

早实核桃不同品种抗旱性综合评价

刘杜玲, 彭少兵, 孙红梅, 张博勇*, 朱海兰

(西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要: 以 12 个早实核桃品种苗木为试材, 采用自然干旱胁迫及复水的方法, 测定了复水后各品种与抗旱性有关的生长指标、生理生化指标、光合指标及叶绿素荧光指标。对复水后各指标进行主成分分析, 筛选出影响抗旱性的 5 个主要指标, 利用隶属函数对早实核桃品种的抗旱性进行了综合评价。结果表明: 12 个早实核桃品种抗旱性强弱依次为: 辽核 1 号 > 中林 5 号 > 新早丰 > 温 185 > 鲁光 > 中林 1 号 > 辽核 4 号 > 扎 343 > 强特勒 > 香玲 > 西林 2 号 > 西扶 1 号。此评价结果与大田试验结果基本一致。

关键词: 核桃; 早实; 土壤干旱胁迫; 多元统计分析; 抗旱性综合评价

中图分类号: S 664.1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2014) 05-0967-08

Comprehensive Evaluation on Drought Resistance of Early Fruiting Walnut Cultivars

LIU Du-ling, PENG Shao-bing, SUN Hong-mei, ZHANG Bo-yong*, and ZHU Hai-lan

(College of Forest, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The seedlings of 12 early fruiting walnut cultivars were used as the test materials in this study to determinate drought resistance index such as physiological and biochemical index, photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters by using natural drought stress and after rewatering method. Then 5 major indicators were selected by using principal component analysis to analyze drought resistance coefficient of each drought resistance index characters. And then the drought resistance of early fruiting walnut varieties were comprehensively evaluated by using membership function. The sequence of drought resistance of twelve early fruiting walnut cultivars were: Liaohe 1 > Zhonglin 5 > Xinzaofeng > Wen 185 > Luguang > Zhonglin 1 > Liaohe 4 > Za 343 > Chandler > Xiangling > Xilin 2 > Xifu 1. The evaluation result is similar to the results tested in the field.

Key words: walnut; early fruiting; soil drought stress; multiple statistics analysis; drought resistant comprehensive evaluation

中国早实核桃栽培品种主要为 20 世纪 90 年代评定的首批早实核桃新品种(高焕章, 2005), 包括京 861、中林 1 号、中林 5 号、香玲、丰辉、鲁光、辽核 1 号、辽核 3 号、辽核 4 号、温 185、新早丰、扎 343、绿波、陕核 1 号、西林 2 号和西扶 1 号。这些品种在全国范围内推广种植, 取得

收稿日期: 2013 - 11 - 28; 修回日期: 2014 - 03 - 24

基金项目: 陕西省农业攻关项目 (2010K01-26)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: zhangboyong369@sina.com)

了良好的经济、生态和社会效益。然而中国核桃产区主要集中于干旱和半干旱地区,春季和初夏干旱少雨,且降水分布不均匀(谷瑞升等,1994),因此水分成为影响核桃苗木栽植成活、生长发育、坚果产量和品质等的关键因子,也是制约这些地区核桃产业发展的瓶颈因素。目前有关研究主要集中在植物对水分胁迫的生长及生理响应,表现在枝条、果实生长减缓(谷瑞升等,1994;叶乃好等,2004)、叶片含水量下降、光合速率及荧光参数改变(蔡海霞等,2011; Habermann et al., 2011)、活性氧自由基的积聚(Liu et al., 2011)、膜脂过氧化产物、细胞渗透调节物质含量增加,保护酶活性升高(姜英淑等,2009;王宇超等,2010;邓丽娟等,2011)等。其中叶片含水量、丙二醛含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、超氧化物歧化酶活性、净光合速率及叶绿素荧光等生理指标可作为评价植物抗旱性强弱的指标(罗明华等,2010;黄承玲等,2011;李娟等,2011;陈文荣等,2012;牛素贞和樊卫国,2013)。

