

王楠琪,姜卫兵,甘可欣,等. 基于灰色关联度分析和模糊综合评判法的李植株形态学评价[J]. 江苏农业科学,2019,47(12):172–177.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.12.038

基于灰色关联度分析和模糊综合评判法的 李植株形态学评价

王楠琪¹, 姜卫兵¹, 甘可欣¹, 韩 键¹, 张斌斌², 马瑞娟²

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095; 2. 江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏南京 210014)

摘要:对 22 份李资源的 8 个植株形态性状指标进行比较研究,并运用灰色关联度分析和模糊综合评判法对树形特性进行综合评价。结果表明,灰色关联度分析和模糊综合评判法计算所得的等权与加权评判结果都具有非常高的吻合程度,评判结果相似。利用权重系数法对各品种的树形综合性状进行等权和加权位次排序,芙蓉李、太阳李、圣玫瑰、大石中生和大石早生排序位次靠前,长势旺盛;香扁、大玫瑰排序位次靠后,株形瘦小,长势较差。评判结果与实际情况相符,说明灰色关联度分析和模糊综合评判法可被用于果树植株形态学的比较评价研究。

关键词:李资源;植株形态;灰色关联度分析;模糊综合评判

中图分类号: S662.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)12–0172–05

果树的植株形态是影响果树生产力的重要因素^[1],其形态和结构的生理变化受到内部基因调控、外部环境的影响以及人为修剪干扰等^[2]。不同品种和类型间,植株形态存在较大差异^[3],而果树长势的差异决定其不同的栽培管理手段。随着技术的普及和机械化程度的提高,果园栽培管理手段发生改变,植株形态的改良成为新品种选育和推广的重要环节。良好的树形结构和生长势,不仅可有效平衡树体营养生长和生殖生长,克服“大小年”现象,实现连续结果^[4–6],同时能节省修剪、疏花疏果等劳动力成本,降低投入产出比,提高经济效益。

描述果树植株性状的指标有很多,而目前学界常用的评价方法多为平均数统计分析法、方差分析法,或利用因子分析、聚类分析法对单个或者多个性状进行分析,所得结果相对独立,无法系统描述参试情况,且评判方法多受主观因素影响,易与实际情况产生脱离。灰色系统理论是研究和解决不确定性问题的主要方法之一,灰色关联度分析是针对灰色系统决定影响因素主次及其相关程度的一种方法,通过关联度量描述事物与因素之间的相对变化,弥补了传统相关分析法的不足^[7–9]。模糊综合评判法是利用模糊集合数学模型,采用隶属函数刻画由多因素影响的事物之间差异的方法^[10–11]。灰色关联度分析和模糊综合评判法在多性状综合评价上,能够定量评估,全面、准确地描述事物存在的客观本质,现已被广泛应用于作物农业性状的评估和优异种质资源的筛选中^[12–14]。

李为蔷薇科(Rosaceae)李属(*Prunus*)植物,是一种重要

的核果类果树,原产于我国,种质资源丰富^[15–16]。本研究以 22 个品种的李资源为材料,基于灰色关联度分析和模糊综合评判法,对植株形态指标进行综合评价,以有效避免人为主观因素干扰,通过研究不同李资源间的树形特性,寻找存在的客观规律,以期生产栽培管理提供技术支持,并为果树植株形态的比较评价提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2017 年 12 月上旬于江苏省农业科学院溧水植物科学基地李资源圃(119°19'E,31°61'N)进行,供试材料为不同李品种,共计 22 个,株行距为 3 m×4 m,树龄为 8 年,砧木为毛桃。试验地为黄棕壤土,肥力适中,果园管理和树体生长状况良好,无明显病虫害。所有植株统一修剪,其他管理措施相同。

1.2 测定指标和方法

1.2.1 树形特性的测定 对各品种的健壮植株进行观测,采用钢卷尺(精度 0.1 cm)测定植株高度及东西、南北冠幅,并测量高度距地面 10 cm 处植株干周(树干周长)。利用量角器(精度为 0.1°)测定主干枝与一级分枝的夹角,即植株一级分枝角度。

1.2.2 枝条特性的测定 植株枝条特性的测定在 12 月初李树完全落叶后进行,新梢枝条长度采用直尺(精度 0.1 cm)测量,新梢枝条直径采用游标卡尺(精度 0.001)测量,每个品种随机选取 30 根枝条进行测量。新梢生长量为全树新梢枝条长度之和。设 3 次重复,取平均值。

