

9个油橄榄品种叶片功能性状特征比较

杜晋城, 李欣欣, 邓小兵, 慕长龙*

(四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081)

摘要:【目的】研究油橄榄(*Olea europaea* L.)叶片功能性状特征,筛选出研究区域的优良品种,为四川盆地油橄榄的推广和种植提供科学依据。【方法】以四川盆地相同生境中的9个油橄榄品种为研究对象,对其叶片形态特征、光合特性、光合色素含量及营养元素含量进行分析测定和评价。【结果】9个油橄榄品种间叶片的功能性状表现出了一定的种间差异性,‘阿桑贝拉’(‘Assanbella’)、‘颞植8号’(‘Ezhi-8’)、‘莱星’(‘Leccino’)、‘豆果’(‘Arbequina’)、‘克罗莱卡’(‘Koroneiki’)和‘皮瓜尔’(‘Picual’)叶片的功能性状表现较优,其中‘阿桑贝拉’最优;‘柯拉蒂’(‘Coratina’)、‘小苹果’(‘Manzanillo’)叶片的功能性状表现较差,‘格洛桑’(‘Grossane’)最差。9个油橄榄品种叶片厚度、干于质量和营养元素含量两两间变化趋势相同,光合特性和光合色素含量变化趋势相同。【结论】9个油橄榄品种在相同生境下叶片功能性状差异较大,表现出不同的适应特性。9个品种中以‘阿桑贝拉’、‘颞植8号’、‘莱星’、‘豆果’、‘克罗莱卡’和‘皮瓜尔’叶片的功能性状表现较优,可在川中盆地地区推广应用。

关键词:油橄榄;品种;叶形态特征;光合特性;叶绿素含量;营养元素

中图分类号:S718;S794

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2006(2021)02-0159-06



Comparisons of leaf functional characteristics of nine olive varieties

DU Jincheng, LI Xinxin, DENG Xiaobing, MU Changlong*

(Sichuan Academy of Forestry Science, Chengdu 610081, China)

Abstract: 【Objective】 This research aimed to study the functional characteristics of *Olea europaea* L. leaves, select the dominant varieties in the study area, and provide a scientific basis for the promotion and planting of olives in the Sichuan Basin. 【Method】 Nine dominant olive varieties of the Sichuan Basin were selected to evaluate leaf morphological and photosynthetic characteristics, photosynthetic pigment concentrations and nutrient contents. 【Result】 The functional traits of leaves of nine olive varieties showed some inter-species differences, and the leaf functional characters had a significant positive effect on ‘Assanbella’, followed by ‘Ezhi-8’, ‘Leccino’, ‘Arbequina’, ‘Koroneiki’ and ‘Picual’, and a negative influence on ‘Coratina’, ‘Manzanillo’ and ‘Grossane’, among which ‘Grossane’ was the worst. The changes in leaf thickness, dry matter and nutrient contents of nine olive varieties were the same, as were the changes in photosynthetic characteristics and pigment contents. 【Conclusion】 The nine olive varieties evaluated have different leaf functional characteristics in the same habitat, showing different adaptive plasticity. Among these varieties, ‘Assanbella’, ‘Ezhi-8’, ‘Leccino’, ‘Arbequina’, ‘Koroneiki’ and ‘Picual’ have better functionality, which can facilitate their wide use in the central Sichuan Basin.

Keywords: *Olea europaea* L.; variety; leaf morphological characteristics; photosynthetic characteristics; chlorophyll content; nutrient elements

油橄榄(*Olea europaea* L.)为木犀科(Oleaceae)常绿小乔木,是世界著名的高产、优质木本油料树种,被誉为“植物油皇后”,有着较高的

经济和营养价值^[1-2]。20世纪50年代初期,中国开始从国外引种油橄榄,经过试验、推广、提高、衰退、恢复5个阶段后,成功确定并划分了油橄榄在

收稿日期 Received:2020-06-11

修回日期 Accepted:2020-12-30

基金项目:特色经济林高效育种技术与品种创制(2019YFD1001205)。

第一作者:杜晋城(78830818@qq.com)。*通信作者:慕长龙(mucl2006@aliyun.com),研究员,ORCID(0000-0002-0211-7064)。

引文格式:杜晋城,李欣欣,邓小兵,等.9个油橄榄品种叶片功能性状特征比较[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(2):159-163.DU J C, LI X X, DENG X B, et al. Comparisons of leaf functional characteristics of nine olive varieties[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2021, 45(2): 159-163. DOI:10.12302/j.issn.1000-2006.202006011.