然而有关核桃水分胁迫及抗旱性研究较少。有学者研究了土壤水分胁迫对核桃叶片叶绿素荧光特性(史胜青等,2003;吕芳德等,2006)、生理生化特性(侯栋等,2010)及水力学对气孔开闭的影响(Cochard et al., 2002),但这些研究品种单一,而且测定的指标也不全面。本研究中以生产上推广的12个早实核桃良种苗木为试材,采用自然干旱胁迫及复水的方法,对复水后测定的9个指标(包括生长指标、生理生化指标、光合指标及叶绿素荧光指标)的抗旱系数采用主成分分析、隶属函数和聚类分析,综合评价了12个早实核桃品种的抗旱性,为核桃抗旱品种选育、引种栽培及栽培区划分提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验设计

试验材料为2年生早实核桃嫁接苗(砧木为1年生辽核3号实生苗),共12个品种——鲁光、扎343、强特勒、中林5号、辽核4号、西林2号、中林1号、温185、西扶1号、香玲、辽核1号和新早丰。

试验在西北农林科技大学苗圃进行。于2011年3月上旬选择生长健壮,高度、粗度基本一致的苗木盆栽。盆高30 cm,上口径25 cm,栽培基质比例为熟土:营养土:沙=3:2:1,每盆栽1株,每品种10盆。盆栽成活后选择生长势基本一致的苗木(高度68~70 cm、地径0.9~1.0 cm)于5月中旬开始进行自然重度干旱胁迫,待部分品种叶片萎蔫(干旱胁迫至55 d)、土壤相对含水量为22%~26%(罗明华等,2010;邓丽娟等,2011)时复水。复水后7 d(姜英淑等,2009)取样测定生长指标、生理生化指标、叶绿素荧光指标和光合指标,苗木停长后(对照和处理苗木均在枝条顶芽形成15 d后)测定生长指标。对照苗木正常浇水,土壤相对含水量保持在75%~80%,试验重复5次,每重复2株苗木。

1.2 生理生化指标及土壤相对含水量测定

于上午7—8时,取单株同方向同部位枝条的中部成熟叶片于冰盒中,迅速带回实验室于-70℃超低温冰箱中保存备用,各处理重复的每个指标平行测定3次。

丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法,可溶性糖含量采用蒽酮比色法,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用高俊凤(2000)的方法,叶片相对含水量采用饱和称量法(李娟等,2011),土壤相对含水量测定采用烘干法(Jiang & Huang, 2002)测定。

1.3 叶绿素荧光和气体交换参数测定

选择晴朗天气于上午 9—11 时, 在每品种单株同部位同方向选取同节位复叶上第 3 ~ 4 片功能叶 5 片, 标记后采用便携式荧光测定仪 Pocket PEA Chlorophyll II Fluorimeter (英国 Hansatech 公司生产) 测定叶绿素荧光, 叶片暗适应 20 min 后, 记录 10 μ s 至 1 s 时间段叶绿素最大荧光参数 (F_m) 和 PS II 最大光化学量子产量 (F_v/F_m)。用 Li-6400 便携式光合测定仪 (美国 Li-COR 公司生产) 测定净光合速率 (P_n), 选用红蓝光源, 叶室中 PAR (photosynthesis active radiation) 设定为 1 000 μ mol \cdot m⁻² \cdot s⁻¹, 每叶片读数重复 3 次。

1.4 生长指标测定

固定标记长度、粗度基本一致的枝条, 苗木停长后 (枝条顶芽形成后) 按常规方法测定枝条长度和粗度。计算枝条长度相对生长量和粗度相对生长量 (叶乃好 等, 2004)。

相对生长量 (%) = (处理后生长量 - 处理前生长量) / (对照处理后生长量 - 对照处理前生长量) \times 100。

1.5 数据处理及抗旱性综合评价

采用 Excel 和 SPSS 16.0 软件进行数据处理, 对干旱胁迫复水后各指标性状的抗旱系数 (相对值) (李贵全 等, 2006; 田治国 等, 2011; 张智猛 等, 2011) 求隶属函数值, 采用主成分分析法确定指标的权重, 加权求和得出早实核桃品种抗旱性度量值。以抗旱性度量值进行模糊聚类分析, 综合评价早实核桃品种的抗旱性。

