

# 金花葵不同部位化学成分分析

曹东怡<sup>1</sup>, 虞泓<sup>1\*</sup>, 曾文波<sup>1,2</sup>, 仝晶晶<sup>1</sup>, 杨俊媛<sup>3</sup>, 刘绍坤<sup>4</sup>

(1. 云南大学中草药生物资源研究所云百草实验室, 云南昆明 650091; 2. 文山学院环境与资源学院, 云南文山 663099; 3. 云南云百草生物技术有限公司, 云南昆明 650201; 4. 昆明艾兰生物科技有限公司, 云南昆明 650000)

**摘要** [目的]比较金花葵不同部位化学成分差异, 确定金花葵最佳药用部位。[方法]采用分光光度法检测金花葵不同部位(种子、果皮、花、茎、根)的总多糖、甘露醇、总黄酮和总皂苷的含量, 并利用高效液相测定 8 种核苷类成分(尿嘧啶、尿苷、肌苷、鸟苷、腺嘌呤、胸苷、腺苷、2'-脱氧腺苷)。[结果]金花葵花的多糖、甘露醇、总黄酮、总皂苷含量均列前位, 特别是总黄酮含量丰富; 金花葵花的核苷类成分总含量也最高; 而且花的化学成分含量与其余部位差距较大。[结论]金花葵花的有效成分含量较为丰富, 是理想的药用部位。

**关键词** 金花葵; 不同部位; 化学成分; 药用部位

中图分类号 S567.21 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)22-0090-03

## Analysis of Chemical Constituents in Different Parts of *Abelmoschus manihot*

CAO Dong-yi<sup>1</sup>, YU Hong<sup>1\*</sup>, ZENG Wen-bo<sup>1,2</sup> et al (1. Yunnan Herbal Laboratory, Institute of Herbal Biotic Resources, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091; 2. College of Environment and Resources, Wenshan University, Wenshan, Yunnan 663099)

**Abstract** [Objective] The research aimed to compare the chemical composition of different parts of *A. manihot* and determine the best medicinal parts of *A. manihot*. [Methods] Ultraviolet spectrophotometry was used to measure the total polysaccharides, manntiol, total flavanoids, and total saponins in different parts (seeds, pericraps, flowers, stems, roots) of *A. manihot*. And high-performance liquid chromatography was used to measure eight nucleosides (uracil, uridine, inosine, guanosine, adenine, thymidine, adenosine, 2'-deoxyadenosine). [Result] The polysaccharides, manntiol, total flavanoids, and total saponins in flowers of this herb were relatively higher, especially the total flavanoids. And the flower also showed the highest content of the eight nucleosides in this herb. Compared with other parts of *A. manihot*, the chemical components content in flowers was quite different from other parts of *A. manihot*. [Conclusion] The content of effective component was full of rich in the flowers, the flowers became useful as an important part of chemical constituent in *A. manihot*.

**Key words** *Abelmoschus manihot*; Different parts; Chemical constituents; Medicinal parts

金花葵 [*Abelmoschus manihot* (Linn.) Medic], 别名菜芙蓉、野芙蓉、黏干或山榆皮, 是一年生锦葵科秋葵属植物。金花葵富含黄酮, 可有效清除体内的氧自由基, 阻止细胞的退化、衰老以及癌症的发生, 同时改善血液循环, 可以降低胆固醇, 从而降低心脑血管疾病的发病率<sup>[1]</sup>。研究还发现, 金花葵含有丰富的活性成分, 具有解热、抗炎、镇痛、降血脂、抗氧化、免疫调节等作用<sup>[2-6]</sup>, 是极具开发价值的功能性食品。该研究拟对金花葵不同部位, 包括种子、果皮、花、茎、根等开展功效成分比较研究, 测定多糖、甘露醇、总黄酮等 12 个功效成分, 并对不同部位成分含量进行比较研究, 以期为这一珍贵资源深入开发及市场化提供数据支撑。

## 1 材料与方

**1.1 试验材料** 金花葵植株来自艾兰汇公司金花葵种植基地, 经云南大学虞泓教授鉴定为金花葵 [*Abelmoschus manihot* (Linn.) Medic]。植株采集后分为种子、果皮、花、茎、根 5 个部分, 干燥后粉碎, 储于干燥器中备用。