中国的适生区,选育出了一批适合中国栽培的优良品种^[3-4]。目前,中国油橄榄种植总面积广,主要种植于15个省区,如甘肃、云南、四川等省^[5-7]。四川省作为中国油橄榄主要栽培地区,但存在着大面积种植产量低、适龄树不结果、结果树产量低而不稳定的问题^[8]。而国内外专家大多认为中国引种油橄榄所面临的最大问题是生长环境的改变对油橄榄生长产生影响^[9]。

研究表明,植物对环境变化的响应绝大多数表现在叶功能性状上^[10-11]。叶片功能性状能够直接反映植物适应环境变化所形成的生存对策,与植株生物量和植物对资源的获得、利用及利用效率的关系密切^[10-13];同时叶片性状反映了植物对不同环境的高度适应能力和在复杂生境下的自我调控能力^[11-14]。叶片功能性状如何响应和适应环境变化是植物适应性研究的重点内容^[14-16]。本试验以四川盆地相同生境中的9个相对优良的油橄榄品种为研究对象,通过挂牌标记的方法分别对其叶片功能指标和光合特性指标进行分析测定和评价,筛选适生性较优良的品种,为四川盆地油橄榄的推广、种植以及新品种选育提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

种植园位于四川省成都市金堂县淮口镇油橄榄种植示范园(104°31'28"~104°31'47" E, 30°41'49"~30°42'10" N),淮口镇2019年平均气温为16.6℃,平均降雨量为920.5 mm,海拔为437~511 m,土壤类型属于紫色土类的棕紫泥亚类,土壤有碳酸盐反应,耕层pH为7.4~8.5,有机质占比(质量分数)为0.59%~1.20%,全氮占比为0.022%~0.054%,全磷占比为0.057%~0.133%^[17]。该基地种植油橄榄品种10余种,产业区1334 hm²^[17]。

1.2 试验方法

试验所选的9个品种分别为‘莱星’(‘Leccino’, LX)、‘阿桑贝娜’(‘Assanbella’, AS)、‘格洛桑’(‘Grossane’, GL)、‘豆果’(‘Arbequina’, DG)、‘柯拉蒂’(‘Coratina’, KL)、‘小苹果’(‘Manzanillo’, XP)、‘颞植8号’(‘Ezhi-8’, EZ)、‘皮瓜尔’(‘Picual’, PG)和‘克罗莱卡’(‘Koroneiki’, KLL)。选择管理一致、树势差异较小、生长状况良好、健壮无病虫害的树体作为试验材料,每个品种的树共选择9棵,每3棵为1个处理,每个处理重复3次。对所选择树进行挂牌标记,对每个品种的各株树进行生长状况调查,记录各品种的生

长情况(表1)。

分别于2019年3月15日、6月15日、9月15日和12月15日取样,按照采样标准^[18],于上午9:00—11:00,在试验树体的东、南、西、北4个方向选取完全展开、健康、完整、无病虫害、完全阳光照射的当年生叶片,每个方向取50片,取叶片后,置于冰盒中,2 h内带回实验室。

表1 不同品种油橄榄生长状况

Table 1 Growth status of different olive varieties

品种 variety	树龄/a tree age	株高/m height	冠幅/m crown width	主干粗度/cm main trunk
LX	4	3.3	4.2	42
AS	4	3.2	2.9	32
GL	4	3.2	3.4	35
DG	4	2.7	2.2	20
KL	4	3.0	3.2	40
XP	4	2.9	2.6	24
EZ	4	2.9	4.3	36
PG	4	3.0	3.2	34
KLL	4	3.0	3.2	30

注:LX、AS、GL、DG、KL、XP、EZ、PG、KLL分别代表‘莱星’、‘阿桑贝娜’、‘格洛桑’、‘豆果’、‘柯拉蒂’、‘小苹果’、‘颞植8号’、‘皮瓜尔’、‘克罗莱卡’。下同。LX, AS, GL, DG, KL, XP, EZ, PG and KLL represent ‘Leccino’, ‘Assanbella’, ‘Grossane’, ‘Arbequina’, ‘Coratina’, ‘Manzanillo’, ‘Ezhi-8’, ‘Picual’ and ‘Koroneiki’, respectively. The same below.