抗旱系数 (%) = 干旱胁迫复水后指标测定值 / 对照指标测定值 \times 100。

隶属函数值计算公式为: $U_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$; 指标与抗旱性呈若负相关, 则 $U_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$ 。式中, X_{ij} 表示 i 品种 j 指标抗旱系数的测定值, X_{jmax} 和 X_{jmin} 分别表示最大值和最小值 (黄承玲 等, 2011)。

抗旱性度量值 (D) 计算公式为: $D = \sum_{j=1}^m [U(X_{ij}) \cdot W_j]$ 。式中, W_j 为指标的权重。

1.6 大田试验

于 2009 年 3 月在陕西富平杜村乡吕村塬选择地势较高的平地作为试验地, 将上述 12 个早实核桃品种 2 年生嫁接苗 (高度约 70 cm, 地径约 0.9 cm) 进行定植, 株行距 3 m \times 3 m, 随机区组设计, 每小区栽 30 株, 每品种设 3 个重复。以有机肥作基肥, 正常除草及雨后施肥, 以自然降水为唯一水源, 于 2011 年 3 月调查植株死亡率、树高、地径及冠幅。

2 结果与分析

2.1 早实核桃品种各指标抗旱系数分析

干旱胁迫及复水后, 不同早实核桃品种的形态指标、生理指标和光合荧光指标的抗旱系数变化程度不同 (表 1)。 '温 185' 枝条长度相对生长量的抗旱系数最大 (83.9%), 说明复水后枝条恢复生长的能力较强, '香玲' 最小 (40.4%), 说明恢复生长能力较弱。 '新早丰' 枝条粗度相对生长量的抗旱系数最大 (63.5%), '西扶 1 号' 最小 (28.9%)。 '新早丰' 叶片相对含水量的抗旱系数最大 (98.3%), '香玲' 和 '西林 2 号' 最小 (80.2%), 但所有品种叶片相对含水量抗旱系数均在 80% 以上, 说明干旱胁迫复水后叶片相对含水量基本可以恢复至正常水平。SOD 活性抗旱系数 '中林 1 号' 最高 (114.9%), '西林 2 号' 最低 (86.3%), 除 '强特勒' 、 '西林 2 号' 和 '香玲' 外,

其它品种 SOD 活性抗旱系数均在 100%以上,说明干旱胁迫复水后 SOD 活性迅速提高,且均高于对照。‘扎 343’MDA 含量抗旱系数最大(123.6%),‘鲁光’最小(80.3%),除个别品种外,其余品种 MDA 含量抗旱系数均在 100%以上,说明干旱胁迫造成脂膜严重过氧化受损,导致 MDA 积累,复水后细胞膜基本没有得到修复。‘中林 5 号’可溶性蛋白含量抗旱系数最高(116.4%),‘强特勒’最低(73.2%);‘鲁光’可溶性糖含量抗旱系数最高(130.2%),‘中林 1 号’最低(75.2%),但两种渗透调节物质含量均在 73%以上。‘新早丰’净光合速率(P_n)抗旱系数最高(62.1%),‘西扶 1 号’最低(39.6%),多数品种 P_n 在 50%以下,说明干旱胁迫及复水后 P_n 严重下降。‘中林 1 号’和‘新早丰’ F_v/F_m 抗旱系数最高(98.8%),‘扎 343’最低(89.9%),说明复水后各品种 PS II 最大光化学量子产量接近至对照水平。