**1.2 试验仪器** 电子天平(德国 Sartorius 集团, BP221S); 电热恒温水浴锅(北京市永光明医疗仪器厂, JYT-20A); 漩涡混合器(江苏海门市麒麟医用仪器厂, QL-901); 紫外分光光度计(北京市普析通用仪器有限公司, T6 新世纪); 电动离心机(上海精科仪器仪表有限公司, 80-2); 艾柯超纯水机(成都康宁实验专用纯水设备厂, KI-QP-I-10); 循环水式

真空泵(巩义市予华仪器有限责任公司, SHZ-DIII); 高速万能粉碎机(北京中兴伟业仪器有限公司, FW-100); 戴安高效液相色谱(戴安 DIONEX 公司, LPG-3400A 四元梯度泵, WPS-3000SL 自动进样器, PDA-3000 二极管阵列检测器, TCC-3000 柱温箱, 戴安原装 ACCLAIM C18 色谱柱, 5 μm, 4.6 mm × 250 mm, “变色龙”控制分析色谱工作站软件)。

**1.3 试验试剂** 硝酸钠、硫酸镁、磷酸氢二钾、醋酸铵、冰醋酸、乙酰丙酮、高碘酸钾、浓硫酸、盐酸、无水乙醇、氢氧化钠、亚硝酸钠、硝酸铝、苯酚、香兰素、中性氧化铝、D101 型大孔树脂等均为国产分析纯, 甲醇为色谱纯(Fisher Scientific), L-鼠李糖为国药集团化学试剂有限公司进口分装; 甘露醇标准品、黄酮标准品和皂苷标准品购自中国药品生物制品检定所, 尿嘧啶、尿苷、肌苷、鸟苷、腺嘌呤、胸苷、腺苷和 2'-脱氧腺苷的标准品均购自 Sigma 公司, 纯度为 98% 以上; 水为蒸馏水。

## 1.4 试验方法

**1.4.1 多糖的测定**。称取样品 0.25 g 左右放入心形瓶中, 加入适量水在 90 °C 水浴回流 2 h 后冷却并过滤, 定容至 50 mL。取待测样品溶液 20 mL, 放入蒸发皿中, 在水浴 70 °C 的条件下挥干。将挥干后的剩余物用 2 mL 蒸馏水溶解转移至 15 mL 离心管中, 并加入 10 mL 无水乙醇, 混匀, 放置 15 ~ 30 min。之后放入离心机中以 4 000 r/min 的速度离心 10 min。取出离心管并弃掉上清液, 再加入 2 mL 蒸馏水溶解沉淀物, 加入 10 mL 无水乙醇混匀, 重复上述步骤共 3 次。最后一次弃掉上清液后加入 2 mL 蒸馏水溶解沉淀物, 定容至 50 mL。之后取 2 mL 溶液至 20 mL 试管中, 加入 1 mL

**作者简介** 曹东怡(1992—), 女, 山东安丘人, 硕士研究生, 研究方向: 中草药资源与开发。\* 通讯作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事中草药资源与开发研究。

**收稿日期** 2017-06-07

50% 苯酚溶液混匀,随后快速加入 7 mL 浓硫酸,混匀,放于 40 °C 水浴中 30 min,再置于冰水浴中 5 min,再放至室温。在 490 nm 处测定吸光度。进行 3 组重复。以蒸馏水代替待测样品溶液,用同样方法操作作为空白对照<sup>[7]</sup>。

**1.4.2 甘露醇的测定。**采用高碘酸钾法<sup>[7]</sup>进行测定。称取 0.25 g 左右金花葵试样,置于 50 mL 心形瓶中,加入适量水并回流 2 h,过滤、定容至 50 mL。随后取出 1 mL 待测样品溶液于试管中,加入 1 mL 高锰酸钾溶液,室温放置 10 min,加入 0.1% L-鼠李糖溶液 2 mL 并混合均匀,再加入新鲜配制的 Nash 溶液 4 mL,混合均匀。之后在 53 °C 水浴加热 15 min,显色后冷却。在 412 nm 处测出吸光度。试验重复 3 次。以蒸馏水代替待测样品溶液,用同样方法操作作为空白对照。