1.3 数据处理与分析

利用 SPSS 20.0 软件进行方差分析和相关性分析,并利用灰色关联度分析和模糊综合评判法对植株形态进行评价比较。

1.3.1 灰色关联度分析 根据灰色系统理论^[7],将 22 个供试李品种视为一个灰色系统,每个品种作为灰色系统中的一

收稿日期:2018–03–08

基金项目:江苏省优势学科建设工程资助项目(编号:2011PAPD);现代农业产业技术体系建设专项资金(编号:CARS–31)。

作者简介:王楠琪(1992—),女,浙江绍兴人,硕士研究生,主要从事果树生理生态研究。E-mail:511816040@qq.com。

通信作者:姜卫兵,硕士,教授,主要从事园艺园林树种资源、生理生态学的研究和园林规划设计。E-mail:weibingj@njau.edu.cn。

个因素,根据最优模型,将供试品种的最佳指标结合起来,构造出理想化品种,即参考品种,设该参考品种的树形特征指标数列为 X_0 ,其他 22 个品种的各性状指标构成比较数列 X_i ($i=1,2,\cdots,N,N$ 为供试品种数目)。对所有数据进行标准化处理,根据公式(1)得出各供试品种与参考品种之间的关联度,然后根据公式(2)计算等权关联度,根据公式(3)计算加权关联度。

$$\varepsilon_i(k)=\frac{\min_k |x_0(k)-x_i(k)|+\rho \max_k |x_0(k)-x_i(k)|}{|x_0(k)-x_i(k)|+\rho \max_k |x_0(k)-x_i(k)|}; \tag{1}$$

$$r_i=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n \varepsilon_i(k); \tag{2}$$

$$r_i'=\sum_{k=1}^n w_j \varepsilon_i(k)。 \tag{3}$$

式中: $\varepsilon_i(k)$ 为 X_i 对 X_0 的关联系数; $x_i(k)$ 为原始数据初始化变换后的第 i 个品种第 k 个性状的值; $|x_0(k)-x_i(k)|$ 为第 i 个品种的第 k 个性状与参考性状的绝对差值; ρ 为分辨系数,取值在 $[0,1]$ 之间,在农业系统分析中,一般取 $\rho=0.5$; n 为各性状指标数目; r_i 为等权关联度; r_i' 为加权关联度; w_j 为各性状的权重系数。

1.3.2 模糊综合评判 根据公式(4)求得供试品种各性状的隶属函数值,利用公式(5)求得等权综合评判集(B),利用公式(6)求得加权综合评判集(B')。

$$r_{ij}=\frac{X_{ij}-\min(X_{ij})}{\max(X_{ij})-\min(X_{ij})}(i=1,2,\cdots N;j=1,2,\cdots n); \tag{4}$$
$$B=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n R,R=r_{ij}; \tag{5}$$

$$B'=\sum_{i=1}^n w_j R,R=r_{ij}。 \tag{6}$$

式中: n 为各性状指标数目; N 为参试品种数; X_{ij} 为第 i 个品种第 j 个性状值; $\max(X_{ij})$ 与 $\min(X_{ij})$ 分别为 N 个参试品种第 j 个性状中的最大值与最小值。

1.3.3 秩相关分析 对等权关联度与加权关联度、等权评判集(B)与加权评判集(B')分别进行秩相关分析^[16]:

$$r_s=1-\frac{6\sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3-N}。 \tag{7}$$

式中: d_i 为等权关联度与加权关联度或等权评判值与加权评判值位次之差; r_s 为秩相关分析系数; N 为参试品种数。

2 结果与分析

2.1 不同李资源植株树形特性

由表 1 可知,不同李资源间植株树形特性差异较大,各性状间存在显著差异。冠幅的结构特征对果树花芽分化、树体负载有重要影响^[4]。冠幅最大的为太阳李,达 5.85 m,其次为大石中生和芙蓉李,最小的为大玫瑰,最大值约是最小值的 3 倍。太阳李株高达 6.58 m,为供试材料中最高品种,其次为圣玫瑰和龙园秋李;而从化三华李株高最小,为 2.79 m。干周反映木本植株主干的粗壮程度,与产量呈正相关关系,在供试品种中,太阳李干周最大,为 58.80 cm,其次为圣玫瑰和蜜思李;而从化三华李干周最小,为 30.90 cm。一级分枝角度反映树体透光通风状况,在供试材料中,一级分枝角度最大的为芙蓉李,达 62°,其次为从化三华李和 Damas-1869,说明这些品种树形开张,树冠内部透光性好;一级分枝角度最小的为