表 1 早实核桃干旱胁迫复水后各指标的抗旱系数

Table 1 Drought resistant coefficients of different indexs after drought stress and rewatering of early fruiting walnut cultivars %									
品种 Cultivar	枝条相对生长量 Relative growth rate		相对含水量 Relative water content	SOD	MDA	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	P_n	F_v/F_m
	长 Length	直径 Diameter							
鲁光 Luguang	67.3	48.2	93.1	111.4	80.3	76.5	130.2	49.0	93.8
扎 343 Zha 343	58.9	31.7	83.9	107.8	123.6	90.1	97.9	47.3	89.9
强特勒 Chandler	55.7	43.4	85.8	98.5	112.5	73.2	119.3	45.4	95.1
中林 5 号 Zhonglin 5	79.3	47.5	95.2	108.8	113.8	116.4	104.5	60.6	95.2
辽核 4 号 Liaoh 4	65.1	36.9	91.8	108.4	101.0	78.6	97.6	53.2	96.3
西林 2 号 Xilin 2	47.9	35.8	80.2	86.3	113.7	84.4	79.2	53.6	95.1
中林 1 号 Zhonglin 1	68.2	49.4	92.3	114.9	109.3	78.3	75.2	46.8	98.8
温 185 Wen 185	83.9	46.0	97.3	111.3	82.5	96.9	114.3	48.1	93.8
西扶 1 号 Xifu 1	50.8	28.9	81.8	101.7	114.1	75.9	94.0	39.6	93.9
香玲 Xiangling	40.4	33.4	80.2	96.3	101.5	86.3	86.0	61.4	96.3
辽核 1 号 Liaoh 1	80.7	59.6	95.9	106.3	103.9	112.6	109.6	56.8	94.0
新早丰 Xinzaofeng	82.4	63.5	98.3	114.3	113.3	88.5	96.5	62.1	98.8

2.2 抗旱指标的筛选

主成分分析法可将多个原始指标转换为新的较少的综合指标进行分析,这样就能较好地综合反映早实核桃品种间的抗旱性差异。由表 2 可知,前 4 个主成分贡献率分别为:45.740%、20.698%、14.397%、9.803%,累积贡献率达 90.638%(> 85%)。说明前 4 个主成分代表了全部性状 90.638%的综合信息,基本上能覆盖原始数据的信息。第一主成分方差贡献率为 45.740%,主要由枝条长度相对生长量、枝条粗度相对生长量、叶片相对含水量决定。第二主成分方差贡献率为 20.698%,主要由可溶性糖含量、 P_n 、 F_v/F_m 决定。第三主成分方差贡献率为 14.397%,由可溶性蛋白质含量决定,第四主成分方差贡献率为 9.803%,由 SOD 活性和 MDA 含量决定。

以每个主成分所对应的特征值除以主成分特征值之和作为主成分综合模型中各主成分的系数,得到主成分综合模型。主成分综合模型计算公式为: $F = \frac{\lambda_1}{\lambda} F_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda} F_2 + \frac{\lambda_3}{\lambda} F_3 + \frac{\lambda_4}{\lambda} F_4$, 其中 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4$ 。

主成分综合模型为: $F = 0.238X_1 + 0.215 X_2 + 0.211X_3 + 0.152X_4 + 0.085X_5 + 0.257X_6 - 0.019X_7 + 0.185X_8 + 0.059X_9$ 。

在综合模型中, $X_1 \sim X_9$ 分别代表枝条长度相对生长量、枝条粗度相对生长量、相对含水量、SOD、MDA、可溶性蛋白质、可溶性糖、 P_n 和 F_v/F_m 。每个指标前的系数为每个指标的权重,根据指标权

重大小, 可看出干旱胁迫下各指标的重要性。权重越大, 重要性越大。因此, 9 个指标中能反映早实核桃抗旱能力的 5 个指标依次为: 可溶性蛋白含量、枝条长度相对生长量、枝条粗度相对生长量、叶片相对含水量和净光合速率 (指标的权重较大, 均在 0.185 以上)。

表 2 早实核桃品种抗旱系数的特征根及贡献率

Table 2 The Eigen value and contribution rate of drought-resistant coefficients of early fruiting walnut cultivars

主成分 Principal components	特征值 Eigen value	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
1	4.117	45.740	45.740
2	1.863	20.698	66.438
3	1.296	14.397	80.835
4	0.882	9.803	90.638
5	0.422	4.687	95.324
6	0.254	2.819	98.144
7	0.103	1.146	99.290
8	0.062	0.685	99.975
9	0.002	0.025	100.000