**1.4.3 总皂苷的测定。**准确称取样品 0.5000 g,加 70% 无水乙醇 10 mL 超声提取 90 min,冷却后定容至刻度,摇匀,过夜,制得样品溶液。层析:用 5 mL 注射器垂直固定,并以 3:1 的比例装填 D101 大孔树脂:中性氧化铝。先用 70% 无水乙醇 25 mL 洗脱柱子,弃去洗脱液;再用 25 mL 蒸馏水洗脱柱子,弃去洗脱液;然后分别精确加入 1 mL 样品溶液,用 25 mL 蒸馏水洗脱柱子,弃去洗脱液,用 25 mL 的 70% 无水乙醇洗脱柱子并收集于蒸发皿中,蒸干。用高氯酸和 5% 香草醛-冰醋酸溶液(4:1)1 mL 洗净蒸发皿,摇匀,并全部转移至具塞试管中,于 60 °C 水浴中加热 15 min,取出后立即用冰水冷却,加冰醋酸 5 mL,摇匀,蒸馏水作空白,于 560 nm 处测定各吸光度,进行 3 组重复。以蒸馏水代替待测样品溶液,用同样方法操作作为空白对照<sup>[7]</sup>。

**1.4.4 总黄酮的测定。**精密称取待测样品 0.5000 g 置于试

管内,加 5 mL 70% 乙醇到 15 mL 试管中混匀,室温放置 72 h,之后将其混匀后置于离心管中以 4000 r/min 离心 10 min,取上清液至具塞比色管中,备用。取 2 mL 上述已经制备好的供试品溶液,加入 5% NaNO<sub>2</sub> 溶液 1 mL,摇匀,放置 6 min,加 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 溶液 1 mL,摇匀,放置 6 min,加 4% NaOH 溶液 10 mL,摇匀。然后加 60% 乙醇稀释至刻度,摇匀,放置 15 min,在 508 nm 处测定吸光度。重复 3 组。以蒸馏水代替待测样品溶液,用同样方法操作作为空白对照<sup>[7]</sup>。

**1.4.5 核苷类成分测定。**色谱条件:流动相为甲醇-水(10:90);流速 1.0 mL/min;检测波长 260 nm;柱温 30 °C。精密称取样品 0.1000 g,加入 3 mL 20% 甲醇溶液,超声处理 60 min,取出,4 000 r/min 离心 15 min,吸取上清液过 0.45 μm 微孔滤膜,用于 HPLC 分析<sup>[8]</sup>。

**1.5 数据分析** 采用 SPSS 19.0 进行数据统计分析。LSD 法检验差异显著性。利用多糖、甘露醇、总皂苷、总黄酮和 8 种核苷类成分含量,对金花葵不同部位化学成分进行 Q-聚类分析。

## 2 结果与分析

**2.1 金花葵不同部位多糖、甘露醇、总皂苷和总黄酮的含量** 从表 1 可以看出,金花葵不同部位多糖含量从高到低依次为花、根、果皮、茎、种子;甘露醇含量从高到低依次为种子、花、茎、果皮、根;金花葵 5 个部位总皂苷含量平均值为 10 000 ~ 12 000 μg/g,差异不显著;总黄酮在金花葵不同部位分布从高到低依次为花、茎、果皮、根、种子。金花葵的多糖、总黄酮含量在 5 个部位中均为最高,且显著高于其他部位;甘露醇含量仅次于种子,总皂苷含量与其他部位并无差异,说明金花葵是较理想的药用部位。

表 1 金花葵不同部位多糖、甘露醇、总皂苷、总黄酮含量

Table 1 Polysaccharides, manntiol, total saponins and total flavanoids in different parts of *Abelmoschus manihot*

部位 Parts	多糖 Polysaccharides	甘露醇 Manntiol	总皂苷 Total saponins	总黄酮 Total flavanoids
种子 Seeds	1 617.82 ± 385.96 c	32 561.17 ± 101.30 a	10 822.51 ± 1 617.56 a	1 420.70 ± 211.61 c
果皮 Pericraps	12 404.55 ± 3 100.52 c	3 562.13 ± 817.79 c	11 018.95 ± 1 187.90 a	2 765.08 ± 65.65 bc
花 Flowers	83 104.46 ± 13 718.55 a	6 490.31 ± 2751.90 b	11 193.59 ± 2 769.05 a	22 299.62 ± 1 542.12 a
茎 Stems	8 828.71 ± 3 845.24 c	3 949.62 ± 326.07 c	10 825.88 ± 4 146.60 a	3 780.20 ± 766.90 b
根 Roots	29 109.7 ± 3 351.54 b	3 301.74 ± 685.89 c	11 763.77 ± 4 562.47 a	1 860.66 ± 607.31 c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: The different lowercase letters after same column date indicate the significance of 0.05 level