表 1 不同李资源植株树形特性比较

品种	冠幅 (m)	株高 (m)	干周 (cm)	一级分枝角度 (°)
美洲李	4.14±0.45cdef	3.37±0.25hi	37.60±0.36fg	45±5de
香扁	2.50±0.73h	3.17±0.25ij	33.23±2.11ghi	28±2h
Damas-1869	2.45±0.35h	4.55±0.23cd	31.33±3.01hi	58±3ab
大玫瑰	1.92±0.18h	2.92±0.18j	32.33±2.08ghi	34±4fgh
阿鲁恰	3.34±0.27g	2.93±0.32j	36.23±5.44fghi	45±5de
香蕉李	4.35±0.61cde	3.96±0.25efg	49.40±1.44bc	46±3de
青脆李	4.54±0.38cd	3.77±0.31fgh	44.63±5.12cde	43±6de
酥李	4.23±0.55cde	3.22±0.12ij	39.83±2.25ef	38±5efg
龙园秋李	3.56±0.65fg	4.66±0.29c	35.30±2.91fghi	42±6def
长李 15 号	3.30±0.25g	3.59±0.22ghi	32.13±2.17ghi	37±1efg
从化三华李	3.17±0.27g	2.79±0.13j	30.90±2.23i	59±4ab
拂李	3.37±0.57g	3.54±0.25ghi	36.70±1.11fgh	54±4bc
芙蓉李	4.76±0.23bc	4.27±0.19cde	44.07±1.37cde	62±4a
嘉庆子	4.05±0.51def	4.25±0.10cde	32.03±3.50ghi	37±5efg
北京晚红	4.39±0.27cde	3.91±0.17efg	43.60±3.50de	45±3de
太阳李	5.85±0.67a	6.58±0.14a	58.80±3.38a	41±2def
大石中生	5.19±0.19b	3.77±0.30fgh	51.27±2.53b	48±8cd
大石早生	4.26±0.76cde	4.29±0.34cde	49.43±4.86bc	43±5de
安哥诺	3.76±0.61efg	4.16±0.32def	43.27±2.53de	42±6def
圣玫瑰	4.28±0.32cde	5.33±0.22b	54.67±1.53ab	33±6gh
蜜思李	3.55±0.34fg	4.05±0.10ef	52.60±4.13b	32±2gh
先锋	3.50±0.15fg	4.22±0.19de	45.57±4.76cd	32±3gh

注:同列数据后不同小写字母表示不同品种间差异显著($P<0.05$)。表 2 同。

香扁,仅 28°,说明其树形直立向上,顶端优势强,营养生长旺盛,树势强。

2.2 不同李资源植株枝条特性

如表 2 所示,不同品种间新梢特性存在显著差异。新梢直径最粗的为美洲李,达 3.52 mm,其次为先锋和阿鲁恰,说明这些品种新梢粗壮,具有良好的承枝能力;而新梢最细的为酥李,仅 2.11 mm。节间长度最长的为芙蓉李,其次是大玫瑰

和美洲李;节间长度最短的为从化三华李。新梢枝条数和新梢总长度反映植株当年的新梢生长量。在供试 22 个品种中新梢枝条数较多的为圣玫瑰、太阳李和芙蓉李,说明其冠层结构丰富,光能利用率高;新梢枝条数最少的为大玫瑰。新梢总长度最大的为芙蓉李,其次是太阳李和安哥诺;新梢总长度最短的为大玫瑰。新梢生长量的最大值约是最小值的 14 倍,品种间差异极大。