2.3 盆栽早实核桃品种抗旱性综合评定

以筛选出的 5 个抗旱指标 (可溶性蛋白含量、枝条长度相对生长量、枝条粗度相对生长量、叶片相对含水量和净光合速率) 为依据, 计算隶属函数值、指标权重得到各品种的抗旱性度量值, 抗旱性度量值越大, 抗旱性越强。由表 3 知, ‘辽核 1 号’ 的抗旱性度量值最大 (0.970), 其次是 ‘中林 5 号’ 和 ‘新早丰’, ‘西扶 1 号’ 的抗旱性度量值最小 (0.092)。12 个早实核桃品种抗旱性强弱为: 辽核 1 号 > 中林 5 号 > 新早丰 > 温 185 > 鲁光 > 中林 1 号 > 辽核 4 号 > 扎 343 > 强特勒 > 香玲 > 西林 2 号 > 西扶 1 号。

表 3 早实核桃品种抗旱性隶属函数值 $U(X)$ 、权重 W_j 和抗旱性度量值

Table 3 Subjection function value, index weight and drought resistance value of early fruiting walnut cultivars

品种 Cultivar	U(1)	U(2)	U(3)	U(4)	U(5)	抗旱性度量值 Drought-tolerance value	排序 Order
辽核 1 号 Liaohe 1	0.926	0.887	0.867	0.912	0.764	0.970	1
中林 5 号 Zhonglin 5	0.894	0.538	0.829	1.000	0.933	0.933	2
新早丰 Xinzaofeng	0.966	1.000	1.000	0.354	1.000	0.932	3
温 185 Wen 185	1.000	0.494	0.945	0.549	0.378	0.754	4
鲁光 Lugunag	0.618	0.558	0.713	0.076	0.418	0.514	5
中林 1 号 Zhonglin 1	0.639	0.592	0.669	0.118	0.320	0.510	6
辽核 4 号 Liaohe 4	0.568	0.231	0.641	0.125	0.604	0.464	7
扎 343 Zha 343	0.425	0.081	0.204	0.391	0.342	0.326	8
强特勒 Chandler	0.352	0.419	0.309	0	0.258	0.287	9
香玲 Xiangling	0	0.130	0	0.303	0.969	0.285	10
西林 2 号 Xilin 2	0.172	0.199	0	0.259	0.622	0.266	11
西扶 1 号 Xifu 1	0.239	0	0.088	0.063	0	0.092	12
权重 W_j	0.238	0.215	0.211	0.257	0.185		

2.4 大田试验结果

在干旱地区（陕西富平）进行了 2 年的大田观察试验，从结果（表 4）可知，存活率、树高、地径、冠幅最高的品种均为‘辽核 1 号’，最低品种均为‘西扶 1 号’，各品种在存活率、树高、地径、冠幅上存在显著或不显著差异。12 个品种存活率排序为：辽核 1 号 > 中林 5 号 > 新早丰 > 温 185 > 鲁光 > 中林 1 号 > 辽核 4 号 > 扎 343 > 强特勒 > 香玲 > 西林 2 号 > 西扶 1 号，这一结果与综合评价结果（表 3）一致。

表 4 大田栽培条件下干旱对 12 个早实核桃品种生长的影响

Table 4 The survival rate and growth of twelve early fruiting walnut cultivars under the drought stress in field experiments

品种 Cultivar	存活率/% Survival rate	树高/cm Plant height	地径/cm Caliper	冠幅/cm ² Crown diameter
辽核 1 号 Liaohe 1	93.51 a	118 a	2.31 a	90.4 ab
中林 5 号 Zhonglin 5	92.12 a	112 a	2.25 a	87.2 ab
新早丰 Xinzaofeng	90.23 a	110 a	2.23 a	86.5 ab
温 185 Wen 185	85.46 b	105 b	2.00 b	84.1 ab
鲁光 Lugunag	78.43 c	95 bc	1.91 bc	80.3 b
中林 1 号 Zhonglin 1	77.12 c	97 b	1.89 c	81.2 b
辽核 4 号 Liaohe 4	75.65 c	98 b	1.82 c	79.8 b
扎 343 Zha 343	70.22 d	85 cde	1.75 d	65.7 c
强特勒 Chandler	70.13 d	80 de	1.62 ef	63.4 cd
香玲 Xiangling	68.35 d	83 de	1.69 de	62.8 cd
西林 2 号 Xilin 2	67.85 d	82 de	1.67 de	61.5 cd
西扶 1 号 Xifu 1	55.28 e	75 e	1.58 f	55.3 d

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著（ $P < 0.05$ ）。

Note: Different small letters in the same column meant significant difference at 0.05 level among cultivars.