1.3 测定内容与方 法

1.3.1 生长指标

株高、冠幅和主干粗度(地径)用钢卷尺和电子数显游标卡尺(精度0.01 mm)测定。

1.3.2 叶片形态指标

将带回实验室的叶片立即取出,用电子数显游标卡尺(精度0.01 mm)测量叶长、叶宽和叶厚,重复测量3次,取平均值。最后将叶片在110℃的烘箱中烘干15 min,后在75℃烘箱中烘至质量恒定,在电子天平(精度为0.000 1 g)上称取叶片干质量。

1.3.3 光合指标

每次取样时,采用LI-6400便携式光合作用测定仪(LI-COR Inc., USA)测定选取的每个品种的9株样树上健康、完整、朝南向阳方位的10片叶子的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间CO₂浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)、叶温下蒸汽压亏缺值(V_{pdL})^[18],重复测定3次,取平均值。

测定时间10:00—13:30,测定过程中光强约1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,空气温度(28±2)℃,空气CO₂浓度变化范围(400±10) $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.3.4 光合色素含量指标

生理指标测定采用完全展开的第3片真叶,用丙酮-乙醇混合(体积比1:1)浸提法测定光合色素含量(叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素)^[19]。

1.3.5 养分指标

将烘干的叶片经浓硫酸及过氧化氢消煮后,分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法、火焰光度法、原子吸收分光光度法测定其氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)和硼(B)元素的含量^[20]。

1.4 数据分析

每个处理使用4次采样的平均数据作一个重复用于数据分析。所有数据采用Excel 2008软件处理,数据采用SPSS 20.0进行方差分析(Duncan新复极差法进行多重比较)。

2 结果与分析

2.1 不同油橄榄品种叶片形态指标参数分析

测定结果表明,9个品种的叶长、叶宽、叶厚及叶干质量因品种差异均表现不同(表2)。叶长由大到小排序为:‘阿桑贝娜’、‘柯拉蒂’、‘皮瓜尔’、‘克罗莱卡’、‘格洛桑’、‘莱星’、‘颞植8号’、‘豆果’、‘小苹果’。叶宽由大到小排序为:‘阿桑贝娜’、‘颞植8号’、‘莱星’、‘皮瓜尔’、‘豆果’、‘小苹果’、‘克罗莱卡’、‘格洛桑’、‘柯拉蒂’。叶片厚度大小排序为:‘皮瓜尔’>‘颞植8号’>‘克罗莱卡’>‘豆果’≈‘莱星’>‘阿桑贝娜’>‘格洛桑’≈‘小苹果’>‘柯拉蒂’。百叶干质量大小排序为:‘阿桑贝娜’>‘莱星’>‘颞植8号’>‘克罗莱卡’>‘皮瓜尔’>‘豆果’>‘小苹果’>‘格洛桑’>‘柯拉蒂’。综合来看,‘阿桑贝娜’叶相对长又宽,‘豆果’和‘小苹果’叶相对短又窄;百叶干质量、比叶面积最高和最低分别是‘阿桑贝娜’和‘柯拉蒂’。

表2 不同油橄榄品种叶片形态指标

Table 2 Leaf morphological indexes of different olive varieties

品种 variety	叶长/mm leaf length	叶宽/mm leaf width	叶片厚度/ mm leaf thi- ckness	百叶干 质量/g 100 leaf dry matter content
LX	56.72±2.02 bc	14.76±1.32 ab	0.62±0.08 b	154.47 ab
AS	67.04±3.58 a	15.27±0.61 a	0.60±0.04 b	163.35 a
GL	58.36±2.98 bc	10.19±0.72 c	0.54±0.02 b	124.38 de
DG	53.90±2.36 c	12.89±1.12 ab	0.62±0.05b	131.89 cd
KL	66.75±5.63 a	7.98±0.82 d	0.50±0.06 b	115.21 e
XP	48.40±1.58 d	12.79±1.29 b	0.54±0.03 b	126.83 de
EZ	54.94±2.18 bc	14.79±0.41 ab	0.74±0.21 ab	150.16 ab
PG	59.01±3.86 b	13.03±0.55 ab	0.90±0.13 a	144.21 bc
KLL	58.48±4.85 bc	12.57±1.23 b	0.69±0.13 ab	147.71 b

注:同列不同小写字母表示不同品种间差异显著($P < 0.05$)。下同。
Different lowercase letters in the table indicate significant differences between different varieties ($P < 0.05$). The same below.