表 2 不同李资源植株枝条特性比较

品种	新梢直径 (mm)	节间长度 (cm)	新梢枝条数 (条)	新梢总长度 (m)
美洲李	3.52 ± 0.17a	2.07 ± 0.03b	581 ± 25de	93.92 ± 4.07de
香扁	2.27 ± 0.12hi	1.81 ± 0.10ed	271 ± 13ij	61.64 ± 3.06fgh
Damas - 1869	2.47 ± 0.17fg	1.86 ± 0.03e	363 ± 28ghi	61.94 ± 4.73fgh
大玫瑰	2.51 ± 0.13efg	2.28 ± 0.08a	131 ± 12j	15.46 ± 1.38j
阿鲁恰	2.98 ± 0.12b	1.72 ± 0.13ede	236 ± 65ij	27.69 ± 7.57ij
酥李	2.11 ± 0.05i	1.40 ± 0.10g	426 ± 97fgh	46.22 ± 10.50hi
香蕉李	2.23 ± 0.03hi	1.37 ± 0.13g	379 ± 75ghi	58.42 ± 11.56gh
青脆李	2.23 ± 0.05hi	1.18 ± 0.15h	643 ± 93cd	83.96 ± 12.12def
龙园秋李	2.81 ± 0.15e	1.52 ± 0.15fg	448 ± 26efg	52.72 ± 3.01gh
长李 15 号	2.48 ± 0.15efg	1.62 ± 0.13def	552 ± 38def	73.40 ± 5.05efg
从化三华李	2.59 ± 0.07def	1.00 ± 0.05h	454 ± 12efg	61.96 ± 1.64fgh
拂李	2.66 ± 0.08ede	1.11 ± 0.04h	465 ± 19efg	49.30 ± 1.99ghi
芙蓉李	2.80 ± 0.06e	2.38 ± 0.08a	951 ± 144b	216.31 ± 32.79a
嘉庆子	2.60 ± 0.07def	1.72 ± 0.13ede	286 ± 6hi	46.86 ± 0.95hi
北京晚红	2.78 ± 0.05e	1.47 ± 0.08fg	385 ± 27ghi	55.57 ± 3.94gh
太阳李	2.34 ± 0.07gh	1.75 ± 0.13ede	1 088 ± 135a	165.05 ± 20.54b
大石中生	2.48 ± 0.08efg	1.80 ± 0.17ede	750 ± 62c	90.39 ± 7.41de
大石早生	2.76 ± 0.10ed	1.80 ± 0.05ede	784 ± 151c	99.98 ± 19.22d
安哥诺	2.34 ± 0.10gh	1.87 ± 0.16c	929 ± 181b	154.86 ± 30.11bc
圣玫瑰	2.24 ± 0.05hi	1.65 ± 0.14def	1 108 ± 82a	133.81 ± 9.89c
蜜思李	2.53 ± 0.07ef	1.73 ± 0.08ede	427 ± 66fgh	54.81 ± 3.35gh
先锋	2.99 ± 0.08b	1.60 ± 0.05ef	593 ± 92de	88.41 ± 9.93de

2.3 不同李资源树形指标间的相关性分析

以试验所用 22 个李资源的 8 个植株形态指标为依据,进行相关性分析,结果(表 3)显示,冠幅、干周和株高彼此之间

呈极显著正相关关系;新梢总长度与冠幅、株高和新梢枝条数呈极显著正相关关系,与干周呈显著相关关系;李资源的树形指标在一定程度上可以代表树体的生长特性。

表 3 树形指标间的相关性分析

指标	相关系数							
	冠幅	干周	株高	新梢直径	新梢总长度	新梢枝条数	节间长度	一级分枝角度
冠幅	1.000							
干周	0.741 **	1.000						
株高	0.556 **	0.632 **	1.000					
新梢直径	-0.060	-0.230	-0.194	1.000				
新梢总长度	0.579 **	0.504 *	0.560 **	-0.021	1.000			
新梢枝条数	0.668 **	0.677 **	0.655 **	-0.117	0.900 **	1.000		
节间长度	-0.056	0.058	0.148	0.279	0.372	0.149	1.000	
一级分枝角度	0.157	-0.164	-0.062	0.203	0.223	0.097	-0.070	1.000

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

2.4 灰色关联度分析

依照试验目的,确定参考品种的最佳表型模型,将供试 22 个品种与参考品种进行灰色关联度分析,得到每个品种的关联度及其排序结果(表 4)。等权关联度排在前 5 位的分别为太阳李、芙蓉李、圣玫瑰、大石中生和美洲李;加权关联度排在前 5 位分别为芙蓉李、太阳李、圣玫瑰、安哥诺和大石中生。而后 5 位排序,等权关联度依次为香扁、大玫瑰、长李 15 号、

酥李和嘉庆子;加权关联度依次为香扁、大玫瑰、阿鲁恰、嘉庆子和从化三华李。根据排序情况来看,等权关联度和加权关联度分析所得的关联度排序存在一定差异。对 2 种关联度排序进行秩相关分析,得到秩相关系数 r_s 为 0.928,表明以等权关联度和加权关联度分析所得的排序具有很高的吻合度,能够代表 22 个品种植株形态及生长特性的排序。芙蓉李、太阳李、圣玫瑰和大石中生在 2 种排序中位次靠前,说明其具有良