3 讨论

植物的抗旱性是复杂的数量性状，受多基因控制，不同植物种类、同一种类的不同品种抵御干旱的机制是复杂多样的，抗旱方式也不尽相同，用任何单一指标研究植物的抗旱性都有一定的局限性（王贺正，2007；张智猛等，2011）。而且，仅使用某些指标的绝对值比较其抗旱性，不能消除品种间的固有差异，必然影响判断的准确性。因此选择不同胁迫环境下各指标的相对值（即抗旱系数）进行分析，消除了品种间的固有差异，可以真正反映出品种抗旱性的强弱。同时用相对值进行分析时，不仅同一指标间可以直接比较，不同指标间也可以进行比较，指标间的变化趋势明显，可比性更强（胡标林等，2007）。本研究中以 12 个早实核桃品种为试材，选择水分胁迫条件下与抗旱性密切相关的 9 项指标，利用复水后各指标性状的抗旱系数进行主成分分析，确定指标权重，筛选出对早实核桃抗旱性贡献较大的 5 个指标：可溶性蛋白含量、枝条长度相对生长量、枝条粗度相对生长量、叶片相对含水量和净光合速率。

目前，主成分分析并结合隶属函数方法已被广泛应用于多种植物的抗逆性评价。本研究中采用该方法综合评价了 12 个早实核桃品种的抗旱性，其强弱排序为：辽核 1 号 > 中林 5 号 > 新早丰 > 温 185 > 鲁光 > 中林 1 号 > 辽核 4 号 > 扎 343 > 强特勒 > 香玲 > 西林 2 号 > 西扶 1 号。这一结果与为期 2 年的大田试验结果基本一致。但与白重炎等（2010）对 12 个核桃品种叶片解剖结构及其抗旱性研究的结果不尽一致，这可能与供试品种的树龄及采样时间不同有关。因为树龄及叶龄不同，即品种的发育阶段不同，其抗旱能力存在差异。