2.2 不同油橄榄品种叶片形态指标参数分析

对9个品种油橄榄叶片光合特性测定后发现,在叶片净光合速率、叶片蒸腾速率、气孔导度这3个指标中最高的是‘阿桑贝娜’,最低的是‘格洛桑’,且‘阿桑贝娜’叶片净光合速率、叶片蒸腾速率、气孔导度较‘格洛桑’分别增加了2.78、2.37和1.33倍(表3)。各油橄榄品种气孔导度数值较小,但‘阿桑贝娜’叶片气孔导度最高,且显著高于除‘皮瓜尔’以外的其他品种($P < 0.05$),‘格洛桑’最低。叶片胞间 CO_2 浓度指标中,‘阿桑贝娜’最高,‘莱星’次之,‘小苹果’最低。叶温下蒸气压亏缺值指标中,‘莱星’最高,‘阿桑贝娜’次之,‘格洛桑’最低。综合来看,‘阿桑贝娜’叶片光合效能最佳,‘格洛桑’叶片光合效能最低。

表3 不同油橄榄品种叶片光合特性

Table 3 Photosynthetic characteristics of leaves of different olive varieties

品种 variety	$P_n/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	$T_r/$ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	$G_s/$ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	$C_i/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	$V_{\text{pdL}}/$ kPa
LX	8.01±0.07 b	2.32±0.01 b	0.06±0.00 cd	264.98±5.25 a	3.80±1.29 a
AS	11.94±0.22 a	2.53±0.01 a	0.07±0.00 a	269.75±0.67 a	3.46±0.01 ab
GL	3.16±0.00 g	0.75±0.00 i	0.03±0.00 e	225.74±4.06 b	2.33±0.02 c
DG	5.57±0.02 d	1.75±0.01 e	0.05±0.00 d	179.02±3.09 d	2.93±0.01 bc
KL	3.47±0.00 f	1.34±0.01 h	0.04±0.00 e	112.40±7.35 e	2.88±0.01 bc
XP	4.54±0.00 e	1.45±0.03 g	0.06±0.00 bc	106.29±0.45 e	2.86±0.04 bc
EZ	6.45±0.32 c	1.85±0.00 d	0.06±0.00 bc	222.82±1.81 bc	3.26±0.85 ab
PG	5.66±0.08 d	1.91±0.01 c	0.07±0.01 ab	203.12±20.70 c	3.02±0.03 abc
KLL	5.57±0.22 d	1.56±0.00 f	0.05±0.01 cd	176.39±1.70 d	2.79±0.01 bc

2.3 不同油橄榄品种叶片光合色素含量参数分析

对9个品种油橄榄叶片光合色素含量测定后发现(表4),‘阿桑贝娜’叶片叶绿素a含量最高,‘颞植8号’次之,‘格洛桑’最低;‘阿桑贝娜’叶绿素b含量最高,‘皮瓜尔’次之,‘格洛桑’最低;‘阿桑贝娜’、‘皮瓜尔’、‘格洛桑’叶片类胡萝卜素含量高于其他品种,‘颞植8号’次之,‘小苹果’

表4 不同油橄榄品种叶片光合色素含量

Table 4 Photosynthetic pigment contents in leaf of different olive varieties mg/g

品种 variety	叶绿素 a chlorophyll a	叶绿素 b chlorophyll b	类胡萝卜素 carotenoid
LX	0.95±0.11 abc	0.34±0.02 ab	0.05±0.02 abc
AS	1.34±0.28 a	0.49±0.14 a	0.06±0.01 a
GL	0.53±0.11 c	0.19±0.04 b	0.03±0.01 bc
DG	0.95±0.05 abc	0.34±0.00 ab	0.05±0.02 abc
KL	0.84±0.32 abc	0.28±0.05 ab	0.05±0.01 abc
XP	0.74±0.10 bc	0.29±0.11 ab	0.03±0.00 c
EZ	1.22±0.30 ab	0.41±0.01 a	0.05±0.02 abc
PG	1.15±0.08 ab	0.45±0.15 a	0.06±0.01 ab
KLL	0.90±0.24 abc	0.32±0.09 ab	0.06±0.01 a