表 4 供试品种与参考品种的关联度及其排序

品种	关联度								等权关联度		加权关联度	
	冠幅	株高	干周	新梢直径	新梢总长度	新梢枝条数	节间长度	一级分枝角度	数值	排序	数值	排序
美洲李	0.613	0.563	0.487	1.000	0.451	0.494	0.781	0.628	0.627	5	0.567	7
香扁	0.448	0.516	0.472	0.566	0.394	0.381	0.659	0.455	0.486	22	0.454	22
Damas - 1869	0.444	0.498	0.601	0.608	0.394	0.409	0.680	0.861	0.562	9	0.512	9
大玫瑰	0.408	0.508	0.455	0.618	0.333	0.345	0.917	0.508	0.512	21	0.455	21
阿鲁恰	0.520	0.547	0.456	0.750	0.347	0.371	0.624	0.630	0.531	17	0.472	20
香蕉李	0.644	0.744	0.538	0.537	0.371	0.430	0.529	0.635	0.553	12	0.509	12
青脆李	0.673	0.658	0.521	0.559	0.389	0.414	0.521	0.604	0.542	14	0.502	14
酥李	0.626	0.590	0.476	0.558	0.431	0.525	0.480	0.543	0.529	19	0.512	10
龙园秋李	0.542	0.537	0.614	0.697	0.380	0.438	0.561	0.591	0.545	13	0.499	15
长李 15 号	0.516	0.506	0.505	0.610	0.413	0.480	0.591	0.533	0.519	20	0.493	17
从化三华李	0.503	0.495	0.446	0.637	0.394	0.440	0.444	0.888	0.531	16	0.493	18
槐李	0.522	0.553	0.501	0.654	0.376	0.444	0.464	0.770	0.535	15	0.493	16
芙蓉李	0.713	0.649	0.569	0.693	1.000	0.766	1.000	1.000	0.799	2	0.831	1
嘉庆子	0.602	0.505	0.567	0.639	0.372	0.385	0.624	0.537	0.529	18	0.482	19
北京晚红	0.650	0.642	0.533	0.687	0.385	0.416	0.547	0.630	0.561	10	0.510	11
太阳李	1.000	1.000	1.000	0.581	0.662	0.962	0.636	0.579	0.803	1	0.809	2
大石中生	0.803	0.784	0.521	0.610	0.444	0.590	0.655	0.664	0.634	4	0.599	5
大石早生	0.630	0.745	0.571	0.681	0.463	0.614	0.655	0.599	0.620	7	0.590	6
安哥诺	0.565	0.637	0.558	0.581	0.620	0.742	0.682	0.587	0.622	6	0.637	4
圣玫瑰	0.633	0.868	0.709	0.561	0.549	1.000	0.603	0.497	0.677	3	0.699	3
蜜思李	0.541	0.815	0.547	0.622	0.383	0.430	0.630	0.488	0.557	11	0.509	13
先锋	0.536	0.674	0.564	0.754	0.440	0.499	0.585	0.486	0.567	8	0.530	8
权重	0.104	0.089	0.095	0.055	0.259	0.216	0.089	0.093				

好的植株形态,生长能力旺盛;而香扁、大玫瑰和嘉庆子的排序位次靠后,说明其株型矮小,生长能力较弱。

2.5 模糊综合评判

供试品种树形特性的模糊综合评判结果如表 5 所示。等权评判值排序前 5 的分别为芙蓉李、太阳李、圣玫瑰、大石中生和大石早生;加权评判值排序前 5 的分别为芙蓉李、太阳李、圣玫瑰、安哥诺和大石早生。位于等权评判值后 5 位的依次为香扁、大玫瑰、从化三华李、长李 15 号和青脆李;而位于加权评判值后 5 位的依次为大玫瑰、香扁、阿鲁恰、嘉庆子和从化三华李。对 2 种排序结果进行秩相关分析,得到秩相关系数 r_s 为 0.921,说明等权评判值和加权评判值排序具有很高的吻合度,可作为该 22 个供试品种植株形态和生长能力排序的参考依据。芙蓉李、太阳李、圣玫瑰和大石早生位次靠前,说明其具有良好的树形特点,而大玫瑰、香扁和从化三华李的排序位次靠后,说明其树形瘦小,长势较差。

3 讨论与结论

果树自然生长的树形结构受到多基因调控,已有研究表明,果树的冠层分枝特性^[17]和节间长度^[18]具有可遗传性。而砧穗互作,利用矮化砧控制果树树形,可能与树体激素代谢情况有关^[19-20]。不同资源类型以及砧穗组合可从遗传和生理方面改变树形结构,使得品种间存在较大差异^[17-18,21]。植株高度和冠幅大小直接影响果树的空间体积,枝条特性能够直接反映树冠内部空间对光能的截获效率^[2],而树体透光条件的差异影响果实品质^[22]。果树新梢生长状况能够有效反映树势动态变化,一般育种目标会选择培育树势中庸的植株,使得营养生长和生殖生长处于一个动态平衡,这是实现果树

