很有透彻,对麻竹叶片机理的研究不足,今后可以从分子方面深入探索,了解叶片生理特性变化的本质。

参考文献

- [1] HE Y J, YUE Y D, FENG T, et al. Chemical compositions and antioxidant capacity of essential oils from different species of the bamboo leaves [J]. *Scientia silvae sinicae*, 2010, 46(7): 120-128.
- [2] 王淑英, 岳永德, 汤锋, 等. 麻竹竹叶的化学成分[J]. *林业科学*, 2013, 49(11): 135-140.
- [3] 陆志科, 谢碧霞. 竹叶化学成分的分析与资源的开发利用[J]. *林业科技开发*, 2003, 17(1): 6-9.
- [4] 杨小飞, 郭房庆. 高温逆境下植物叶片衰老机理研究进展[J]. *植物生理学报*, 2014, 50(9): 1285-1292.
- [5] 于飞. 低温胁迫下圆柏属植物抗氧化系统在叶片中的亚细胞定位研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.
- [6] KUO C G, CHEN H M, MA L H. Effect of high temperature on proline content in tomato floral buds and leaves [J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1986, 111(5): 746-750.
- [7] 陈怡竹, 彭长连. 盐藻的叶绿素荧光测定[J]. *中科院华南植物所集刊*, 1994(9): 45-101.
- [8] 张玮, 黄树燕, 吴继林, 等. 低温胁迫对麻竹叶片和根系抗性生理指标的影响[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(3): 513-519.
- [9] 应叶青, 魏建芬, 解楠楠, 等. 自然低温胁迫对毛竹生理生化特性的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2011, 35(3): 133-136.
- [10] 李在军, 蔡孔瑜, 陈桂芳, 等. 干旱胁迫和复水对麻竹渗透调节物质及细胞膜透性的影响[J]. *四川林业科技*, 2010, 31(3): 55-59.
- [11] 程许娜, 王鹏霄, 张静, 等. 干旱胁迫对樟树幼苗叶片生理特性的影响[J]. *湖南农业科学*, 2011(23): 117-120.
- [12] 曹晶. 不同水分逆境对红叶石楠幼苗光合作用及相关生理特性的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.

- traceutical value of wild medicinal *Rubus* berries[J]. *Pak J Pharm Sci*, 2015, 28(1): 241-247.
- [11] 张伟, 尹震花, 康文艺. 黑莓籽对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(19): 351-354, 358.
- [12] SPÍNOLA V, PINTO J, LLORENT-MARTÍNEZ E J, et al. Evaluation of *Rubus grandifolius* L. (wild blackberries) activities targeting management of type-2 diabetes and obesity using *in vitro* models[J]. *Food Chem Toxicol*, 2019, 123: 443-452.
- [13] KHARROUBI A T, DARWISH H M. Diabetes mellitus: The epidemic of the century[J]. *World J Diabetes*, 2015, 6(6): 850-867.
- [14] KHAZRAI Y M, DEFEUDIS G, POZZILLI P. Effect of diet on type 2 diabetes mellitus: A review[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2014, 30(S1): 24-33.
- [15] ȘTEFĂNUȚ M N, CĂȚA A, POP R, et al. Anti-hyperglycemic effect of bilberry, blackberry and mulberry ultrasonic extracts on diabetic rats[J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2013, 68(4): 378-384.
- [16] 尹震花, 张伟, 冯发进, 等. 黑莓籽降血脂有效部位研究[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2014, 20(24): 194-198.
- [17] DENEV P, KRATCHANOVA M, CIZ M, et al. Antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities of herb extracts[J]. *Acta Biochim Pol*, 2014, 61(2): 359-367.
- [18] AZOFEIFA G, QUESADA S, BOUDARD F, et al. Antioxidant and anti-inflammatory *in vitro* activities of phenolic compounds from tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos*) [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(24): 5798-5804.
- [19] GONZÁLEZ O A, ESCAMILLA C, DANAHER R J, et al. Antibacterial effects of blackberry extract target periodontopathogens[J]. *J Periodontol Res*, 2013, 48(1): 80-86.
- [20] 汪洪涛, 陈成, 余芳, 等. 黑莓渣中原花青素的抑菌性与稳定性研究[J]. *酿酒科技*, 2013(12): 85-88.
- [21] 庄晶晶, 陈卫, 李亚, 等. 黑莓黄酮的自由基清除活性与防护肝细胞氧化损伤研究[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(7): 46-53.
- [22] 赵慧芳, 吴文龙, 阎连飞, 等. 黑莓果实的抗氧化活性研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(17): 82-86.
- [23] CHEN W, SU H M, XU Y, et al. *In vitro* gastrointestinal digestion promotes the protective effect of blackberry extract against acrylamide-induced oxidative stress[J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 1-11.
- [24] WU T, GAO Y F, GUO X Q, et al. Blackberry and blueberry anthocyanin supplementation counteract high-fat-diet-induced obesity by alleviating oxidative stress and inflammation and accelerating energy expenditure[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2018, 2018: 1-9.
- [25] WILLIAMS R J, SPENCER J P E. Flavonoids, cognition, and dementia: Actions, mechanisms, and potential therapeutic utility for Alzheimer disease[J]. *Free Radic Biol Med*, 2012, 52(1): 35-45.
- [26] PASSAMONTI S, VRHOVSEK U, VANZO A, et al. Fast access of some grape pigments to the brain[J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(18): 7029-7034.
- [27] FIGUEIRA I, TAVARES L, JARDIM C, et al. Blood-brain barrier transport and neuroprotective potential of blackberry-digested polyphenols: An *in vitro* study[J]. *Eur J Nutr*, 2019, 58(1): 113-130.
- [28] SHUKITT-HALE B, CHENG V, JOSEPH J A. Effects of blackberries on motor and cognitive function in aged rats[J]. *Nutr Neurosci*, 2009, 12(3): 135-140.
- [29] FERESIN R G, HUANG J W, KLARICH D S, et al. Blackberry, raspberry and black raspberry polyphenol extracts attenuate angiotensin II-induced senescence in vascular smooth muscle cells[J]. *Food Funct*, 2016, 7(10): 4175-4187.
- [30] CHONG M F, MACDONALD R, LOVEGROVE J A. Fruit polyphenols and CVD risk: A review of human intervention studies[J]. *Br J Nutr*, 2010, 104(S3): 28-39.
- [31] FENG R T, BOWMAN L L, LU Y J, et al. Blackberry extracts inhibit activating protein 1 activation and cell transformation by perturbing the mitogenic signaling pathway[J]. *Nutr Cancer*, 2004, 50(1): 80-89.
- [32] DAI J, GUPTA A, GATES L, et al. A comprehensive study of anthocyanin-containing extracts from selected blackberry cultivars: Extraction methods, stability, anticancer properties and mechanisms[J]. *Food Chem Toxicol*, 2009, 47(4): 837-847.
- [33] DANAHER R J, WANG C M, DAI J, et al. Antiviral effects of blackberry extract against herpes simplex virus type 1[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2011, 112(3): 31-35.
- [34] WANG J M, LIAN P L, YU Q, et al. Antithrombotic mechanism of polysaccharides in Blackberry (*Rubus* spp.) seeds[J]. *Food Nutr Res*, 2017, 61(1): 1-9.
- [35] FAHIMI Z, JAHROMY M H. Effects of blackberry (*Morus nigra*) fruit juice on levodopa-induced dyskinesia in a mice model of Parkinson's disease[J]. *J Exp Pharmacol*, 2018, 10: 29-35.