**2.2 金花葵不同部位核苷类成分含量** 从表 2 可以看出,金花葵不同部位所含有的 8 种核苷类成分种类不尽相同,而且含量差别也较大,其中 2'-脱氧腺苷均未检出。尿苷、鸟苷和腺嘌呤在 5 个部位均有分布,其中金花葵花的尿苷含量最高,为 735.251 μg/g;金花葵种子鸟苷含量最高,为 864.600 μg/g;金花葵花的腺嘌呤含量最高,达 315.466 μg/g;而肌苷仅在金花葵根中检出,含量较低,仅为 69.840 μg/g。检测的 8 种核苷类成分总含量中,金花葵不同部位从高到低依次为花、种子、根、茎、果皮。

**2.3 金花葵不同部位功效成分 Q-聚类分析** 从图 1 可以看出,与大支分开的是花,其余 4 个部位的化学成分含量聚

为一支;其中根、果皮和茎又聚为一支。

## 3 讨论

金花葵在 200 多个秋葵植物中最具食用、药用、保健价值<sup>[6]</sup>,含有黄酮类、多糖、甘露醇、不饱和脂肪酸、微量元素等活性成分<sup>[9]</sup>。目前金花葵黄酮类成分药理研究较多,但金花葵总皂苷、核苷类等其他活性成分缺乏深入研究,且多种活性成分含量分布有待明晰。因此该研究针对不同部位检测了多糖、甘露醇、总皂苷、总黄酮及 8 种核苷类物质,共 12 种化学成分,较为全面地对金花葵的活性成分进行分析,且明确了化学成分在不同部位的分布。

表2 金花葵不同部位核苷类成分含量

Table 2 Eight nucleosides (uracil, uridine, inosine, guanosine, adenine, thymidine, adenosine, 2'-deoxyadenosine) in different parts of <i>Abelmoschus manihot</i>	μg/g								
部位 Parts	尿嘧啶 Uracil	尿苷 Uridine	肌苷 Inosine	鸟苷 Guanosine	腺嘌呤 Adenine	胸苷 Thymidine	腺苷 Adenosine	2'-脱氧腺苷 2'-deoxyadenosine	总量 Total
种子 Seed	82.777	520.220	—	864.600	124.539	—	230.324	—	1 822.460
果皮 Pericarp	—	59.618	—	28.336	22.966	—	—	—	110.920
花 Flowers	136.820	735.251	—	516.371	315.466	109.910	123.913	—	1 937.731
茎 Stems	32.905	133.493	—	108.213	68.326	15.815	140.632	—	499.384
根 Roots	74.101	348.325	69.840	268.624	108.043	120.091	—	—	989.024

注：“—”表示未检出

Note: “—” means not detected

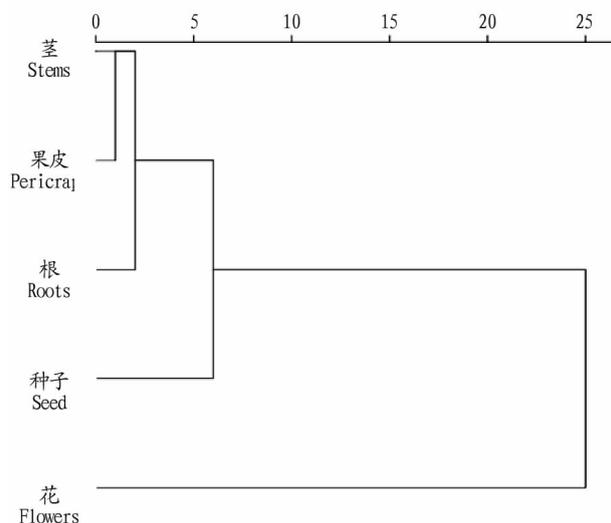


图1 金花葵不同部位化学成分聚类

Fig. 1 Q-cluster of chemical components in different parts of *Abelmoschus manihot*