连续丰产的基础。

反映果树树形特征的指标有很多,利用多个指标进行综合评价,能够系统描述果树植株形态的内在特征,使得评定结果更接近于实际。多性状的综合评价是现代育种中筛选优异种质的重要手段,而灰色关联度分析和模糊综合评判法能够定量且准确描述供试个体之间的综合差异^[8]。权重系数的合理分配关系到灰色关联度分析和模糊综合评判法的正确性,为避免受主观判断对试验结果造成偏差,本研究采用信息量权数法对权重系数进行归一化处理^[14],而非依据经验确定的权重系数赋值法,使本研究结果在一定程度上更客观地反映实际水平。

本研究利用灰色关联度分析和模糊综合评判法,对不同品种李资源之间的树形特性进行评判,结果显示,22 个供试品种在 2 种评价方法间的排序情况不完全一致,但总体情况大致相同。综合评价植株性状指标,在灰色关联度分析和模糊综合评判法中,芙蓉李、太阳李、圣玫瑰、大石中生和大石早生的排序位置靠前,说明其枝条量多,树形较大,生长势旺盛。田间测量数据表明,这些品种植株高大,长势旺盛,冠层结构丰富,承枝力强,具有良好的负载能力。在生产上,对于这些长势旺盛的品种,在定植前要直接预留出适当空间以供后期树冠形成。由于结果枝较多,为避免结果过多造成大小年现象,应当配合疏花疏果手段,减轻树体负载;盛果期后,要及时疏枝调整树冠内部结构,防止树体过大,冠层郁闭,使内膛光照不足,导致产量下降和果实品质降低^[23]。而香扁、大玫瑰、从化三华李和嘉庆子的排序位置一直处于后位,说明其植株矮小,长势弱,这与田间观测结果相一致,表现为树体瘦弱、冠幅小、产量低。生产栽培管理中,应适当密植,配合修剪技术,

表 5 供试品种模糊综合评判结果

品种	关联度								等权关联度		加权关联度	
	冠幅	株高	干周	新梢直径	新梢总长度	新梢枝条数	节间长度	一级分枝角度	数值	排序	数值	排序
美洲李	0.564	0.240	0.152	1.000	0.391	0.461	0.776	0.505	0.511	6	0.467	7
香扁	0.148	0.084	0.099	0.110	0.230	0.144	0.586	0.000	0.175	22	0.181	21
Damas - 1869	0.134	0.016	0.464	0.252	0.231	0.238	0.624	0.865	0.353	13	0.321	14
大玫瑰	0.000	0.051	0.035	0.283	0.000	0.000	0.928	0.192	0.186	21	0.124	22
阿鲁恰	0.361	0.191	0.037	0.614	0.061	0.108	0.518	0.510	0.300	17	0.225	20
香蕉李	0.618	0.663	0.309	0.000	0.153	0.302	0.289	0.519	0.357	12	0.332	12
青脆李	0.665	0.492	0.258	0.087	0.214	0.254	0.265	0.452	0.336	18	0.318	9
酥李	0.587	0.320	0.113	0.082	0.341	0.525	0.133	0.298	0.300	14	0.346	15
龙园秋李	0.416	0.158	0.493	0.496	0.185	0.325	0.373	0.423	0.359	11	0.322	13
长李 15 号	0.351	0.044	0.211	0.260	0.288	0.431	0.446	0.269	0.288	19	0.307	16
从化三华李	0.318	0.000	0.000	0.338	0.231	0.330	0.000	0.894	0.264	20	0.266	18
槐李	0.368	0.208	0.199	0.386	0.168	0.342	0.077	0.750	0.312	15	0.291	17
芙蓉李	0.722	0.472	0.390	0.488	1.000	0.840	1.000	1.000	0.739	1	0.803	1
嘉庆子	0.543	0.041	0.384	0.346	0.156	0.159	0.518	0.279	0.303	16	0.262	19
北京晚红	0.628	0.455	0.295	0.472	0.200	0.260	0.337	0.510	0.395	9	0.345	10
太阳李	1.000	1.000	1.000	0.165	0.745	0.979	0.542	0.394	0.728	2	0.786	2
大石中生	0.831	0.730	0.259	0.260	0.373	0.634	0.578	0.577	0.530	4	0.529	6
大石早生	0.595	0.664	0.395	0.456	0.421	0.668	0.578	0.442	0.528	5	0.530	5
安哥诺	0.468	0.443	0.361	0.165	0.694	0.817	0.627	0.413	0.499	7	0.582	4
圣玫瑰	0.599	0.852	0.669	0.094	0.589	1.000	0.472	0.154	0.554	3	0.632	3
蜜思李	0.414	0.778	0.332	0.297	0.196	0.303	0.530	0.125	0.372	10	0.335	11
先锋	0.402	0.526	0.377	0.622	0.363	0.473	0.434	0.115	0.414	8	0.404	8
权重	0.104	0.089	0.095	0.055	0.259	0.216	0.089	0.093				