可见，基于多指标的多元统计分析能够比较准确地反映早实核桃品种的抗旱性，可以用于核桃

抗旱性分析和评价, 为核桃在幼树期抗旱性的快速鉴定提供参考。

References

- Bai Chong-yan, Gao Shang-feng, Zhang Ying, Chen Chao. 2010. Analysis of anatomical leaf structure and drought resistance in 12 varieties of walnut. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 19 (7): 125 - 128. (in Chinese)
- 白重炎, 高尚风, 张颖, 陈超. 2010. 12 个核桃品种叶片解剖结构及其抗旱性研究. *西北农业学报*, 19 (7): 125 - 128.
- Cai Hai-xia, Wu Fu-zhong, Yang Wan-qin. 2011. Effects of drought stress on the photosynthesis of *Salix paraqpleisia* and *Hippophae rhamnoides* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 31 (9): 2430 - 2436. (in Chinese)
- 蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤. 2011. 干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响. *生态学报*, 31 (9): 2430 - 2436.
- Chen Wen-rong, Zeng Wei-wei, Li Yun-xia, Li Yong-qiang, Guo Wei-dong. 2012. The physiological responds of highbush blueberry to drought stress and the comprehensive evaluation on their drought resistance capacity. *Acta Horticulturae Sinica*, 39 (4): 637 - 646. (in Chinese)
- 陈文荣, 曾玮玮, 李云霞, 李永强, 郭卫东. 2012. 高丛蓝莓对于干旱胁迫的生理响应及其抗旱性综合评价. *园艺学报*, 39 (4): 637 - 646.
- Cochard H, Coll L, Le Roux X, Ameglio T. 2002. Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in walnut. *Plant Physiology*, 128 (1): 282 - 290.
- Deng Li-juan, Shen Hong-xiang, Yao Yun-cong. 2011. Differences responses of ornamental crabapple cultivars to soil drought stress. *Scientia Silvae Sinicae*, 47 (3): 25 - 32. (in Chinese)
- 邓丽娟, 沈红香, 姚允聪. 2011. 观赏海棠品种对土壤干旱胁迫的响应差异. *林业科学*, 47 (3): 25 - 32.
- Gao Huan-zhang. 2005. Brief introduction of walnut resources in USA and China. *Journal of Yangtze University*, 2 (11): 22 - 36. (in Chinese)
- 高焕章. 2005. 中美核桃种质资源简介. *长江大学学报*, 2 (11): 22 - 36.
- Gao Jun-feng. 2000. *Plant physiology laboratory technology*. Xi'an: World Publishing Corporation: 135 - 149. (in Chinese)
- 高俊凤. 2000. *植物生理实验技术*. 西安: 世界图书出版公司: 135 - 149.
- Gu Rui-sheng, Xi Rong-ting, Liu Wan-sheng. 1994. Effect of water stress on the growth and fruitage of precocious walnuts. *Scientia Silvae Sinicae*, 30 (1): 79 - 82. (in Chinese)
- 谷瑞升, 郗荣庭, 刘万生. 1994. 水分胁迫对早实核桃生长和结果的影响. *林业科学*, 30 (1): 79 - 82.
- Habermann G, Ellsworth P F V, Cazotoc J L. 2011. Comparative gas exchange performance during the wet season of three *Brazilian Styrax* species under habitat conditions of cerrado vegetation types differing in soil water availability and crown density. *Flora*, 206: 351 - 359.
- Hou Dong, Ma Feng-yun, Wang Di. 2010. Effects of drought stress on physiological indices of four *Juglans regia* cultivars. *Journal of Southwest Forestry University*, 30 (3): 24 - 27. (in Chinese)
- 侯栋, 马风云, 王笛. 2010. 干旱胁迫对 4 个核桃品种生化指标的影响. *西南林学院学报*, 30 (3): 24 - 27.
- Hu Biao-lin, Yu Shou-wu, Wan Yong. 2007. Drought-resistance identification of dongxiang common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff1) in whole growth period. *Acta Agronomica Sinica*, 33 (3): 425 - 432. (in Chinese)
- 胡标林, 余守武, 万勇. 2007. 东乡普通野生稻全生育期抗旱性鉴定. *作物学报*, 33 (3): 425 - 432.
- Huang Cheng-ling, Chen Xun, Gao Gui-long. 2011. Physiological response of seedlings of three azalea species of drought stress and evaluation of drought resistance. *Scientia Silvae Sinicae*, 47 (6): 48 - 55. (in Chinese)
- 黄承玲, 陈训, 高贵龙. 2011. 3 种高山杜鹃对持续干旱的生理响应及抗旱性评价. *林业科学*, 47 (6): 48 - 55.
- Jiang Ying-shu, Chen Shu-ming, Wang Qiu-yu. 2009. Effects of the drought stress on physiological characteristics of two *Cerasus humilis* provenances. *Scientia Silvae Sinicae*, 45 (6): 6 - 10. (in Chinese)
- 姜英淑, 陈书明, 王秋玉. 2009. 干旱胁迫对 2 个欧李种源生理特征的影响. *林业科学*, 45 (6): 6 - 10.
- Jiang Y W, Huang B R. 2002. Protein alterations in tall fescue inresponse to drought stress and abscisicacid. *Crop Science*, 42 (1): 202 - 207.
- Li Gui-quan, Zhang Hai-yan, Ji Lan, Zhao Er-kai. 2006. Comprehensive evaluation on drought-resistance of different soybean cultivars. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17 (12): 2408 - 2412. (in Chinese)
- 李贵全, 张海燕, 季兰, 赵二开. 2006. 不同大豆品种抗旱性综合评价. *应用生态学报*, 17 (12): 2408 - 2412.