最低。‘阿桑贝娜’叶绿素a含量和叶绿素b含量较‘格洛桑’分别增加了152.83% ($P<0.05$)和157.89% ($P<0.05$)。综合来看,‘阿桑贝娜’叶片光合色素含量相对较高,‘格洛桑’和‘柯拉蒂’叶片光合色素含量相对较低。

2.4 不同油橄榄品种叶片营养元素参数分析

对9个品种油橄榄叶片营养元素含量进行测定,发现‘阿桑贝娜’叶N含量高于其他品种,‘颞植8号’次之,‘小苹果’最低(表5)。(‘皮瓜尔’叶P含量最高,‘阿桑贝娜’次之,‘柯拉蒂’最低。‘阿桑贝娜’叶K含量高于其他品种,‘莱星’次之,‘小苹果’最低。‘皮瓜尔’叶Ca含量显著高于其他品种,‘颞植8号’次之,‘柯拉蒂’最低。‘颞植8号’叶Mg含量最高,‘阿桑贝娜’次之,‘柯拉蒂’最低。‘颞植8号’叶B含量显著高于其他品种,‘皮瓜尔’次之,‘小苹果’最低。‘阿桑贝娜’叶N、K含量较‘小苹果’增加了79.50%和43.73%。综合来看,‘阿桑贝娜’、‘颞植8号’、‘克罗莱卡’和‘皮瓜尔’叶片营养元素相对较高,‘格洛桑’、‘柯拉蒂’和‘小苹果’叶片营养元素相对较低。

表5 不同油橄榄品种叶片营养元素含量

Table 5 Contents of nutrient elements in leaf of different olive varieties

品种 variety	氮/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) N	磷/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) P	钾/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) K	钙/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) Ca	镁/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) Mg	硼/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) B
LX	64.01±2.87 bc	2.23±0.06 ab	3.22±0.28 ab	17.49±0.2 bc	3.64±0.06 abc	24.29±0.70 b
AS	78.71±0.93 a	2.26±0.26 ab	3.39±0.39 a	16.91±0.02 c	3.78±0.20 ab	23.95±0.05 b
GL	56.32±0.40 de	1.86±0.08 b	2.23±0.00 bc	16.43±1.08 c	3.27±0.27 bc	15.24±0.70 e
DG	69.07±0.43 b	2.17±0.17 ab	2.47±0.33 abc	16.78±1.15 c	3.40±0.09 bc	22.77±0.77 b
KL	51.66±0.38 e	1.85±0.26 b	2.03±0.24 c	12.33±0.27 e	2.95±0.15 c	18.28±0.30 d
XP	44.21±1.64 f	1.89±0.04 ab	1.85±0.32 c	14.44±0.55 d	3.29±0.30 bc	14.40±0.91 e
EZ	76.22±2.28 a	2.45±0.13 a	2.63±0.16 abc	19.13±0.34 b	4.24±0.30 a	28.14±0.44 a
PG	62.57±0.03 c	2.27±0.05 ab	2.62±0.31 abc	23.87±0.07 a	3.66±0.07 abc	24.66±0.93 b
KLL	58.61±0.52 cd	2.10±0.19 ab	2.51±0.24 abc	16.59±0.64 c	3.52±0.38 abc	20.52±0.38 c

3 讨论

植物的叶片功能性状,如叶形特征、叶干质量、光合生理特性和营养元素含量等与植物适应及利用生境资源能力紧密相关,在一定程度上可作为判断植物对环境适应性及生存能力的重要指标^[10-16]。通常来说,植物基因在调控叶片功能性状时起着重要的作用,同一品种的叶片功能性状在相同生境下差异较小,但相同生境不同品种间则差异较大^[21-23]。

研究表明,植物叶片厚度通常可以用来判断植物在不同生境下采用的适应对策,一般叶片较薄的植物生长采用开拓性策略,主要表现为生长速率提高和获取资源能力增强;叶片较厚的植物生长采用保守性策略,主要表现为养分储存效率提高和竞争优势增强^[24-27]。而植物叶片干质量与植物对养分的保持能力密切相关,较高的叶干质量使植物抵抗环境胁迫的能力增强,更有利于充分利用其生境中的各种资源^[26-28]。本试验中,9个不同的油橄榄品种在相同生境下,其叶片厚度与其干质量和养分