促进枝条再生和花芽分化,达到结果丰产的目的。

综上所述,利用灰色关联度分析和模糊综合评判法对 22 个品种的植株形态指标进行综合评价,芙蓉李、太阳李、圣玫瑰、大石中生和大石早生 5 个品种排序靠前,说明其株型较大、生长旺盛;而香扁、大玫瑰排序靠后,说明其植株矮小、树势较弱,与实际情况相符。用 2 种方法所得的加权和等权位次相似,且与实际相符,表明该方法在关于果树植株形态的比较评价中具有较高的适用性,能够根据育种目标对供试材料进行系统评价。

参考文献:

[1]杨 飞,卢桂宾,杜俊杰,等. 树形结构对果树生产能力的影响分析[J]. 山西林业科技,2012,41(1):46-49.

[2]张抗萍,李荣飞,常耀栋,等. 果树树形的形成机制与调控技术研究进展[J]. 果树学报,2017,34(4):495-506.

[3]谢 玲,刘卫东,冯斌义,等. 不同株型观赏桃的生长及光合特性比较研究[J]. 经济林研究,2014,32(4):103-109.

[4]Zhang J J,Serra S,Leisso R S,et al. Effect of light microclimate on the quality of ‘d’Anjou’ pears in mature open - centre tree architecture[J]. Biosystems Engineering,2016,141:1-11.

[5]Fernandez F J,Ladux J L,Searles P S. Dynamics of shoot and fruit growth following fruit thinning in olive trees: same season and subsequent season responses[J]. Scientia Horticulturae,2015,192:320-330.

[6]董然然. 苹果不同树形对光截获能力和产量品质的差异比较 [D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013:1-10.

[7]邓聚龙. 灰色控制系统[J]. 华中工学院学报,1982,10(3):9-18.

[8]刘录祥,孙其信,王士芸. 灰色系统理论应用于作物新品种综合评估初探[J]. 中国农业科学,1989,22(3):22-27.

[9]刘思峰,蔡 华,杨英杰,等. 灰色关联分析模型研究进展[J]. 系统工程理论与实践,2013,33(8):2041-2046.

[10]刘小艳,刘欣宇,王 梅. 隶属函数的确定及应用[J]. 电脑知识与技术,2010,6(31):8831-8832.

[11]Ghazy U M M. Modifications of evaluation index and subordinate function formulae to determine superiority of mulberry silkworm crosses[J]. Journal of Basic & Applied Zoology,2014,67(1):1-9.

[12]董红芬,李 洪,霍成斌,等. 玉米抗旱性状与株型性状的关联度分析[J]. 玉米科学,2011,19(6):87-90.

[13]钟秋瓊,陈荣华,方先兰,等. 模糊综合评判和灰色关联度分析在花生引种试验上的应用研究[J]. 江西农业学报,2013,25(1):11-14.

[14]杨为海,张明楷,邹明宏,等. 澳洲坚果主要品质性状的灰色关联度分析和模糊综合评判[J]. 热带作物学报,2012,33(10):1743-1748.

[15]张加延. 我国李杏种质资源调查研究的突破性进展[J]. 园艺与种苗,2011(2):7-10,37.

[16]Spearman C. The proof and measurement of association between two things[J]. International Journal of Epidemiology,2010,39(5):1137-1150.

[17]刘蒙蒙,谭 彬,郑先波,等. 几个影响植物分枝角度的关键基因及其调控机制[J]. 分子植物育种,2017,15(7):2815-2822.

[18]Ripetti V,Escoute J,Verdeil J L,et al. Shaping the shoot: the relative contribution of cell number and cell shape to variations in internode length between parent and hybrid apple trees[J]. Journal of Experimental Botany,2008,59(6):1399-1407.

张曼玉,高 婷,吴永波,等. 生物炭对贵州喀斯特山地石漠化土壤理化性质和构树幼苗生长特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(12): 177-181.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.12.039

生物炭对贵州喀斯特山地石漠化土壤理化性质和构树幼苗生长特性的影响

张曼玉^{1,2}, 高 婷^{1,2}, 吴永波^{1,2}, 薛建辉^{1,2}

(1. 南京林业大学江苏省南方现代林业协同创新中心, 江苏南京 210037; 2. 南京林业大学江苏省林业生态重点实验室, 江苏南京 210037)