药理试验证明,多糖、皂苷、黄酮类化合物以及核苷类成分均有抗氧化损伤、延缓衰老、抗肿瘤、抗癌抗菌、抗炎等生物活性作用<sup>[10-19]</sup>;甘露醇具有利尿、降低颅内压和眼内压、镇咳、祛痰和平喘等功效<sup>[20]</sup>。该研究结果显示,金花葵花中多糖含量最高,达83 104.46 μg/g,且显著高于其他部位;金花葵种子中甘露醇含量为32 561.17 μg/g,金花葵花的甘露醇含量为6 490.31 μg/g,显著高于根、茎和果皮中甘露醇的含量,而其余3个部位甘露醇含量差异不显著;总皂苷在检测的5个部位中分布无显著差异,平均含量在10 000~12 000 μg/g;金花葵花中总黄酮含量最高,达22 299.62 μg/g,其余部位总黄酮含量均低于4 000.00 μg/g,说明金花葵花是较好的总黄酮来源。在检测的8种核苷类成分中,金花葵花的核苷类成分总量最高,达1 937.731 μg/g。同时Q-聚类分析显示,金花葵花的化学成分含量与其他部位区别较高。另外有研究表明,金花葵不同部位金丝桃苷含量从高到低依次为花、叶、茎、根、种子<sup>[21]</sup>;而种子中的微量元素含量普遍高于花<sup>[22]</sup>,同时金花葵种子含有丰富的不饱和脂肪酸<sup>[23]</sup>。

综上所述,金花葵花的有效化学成分含量较高,特别是

总黄酮含量丰富,是较理想的药用部位;同时金花葵花的化学成分含量与其他部位差别较大,因此对金花葵整株入药或是花单独入药应制定不同的质量标准。而且根据不同的治疗目的,可以选用不同部位的金花葵入药以提高治疗效果。鉴于金花葵含有众多化学成分,应对其生理活性、作用机理等做进一步深入研究,为今后金花葵的临床应用提供科学依据。

#### 参考文献

- [1] 李芸,杨秀松,何计国.金花葵黄酮对高脂血症大鼠血脂的影响[J].食品科学,2012,33(1):248-251.
- [2] 张建.金花葵总黄酮解热抗炎作用的实验研究[J].中国医科大学学报,2011,40(8):763-764.
- [3] 吴正平.金花葵总黄酮镇痛作用的实验研究[J].宜春学院学报,2009,31(4):75-76.
- [4] 吴正平.金花葵籽不饱和脂肪酸对实验性高脂血症大鼠血脂和肝功能的影响[J].中成药,2011,33(7):1245-1247.
- [5] 雷波,刘长征.金花葵总黄酮对老龄大鼠皮肤中HYP、GSH及SOD的影响[J].中国皮肤性病学杂志,2011,25(2):110-111.
- [6] 杨秀松.金花葵粗黄酮提取物的免疫调节作用研究[J].中国药师,2013,16(9):1307-1311.
- [7] 杨俊媛.蛹虫草、粉棒束孢和蝙蝠蛾拟青霉培养过程中化学成分的比较研究[D].昆明:云南大学,2015:10-19.
- [8] ZENG W B, YU H, GE F, et al. Distribution of nucleosides in populations of *Cordyceps cicadae* [J]. Molecules, 2014, 19(5): 6123-6141.
- [9] 卢丹,贾瑞波.中药金花葵的研究进展[J].中国药物评价,2015,32(2):90-92.
- [10] KONG F L, ZHANG M W, KUANG R B, et al. Antioxidant activities of different fractions of polysaccharide purified from pericarp tissue of Litchi (*Litchi Chinensis* Sonn) [J]. Carbohydrate polymers, 2010, 81(3): 612-616.
- [11] CHEN R Z, MENG F L, LIU Z Q, et al. Antitumor activities of different fractions of polysaccharide purified from *Ornithogalum caudatum* Ait [J]. Carbohydrate polymers, 2010, 80(3): 845-851.
- [12] 高瑞兰,徐卫红,林筱洁,等.三七皂苷对造血细胞GATA-1和GATA-2转录调控蛋白的诱导作用[J].中华血液学杂志,2004,25(5):281.
- [13] 郭洁文,邓志军,符永恒,等.三七总皂苷对心肌梗后心室重构大鼠增强抗氧化与改善心肌形态学作用[J].中山大学学报(自然科学版),2008,47(2):140-142.
- [14] 谢颢,李丽红,李丽.三七总皂苷抗衰老的实验研究[J].世界中西医结合杂志,2008,3(2):86-88.
- [15] 陈艳芬,江海,唐春萍,等.高良姜总黄酮抗炎镇痛作用的实验研究[J].广东药学院学报,2009,25(2):188-191.
- [16] 郭晓红,赵恒寿.大豆黄酮对肉仔鸡内分泌激素与免疫功能的影响[J].畜牧兽医学报,2005,23(5):1-5.
- [17] 李楠,刘元,侯滨滨.黄酮类化合物功能特性[J].食品研究与开发,2005,26(6):139-141.
- [18] 吴正平.金花葵总黄酮对衰老模型小鼠抗氧化和免疫功能的影响[J].中国老年学杂志,2011,31(10):1800-1802.
- [19] 张雪梅,杨丰庆,夏之宁.食品中核苷类成分的药理作用研究进展[J].食品科学,2012,33(9):277-282.