含量变化趋势大致相同,具体表现为叶片越厚,干质量和养分含量相对较高,和前人在3种木兰科(Magnoliaceae)植物幼苗叶片功能性状上研究结果相同^[29]。这说明油橄榄在生长方面采用了保守性策略,通过增加叶片厚度,将更多的营养元素储存在到器官,使其叶干质量增高,从而适应该地区生境,调整自身生存策略,获得更强的树种竞争优势^[27-29]。9个品种中以‘阿桑贝拉’、‘颞植8号’和‘莱星’表现较优,‘克拉蒂’、‘小苹果’和‘格洛桑’表现较差。

叶片作为植物进行光合作用的主要场所,其功能性状之间一般存在相互制约或促进的关系,叶片功能性状与光合参数也存在密切联系^[30-31]。如叶片功能性状中的比叶面积能够揭示植物对光照和其他资源的利用效率,比叶面积大表明植物叶片光资源获取更具优势,捕获光能量的能力更强、生理代谢更为活跃^[27,31-33]。本试验中,油橄榄的比叶面积和净光合速率、蒸腾速率、胞间CO₂浓度、叶温下蒸汽压亏缺以及胞间CO₂浓度变化趋势大致相同,油橄榄通过增加叶面积以捕获更多的太阳辐射,进而使叶片光合特性提高和干物质含量积累。光合色素含量的多少直接影响着植物光合作用中光合速率的高低,反映着植物光合强度的强弱^[33]。本试验中,叶片叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量高的油橄榄叶片P_n也高,说明光合色素含量高的油橄榄品种的光合能力更强。9个品种中以‘阿桑贝拉’、‘颞植8号’和‘莱星’表现较优,‘克拉蒂’、‘小苹果’和‘格洛桑’表现较差。

通过研究相同生境条件下9个油橄榄品种叶片功能性状种间差异,发现9个油橄榄品种叶片的6种功能性状(比叶面积、叶干质量、叶厚度、光合特性、光合色素含量和营养元素含量)表现出了一定的种间差异性,说明不同品种间在相同生境下叶片功能性状差异较大。总体而言,9个品种中以‘克拉蒂’、‘小苹果’和‘格洛桑’表现较差,‘阿桑贝拉’、‘颞植8号’、‘莱星’、‘豆果’、‘克罗莱卡’和‘皮瓜尔’表现较优,可在川中盆地推广应用。

参考文献(reference):