(上接第20页)

- [13] 刘祖贵, 陈金平, 段爱旺, 等. 不同土壤水分处理对夏玉米叶片光合等生理特性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(1): 90-95.
- [14] 杨惠敏, 王根轩. 干旱和 CO₂ 浓度升高对干旱区春小麦气孔密度及分布的影响[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 312-316.
- [15] 于文颖, 纪瑞鹏, 冯锐, 等. 不同生育期玉米叶片光合特性及水分利用效率对水分胁迫的响应[J]. *生态学报*, 2015, 35(9): 2902-2909.
- [16] 郑容妹. 沿海沙地引种绿竹等竹子的抗盐抗旱机理研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2003.
- [17] 陈松河, 黄金能, 马丽娟, 等. NaCl 胁迫对竹类植物形态和生长活力的影响[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(3): 84-87.
- [18] 戴胜明, 梁英辉, 穆丹, 等. 盐胁迫对溪荪叶片生长及生理特性的影响[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(7): 13-15, 19.
- [19] 李从娟, 徐新文, 孙永强, 等. 不同生境下三种荒漠植物叶片及土壤 C、N、P 的化学计量特征[J]. *干旱区地理*, 2014, 37(5): 996-1004.
- [20] 钟悦鸣, 董芳宇, 王文娟, 等. 不同生境胡杨叶片解剖特征及其适应可塑性[J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(10): 53-61.
- [21] 屠臣阳, 皇甫超河, 姜娜, 等. 不同生境黄顶菊碳氮磷化学计量特征[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(17): 171-176.
- [22] 蒋会兵, 孙云南, 李梅, 等. 紫娟茶树叶片不同发育期花青素积累及合成相关基因的表达[J]. *茶叶科学*, 2018, 38(2): 174-182.
- [23] 邱尔发, 陈卓梅, 洪伟, 等. 不同年龄麻竹阴阳叶生态生理特性[J]. *生态学报*, 2006, 26(10): 3296-3301.
- [24] 陈羨德, 陈礼光, 荣俊冬, 等. 施肥对沿海沙地麻竹笋期叶片养分动态的影响[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2007, 36(6): 585-590.
- [25] 马建军, 于凤鸣, 张立彬, 等. 野生欧李果实发育期不同叶位叶片中主要矿质元素含量的变化[J]. *果树学报*, 2010, 27(1): 34-38.
- [26] 童龙, 李彬, 陈丽洁, 等. 钩梢强度对麻竹生物量分配和生理特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(10): 3137-3144.
- [27] 童龙, 张磊, 李彬, 耿养会, 等. 钩梢对麻竹叶片 C、N、P 化学计量特征的影响[J]. *北京林业大学学报*, 2018, 40(11): 69-75.
- [28] JOSE, 杨自杰. 栽植密度、叶子部位和管理措施对苹果树叶片养分含量的影响[J]. *国外农学(果树)*, 1980, 7(3): 19-20.
- [29] 张永强, 方辉, 范贵强, 等. 遮阴和种植密度对新疆滴灌冬小麦旗叶生理特性及产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(11): 1352-1358.
- [30] 史发猛. 不同养分土壤条件下初选橡胶树优株的生长及对土壤养分利用的研究[D]. 海口: 海南大学, 2013.
- [31] 荣俊冬, 凡莉莉, 陈礼光, 等. 不同用量保水剂对沿海沙地麻竹生理特征的影响[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(2): 323-329.
- [32] 罗汉东, 朱从飞, 江亮波, 等. 不同模式施肥对油茶叶片生长及其养分含量的影响[J]. *经济林研究*, 2016, 34(3): 148-152.
- [33] 黄营, 黄林胜, 覃其云, 等. 配方施肥对麻竹叶片营养元素含量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(17): 190-192.