(下转第109页)

长代谢活力(表 1)。

### 3 结论与讨论

合理高效的冠层结构对植物群体物质生产、经济产量形成、生态系统稳定及多样性分布有决定性影响<sup>[11]</sup>。MLA、SLA 与 LDMC 是反映植物群体光截获能力和构建合理冠层结构的重要调控指标<sup>[17-18]</sup>。Gardner 等<sup>[19]</sup>研究认为,植物有效地利用太阳辐射能、增加干物质产量,首先必须是叶片截获全部或几乎全部的太阳辐射,使光合作用达到最大值。大量研究<sup>[17,20-25]</sup>证明,叶面积的垂直分布直接影响光在冠层内的截获与分布状况。该研究表明,不同丛生竹 MLA 的垂直分布差异不大(上冠层为 18.0 cm<sup>2</sup>,中冠层为 18.3 cm<sup>2</sup>,下冠层为 17.2 cm<sup>2</sup>);同竹种不同冠层 MLA 之间也差异不显著,这 2 种情况说明上、中、下冠层间叶片截获光资源能力基本相同。张艳敏等<sup>[24]</sup>研究表明,小麦群体 MLA 的垂直分布接近上下对称,最大叶面积出现在 0.60~0.65 相对高度之间。丛生竹 MLA 分布与小麦类似,可能是由于该 MLA 结构有利于光资源向下层渗透,使中下部叶片获得更充足光能。随着生育进程的推进,冠层中部的相对叶面积较下部呈递增趋势,而冠层上部的相对叶面积较中部又呈递减趋势,这与杨长明等<sup>[25]</sup>的研究结论相反,这可能是由于上冠层叶为新生叶,叶面积较小,中冠层为成熟叶,且截获的光能较多,导致中冠层叶 MLA 最大,下冠层叶 MLA 最小。该研究还显示,12 个竹种的 3 个冠层 MLA 均以唐竹最高,说明唐竹叶片在获取光资源的能力、增大光截获和碳收益方面较其他竹种具有竞争优势。

对比不同竹种不同冠层 SLA 可以发现,不同竹种 SLA 在冠层之间存在一定差异(上冠层为 222.2 cm<sup>2</sup>,中冠层为 210.7 m<sup>2</sup>/kg,下冠层为 260.6 m<sup>2</sup>/kg);而 LDMC 在不同冠层之间差异较小(上冠层为 665.4 mg/g,中冠层为 671.5 mg/g,下冠层为 672.6 mg/g),远小于 SLA 的变化情况,根据这一结果可以推断,植物的 SLA 对高差的反映比 LDMC 更敏感,但 SLA 在冠层间的变化表现为一种非线性响应,可能还存在其他因素制约 SLA,其中一个关键因子就是光照,因为在冠层上部,水分含量较低,水分成为绝对制约因素,叶片通过卷缩、关闭气孔等方式尽可能防止水分进一步散失<sup>[26]</sup>,在限制水分散失的同时加强了单位面积的光合速率,只有通过增加叶片光合速率才能维持植物生长。丛生竹 LDMC 在冠层中自下而上递减分布也可能与冠层上部水资源供应不足有关,叶片水分含量随树高增加而引起水分分布不均<sup>[27]</sup>。

总体来说,MLA、SLA 和 LDMC 在冠层垂直方向上的空间差异表征了植物对冠层不同高度资源的利用策略,对于该研究地区的丛生竹而言,在下冠层,光照是主要限制资源,在