- [1] 陈剑英. 高产优质木本油料树种: 油橄榄[J]. 云南林业, 2006, 27(3): 30. CHEN J Y. Olive, a high yield and good quality woody oil tree[J]. Yunnan For, 2006, 27(3): 30.
- [2] 徐应杰. 凉山引进油橄榄品种幼苗抗旱性比较[D]. 成都: 四川农业大学, 2015. XU Y J. Comparison of drought resistance of seedlings of olive variety introduced in Liangshan[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2015.
- [3] 王成章, 陈强, 罗建军, 等. 中国油橄榄发展历程与产业展望[J]. 生物质化学工程, 2013, 47(2): 41-46. WANG C Z, CHEN Q, LUO J J, et al. Development and industrial prospect of China's olive[J]. Biomass Chem Eng, 2013, 47(2): 41-46. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5854.2013.02.009.
- [4] 王贵禧, 俞宁, 邓明全, 等. 中国油橄榄发展概况[J]. 林业科技通讯, 2000(1): 18-19. WANG G X, YU N, DENG M Q, et al. Development of olive oil in China[J]. For Sci Technol, 2000(1): 18-19. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4938.2000.01.006.
- [5] 邓煜. 中国油橄榄产业创新驱动发展的现状、趋势和对策[J]. 经济林研究, 2018, 36(2): 1-6. DENG Y. The status quo and trends of China olive industry innovation-driven development and relevant countermeasures[J]. Nonwood For Res, 2018, 36(2): 1-6. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2018.02.001.
- [6] 海光辉, 张正武, 邓煜, 等. 生物有机肥对油橄榄林地土壤化学性质的影响[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 75-80. HAI G H, ZHANG Z W, DENG Y, et al. Effects of biological organic fertilizer on chemical properties of olive forest soil[J]. Nonwood For Res, 2019, 37(4): 75-80. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2019.04.010.
- [7] 李聚桢. 我国油橄榄产业发展的探讨[J]. 粮油食品科技, 2012, 20(2): 23-26. LI J Z. Discussion on the development of olive industry in China[J]. Sci Technol Cereals Oils Foods, 2012, 20(2): 23-26. DOI: 10.3969/j.issn.1007-7561.2012.02.011.
- [8] 黎先进. 油橄榄低产园改造技术要点[J]. 四川林业科技, 1990, 11(3): 55-58. LI X J. Technical points of low yield olive orchard transformation[J]. J Sichuan For Sci Technol, 1990, 11(3): 55-58. DOI: CNKI: SUN; SCLK.0.1990-03-012.
- [9] 陈宪初. 我国油橄榄种植区温度条件的初步研究[J]. 林业科学, 1988, 24(3): 325-331. CHEN X C. A preliminary study on temperature conditions in olive planting areas in China[J]. Sci Silvae Sin, 1988, 24(3): 325-331.
- [10] 王常顺, 汪诗平. 植物叶片性状对气候变化的响应研究进展[J]. 植物生态学报, 2015, 39(2): 206-216. WANG C S, WANG S P. A review of research on responses of leaf traits to climate change[J]. Chin J Plant Ecol, 2015, 39(2): 206-216. DOI: 10.17521/cjpe.2015.0020.
- [11] 王玉平, 陶建平, 刘晋仙, 等. 不同光环境下6种常绿阔叶林树种苗期的叶片功能性状[J]. 林业科学, 2012, 48(11): 23-29. WANG Y P, TAO J P, LIU J X, et al. Response of leaf functional traits to different light regimes in an evergreen broad-leaved forest in the Jinyun Mountain[J]. Sci Silvae Sin, 2012, 48(11): 23-29.
- [12] 孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境及生态系统功能[J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 150-165. MENG T T, NI J, WANG G H. Plant functional traits, environments and ecosystem functioning[J]. Chin J Plant Ecol, 2007, 31(1): 150-165. DOI: 10.17521/cjpe.2007.0019.
- [13] 宋璐璐, 樊江文, 吴绍洪. 植物叶片性状沿海拔梯度变化研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(11): 1431-1439. SONG L L, FAN J W, WU S H. Research advances on changes of leaf traits along an altitude gradient[J]. Prog Geogr, 2011, 30(11): 1431-1439. DOI: 10.11820/dlkxjz.2011.11.014.
- [14] VENDRAMINI F, DÍAZ S, GURVICH D E, et al. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species[J]. New Phytol, 2002, 154(1): 147-157. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2002.00357.x.
- [15] NIINEMETS Ü. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs[J]. Ecology, 2001, 82(2): 453-469. DOI: 10.1890/0012-9658(2001)082