- Li Juan, Peng Zhen-hua, Gao Jian, Chen Yuan-wen. 2011. Photosynthetic parameters and chlorophyll fluorescence characteristics of *Pleioblastus kongosanensis* f. *aureostriatus* under drought stress. Chinese Journal of Applied Ecology, 22 (6): 1395 - 1402. (in Chinese)
- 李 娟, 彭镇华, 高 健, 陈媛文. 2011. 干旱胁迫下黄条金刚竹的光合和叶绿素荧光特性. 应用生态学报, 22 (6): 1395 - 1402.
- Liu C C, Liu Y G, Guo K, Fan D Y, Li G G. 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in Karst habitats of southwestern China. Environmental and Experimental Botany, 71: 174 - 183.
- Luo Ming-hua, Hu Jin-yao, Wu Qing-gui. 2010. Effects of drought stress on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Salvia miltiorrhiza*. Chinese Journal of Applied Ecology, 21 (3): 619 - 623. (in Chinese)
- 罗明华, 胡进耀, 吴庆贵. 2010. 干旱胁迫对丹参叶片气体交换和叶绿素荧光参数的影响. 应用生态学报, 21 (3): 619 - 623.
- Lü Fang-de, Xu De-cong, Li Bin. 2006. Effect of water stress on the chlorophyll fluorescence parameters of *Pecan*. Journal of Central South Forestry University, 26 (4): 27 - 30. (in Chinese)
- 吕芳德, 徐德聪, 栗 彬. 2006. 水分胁迫对美国山核桃叶绿素荧光参数的影响. 中南林学院学报, 26 (4): 27 - 30.
- Niu Su-zhen, Fan Wei-guo. 2013. The physiological responds of cutting seedlings of ancient tea plant to drought stress and the comprehensive evaluation on their drought resistance capacity in Karst region. Acta Horticulturae Sinica, 40 (8): 1541 - 1552. (in Chinese)
- 牛素贞, 樊卫国. 2013. 喀斯特地区古茶树幼苗对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性综合评价. 园艺学报, 40 (8): 1541 - 1552.
- Shi Sheng-qing, Yuan Yu-xin, Zhang Jin-xiang. 2003. Effects of water stress on characteristics of chlorophyll fluorescence in *Juglans regia*. Journal of Agricultural University of Hebei, 26 (2): 20 - 24. (in Chinese)
- 史胜青, 袁玉欣, 张金香. 2003. 不同水分胁迫方式对核桃苗叶绿素荧光动力学特性的影响. 河北农业大学学报, 26 (2): 20 - 24.
- Tian Zhi-guo, Wang Fei, Zhang Wen-e, Zhao Xiu-ming. 2011. Drought-resistance evaluation of marigold cultivars based on multiple statistics analysis. Chinese Journal of Applied Ecology, 22 (12): 3315 - 3320. (in Chinese)
- 田治国, 王 飞, 张文娥, 赵秀明. 2011. 多元统计分析方法在万寿菊品种抗旱性评价中的应用. 应用生态学报, 22 (12): 3315 - 3320.
- Wang He-zheng. 2007. Study on drought resistance and screening identification indexes of drought resistance in rice [Ph. D. Dissertation] . Chengdou: Sichuan Agricultural University. (in Chinese)
- 王贺正. 2007. 水稻抗旱性研究及其鉴定指标的筛选[博士论文]. 成都: 四川农业大学.
- Wang Yu-chao, Wang De-xiang, Peng Shao-bing. 2010. Effects of drought stress on physiological characteristics of woody saltbush. Scientia Silvae Sinicae, 46 (1): 61 - 67. (in Chinese)
- 王宇超, 王得祥, 彭少兵. 2010. 干旱胁迫对木本滨藜生理特性的影响. 林业科学, 46 (1): 61 - 67.
- Ye Nai-hao, Zhai Heng, Du Zhong-jun, Xu Hong. 2004. Evaluation of drought resistance of ten apple rootstocks. Journal of Fruit Science, 21 (5): 395 - 398. (in Chinese)
- 叶乃好, 翟 衡, 杜中军, 许 宏. 2004. 水分胁迫条件下 10 种苹果砧木抗旱性评价. 果树学报, 21 (5): 395 - 398.
- Zhang Zhi-meng, Wan Shu-bo, Dai Liang-xiang, Chen Jing, Shi Yun-qing. 2011. Estimating and screening of drought resistance indexes of peanut. Chinese Journal of Plant Ecology, 35 (1): 100 - 109. (in Chinese)
- 张智猛, 万书波, 戴良香, 陈 静, 石运庆. 2011. 花生抗旱性鉴定指标的筛选与评价. 植物生态学报, 35 (1): 100 - 109.