中冠层以上水分可能成为主导的限制资源。

### 参考文献

- ACKERLY D. Self-shading, carbon gain and leaf dynamics: A test of alternative optimality models[J]. *Oecologia*, 1999, 119(3): 300-310.
- COLEY P D. Effects of plant growth rate and leaf lifetime on the amount and type of anti-herbivore defense[J]. *Oecologia*, 1988, 74(4): 531-536.
- VENDRAMINI F, DIAZ S, CURVICH D E, et al. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species[J]. *New phytologist*, 2002, 154(1): 147-157.
- WESTOBY M. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme[J]. *Plant and soil*, 1998, 199(2): 213-227.
- 陈文, 王桔红, 马瑞君, 等. 粤东 89 种常见植物叶功能性状变异特征[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(8): 2101-2109.
- 张林, 罗天祥, 邓坤枚, 等. 云南松比叶面积和叶干物质含量随冠层高度的垂直变化规律[J]. *北京林业大学学报*, 2008, 30(1): 40-44.
- CHAPIN F S, BLOOM A J, FIELD C B, et al. Plant responses to multiple environmental factors: Physiological ecology provides tools for studying how interacting environmental resources control plant growth[J]. *Bioscience*, 1987, 37(1): 49-57.
- WRIGHT I J, REICH P B, WESTOBY M, et al. The worldwide leaf economics spectrum[J]. *Nature*, 2004, 428(6 985): 821-827.
- 张林, 罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(6): 844-852.
- 范仲学, 王璞, 梁振兴, 等. 优化灌溉与施肥对冬小麦冠层结构的影响研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 79-81.
- 郑景明, 赵秀海, 张春雨. 北京百花山森林群落的结构多样性研究[J]. *北京林业大学学报*, 2007, 29(1): 7-11.
- 何春霞, 李吉跃, 郭明, 等. 4 种乔木叶片光合特性和水分利用效率随树高的变化[J]. *生态学报*, 2008, 28(7): 3008-3016.
- 霍宏, 王传宽. 冠层部位和叶龄对红松光合蒸腾特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1181-1186.
- 方晓雨. 阔叶红松林 3 个主要树种垂直结构上的光合光谱研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- 何春霞. 树高极限的水分限制机理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- 叶宝鉴, 兰思仁, 李明河, 等. 福建农林大学校园植物区系特征[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2013, 42(1): 51-56.
- 沈秀瑛, 戴俊英, 胡安物, 等. 玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究[J]. *作物学报*, 1993, 19(3): 246-252.
- PLÉNT D, MOLLIÉ A, PELLERIN S. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II: Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components[J]. *Plant and soil*, 2000, 224(2): 259-272.
- GARDNER F P, PEARCE R B, MITHELL R L. Physiology of crop plants[J]. *The quarterly review of biology*, 1986, 61(2): 31-46.
- STEWART D W, COSTA C, DWYER L M, et al. Canopy structure, light interception, and photosynthesis in maize[J]. *Agronomy journal*, 2003, 95(6): 1465-1474.
- 林少君, 江广恒. 测定稻麦冠层叶片铅直分布的实用模式[J]. *南京农业大学学报*, 1989, 12(4): 130-131.
- SASSENATH-COLE G F. Dependence of canopy light distribution on leaf and canopy structure for two cotton (*Gossypium*) species[J]. *Agricultural & forest meteorology*, 1995, 77(1): 55-72.
- 杨锦忠, 陆强. 玉米冠层结构的铅直分布模式的研究[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 1996, 16(4): 347-349.
- 张艳敏, 李晋生, 钱维朴, 等. 小麦冠层结构与光分布研究[J]. *华北农学报*, 1996, 11(1): 54-58.
- 杨长明, 刘敏华, 丁超尘, 等. 三个水稻品种的冠层结构比较研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2001, 28(3): 276-280.
- RUIZ R A, BERTERO H D. Light interception and radiation use efficiency in temperate quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars[J]. *European journal of agronomy*, 2008, 29(2/3): 144-152.
- 王锡平, 李保国, 郭焱, 等. 玉米冠层内光合有效辐射三维空间分布的测定和分析[J]. *作物学报*, 2004, 30(6): 568-576.

(上接第 92 页)

- 王长林, 郭巧生, 程博幸, 等. 不同株龄明党参化学成分分析[J]. *中国中药杂志*, 2010, 35(22): 2945-2949.
- 仇燕, 庞丽然, 李志伟, 等. 菜芙蓉醇提物金丝桃苷含量测定及对肿瘤细胞生长抑制作用[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(14): 8331-8333.

- 李淳, 胡定煜, 辛秀兰, 等. 原子光谱法测定金花葵花瓣及种子中微量元素[J]. *食品研究与开发*, 2012, 33(4): 152-155.
- 王刚, 郭延磊. 金花葵子挥发油的化学成分分析[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(14): 7297-7298.