摘要:为了探究生物炭对石漠化土壤理化性质和构树幼苗生长的影响,选择贵州喀斯特石漠化退耕还林区石灰性土壤为研究对象,通过盆栽试验,分析 4 种不同处理(施复合肥处理为 NPK,炭肥混施处理施肥量相同,按施炭量为土壤干质量的 1%、2%、4% 分别记为 RH₁、RH₂、RH₄)下土壤理化性质和构树生长状况的变化。结果表明:3 种施炭量处理都显著降低了土壤容重,增加了土壤毛管孔隙率和总孔隙率,增加了土壤自然状态下的质量含水量、饱和含水量和毛管持水量,且随施炭量的增加变化越显著;单施肥处理和 3 种施炭处理均显著增加了土壤中有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量,且各养分含量随着稻壳炭施用量的增加而增加;施肥处理和 3 种施炭处理对植物株高胸径、地上部分生物量和总生物量的增长有显著的影响,与 CK 处理相比,仅 RH₄ 处理对植物根系生物量的增加有显著影响。可以说施用生物炭可以改善土壤理化性质,促进构树苗期生长和干物质积累及根系发育,对贵州喀斯特石漠化土壤改良和植被恢复有重要意义。

关键词:石漠化土壤;生物炭;土壤理化性质;幼苗生长;根系形态

中图分类号: S714.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)12-0177-05

喀斯特石漠化是指在湿润气候下,由于人类不合理的资源利用和喀斯特石灰岩生态系统自身的脆弱,导致植被破坏、水土流失的现象^[1]。贵州省位于我国西南喀斯特石漠化区的中心,也是我国石漠化面积最大、石漠化程度最高、受石漠化危害最严重的省份,石漠化区域面积高达 3.7 万 km²,占全省总面积的 21%^[2-3]。土壤石漠化导致可耕面积减少,土壤肥力下降,土壤保水性能下降,会进一步加剧人地矛盾、水土流失和生物多样性下降,石漠化已经成为制约贵州省乃至我国整个西南喀斯特地区发展的重大生态问题。改良石漠化土壤的理化性质,是提高土壤质量和促进石漠化山地植被恢复的重要途径^[4-6]。

生物炭是由生物质在低氧或厌氧的条件下低温热裂解得到的一种化学性质稳定、含碳量高、比表面积大、微孔隙结构

丰富的碱性材料。近年来,研究者们就生物炭在土壤改良方面的作用进行了大量的盆栽及野外试验^[7-15],研究结果表明,向土壤中施入生物炭可明显改善土壤的物理结构,增加土壤的持水和吸附利用养分能力,进而促进植物生长。研究者利用生物炭的碱性来改良酸化土壤或中性土壤,但关于对碱性土壤的改良效果却鲜有报道。本研究通过盆栽试验,分析了施用不同量生物炭对于贵州喀斯特山地石漠化土壤理化性质和抗逆性强的构树生长的影响,以期能起到改良碱性土壤特性、促进植物生长的作用,为生物炭在山地石漠化土壤改良和植被修复的利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省安顺市普定县城关镇沙湾(105°45'4"E, 26°22'18"N)退耕还林区。该区属中亚热带季风气候,气候温和,年平均气温为 15.1℃,最冷月为 1 月,平均气温为 5.2℃。雨量充沛,年均降水量 1 396.9 mm。土壤类型为石灰性土。本研究供试土壤采集于沙湾退耕还林区,采样深度为 0~20 cm,采集的土壤除大石块和落叶等残留物过 2 mm 筛备用。土壤容重为 1.15 g/cm³,土壤 pH 值 7.42,土

收稿日期:2018-01-26

基金项目:国家“十三五”重点研发计划(编号:2016YFC0502605);国家“十二五”科技支撑计划(编号:2015BAD07B04)。

作者简介:张曼玉(1992—),女,江苏徐州人,硕士研究生,主要从事林业生态方向研究。E-mail:987921030@qq.com。

通信作者:薛建辉,教授,主要从事林业生态方向研究。E-mail:jhxue@cnbg.net。

[19]李春燕,杨廷桢,高敬东,等. 苹果矮化砧木致矮机理研究进展[J]. 中国农学通报,2017,33(28):86-92.

[20]van Hooijdonk B, Woolley D, Warrington I, et al. Rootstocks modify scion architecture endogenous hormones, and root growth of newly grafted ‘Royal Gala’ apple trees[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2011, 136(2):93-102.

[21]习玉森,姜卫兵,文 杨,等. 不同生长型桃树光合效能及其季节变化特征初探[J]. 西北植物学报,2016,36(9):1836-1845.

[22]姜仲书,张光伦,江国良,等. 金冠苹果树冠内光质构成及其与果实品质的相关性[J]. 果树学报,2008,25(5):625-629.

[23]张 强,魏钦平,王小伟,等. 乔砧富士苹果树冠枝梢数量和分布对产量与品质的影响[J]. 园艺学报,2010,37(8):1205-1212.