- [0453;GSCCOL]2.0.CO;2.
- [16] WRIGHT I J, REICH P B, CORNELISSEN J H C, et al. Modulation of leaf economic traits and trait relationships by climate[J]. *Glob Ecol Biogeogr*, 2005, 14(5): 411-421. DOI: 10.1111/j.1466-822x.2005.00172.x.
- [17] 王尧尧. 川中丘陵区油橄榄引种主要品种叶片功能性状特征及其与坐果结实的关系[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016. WANG Y Y. Characteristics of leaf function and its relationship with fruit setting of main varieties of olive introduction in hilly region of central Sichuan [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2016.
- [18] CORNELISSEN J H C, LAVOREL S, GARNIER E, et al. a handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide [J]. *Aust J Bot*, 2003, 51(4): 335-380. DOI: 10.1071/bt02124.
- [19] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. LI H S. Modern plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [20] 全月澳, 周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京: 农业出版社, 1982. TONG Y A, ZHOU H J. Nutritional diagnosis of fruit trees [M]. Beijing: Agricultural Press, 1982.
- [21] KIRAN T V, RAO Y V, SUBRAHMANYAM D, et al. Variation in leaf photosynthetic characteristics in wild rice species [J]. *Photosynthetica*, 2013, 51(3): 350-358. DOI: 10.1007/s11099-013-0032-3.
- [22] 陆柳英, 曹升, 谢向誉, 等. 木薯叶形与光合特性、SPAD 值的相关性研究[J]. *南方农业学报*, 2014, 45(4): 558-564. LU L Y, CAO S, XIE X Y, et al. Correlation of leaf shape of cassava with SPAD value and photosynthetic characteristics [J]. *J South Agric*, 2014, 45(4): 558-564. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1191.2014.4.558.
- [23] OSNAS J L D, LICHSTEIN J W, REICH P B, et al. Global leaf trait relationships: mass, area, and the leaf economics spectrum [J]. *Science*, 2013, 340(6133): 741-744. DOI: 10.1126/science.1231574.
- [24] LOHBECK M, POORTER L, PAZ H, et al. Functional diversity changes during tropical forest succession [J]. *Perspect Plant Ecol Evol Syst*, 2012, 14(2): 89-96. DOI: 10.1016/j.ppees.2011.10.002.
- [25] 祁建, 马克明, 张育新. 北京东灵山不同坡位辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 叶属性的比较 [J]. *生态学报*, 2008, 28(1): 122-128. QI J, MA K M, ZHANG Y X. Comparisons on leaf traits of *Quercus liaotungensis* Koidz. on different slope positions in Dongling Mountain of Beijing [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, 28(1): 122-128. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2008.01.014.
- [26] 刘金环, 曾德慧, DON K L. 科尔沁沙地东南部地区主要植物叶片性状及其相互关系 [J]. *生态学杂志*, 2006, 25(8): 921-925. LIU J H, ZENG D H, DON K L. Leaf traits and their interrelationships of main plant species in southeast Horqin sandy land [J]. *Chin J Ecol*, 2006, 25(8): 921-925. DOI: CNKI; SUN; STXZ.0.2006-08-009.
- [27] 喻阳华, 钟欣平, 程雯. 黔西北地区优势树种叶片功能性状与经济谱分析 [J]. *森林与环境学报*, 2018, 38(2): 196-201. YU Y H, ZHONG X P, CHENG W. Analysis of relationship among leaf functional traits and economics spectrum of dominant species in northwestern Guizhou Province [J]. *J For Environ*, 2018, 38(2): 196-201. DOI: 10.13324/j.cnki.jfcf.2018.02.011.
- [28] 李颖, 姚婧, 杨松, 等. 东灵山主要树种在不同环境梯度下的叶功能性状研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2014, 36(1): 72-77. LI Y, YAO J, YANG S, et al. Leaf functional traits of main tree species at different environmental gradients in Dongling Mountain, Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 2014, 36(1): 72-77.
- [29] 李超, 赵广东, 史作民, 等. 3 种木兰科植物幼苗叶片功能性状及关联性分析 [J]. *江西农业大学学报*, 2016, 38(1): 19-26. LI C, ZHAO G D, SHI Z M, et al. The leaf functional traits and their correlation analysis of three seedlings of Magnoliaceae [J]. *Acta Agric Univ Jiangxiensis*, 2016, 38(1): 19-26. DOI: 10.13836/j.jjau.2016003.
- [30] READ Q D, MOORHEAD L C, SWENSON N G, et al. Convergent effects of elevation on functional leaf traits within and among species [J]. *Funct Ecol*, 2014, 28(1): 37-45. DOI: 10.1111/1365-2435.12162.
- [31] 吕金枝, 苗艳明, 张慧芳, 等. 山西霍山不同功能型植物叶性状的比较研究 [J]. *武汉植物学研究*, 2010, 28(4): 460-465. LV J Z, MIAO Y M, ZHANG H F, et al. Comparisons of leaf traits among different functional types of plant from Huoshan Mountain in the Shanxi Province [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2010, 28(4): 460-465. DOI: 10.3724/SP.J.1142.2010.40460.
- [32] 赵威, 李亚鸽, 王艳杰. 植物补偿性光合作用的发生模式及生理机制分析 [J]. *植物生理学报*, 2016, 52(12): 1811-1818. ZHAO W, LI Y G, WANG Y J. The occurrence patterns and physiological mechanism analysis of plant compensatory photosynthesis [J]. *Plant Physiol Commun*, 2016, 52(12): 1811-1818. DOI: 10.13592/j.cnki.ppj.2016.0394.
- [33] FIELD C, MOONEY H A. Leaf age and seasonal effects on light, water, and nitrogen use efficiency in a California shrub [J]. *Oecologia*, 1983, 56(2/3): 348-355. DOI: 10.1007/bf00379711.

(责任编辑 郑琰琰 涂忠华)