

荔枝品种生长势与树体营养的关系研究

张永福¹, 刘成明²

(1. 昆明学院 农学院, 云南 昆明 650214; 2. 华南农业大学 园艺学院, 广东 广州 510642)

摘要:为探明荔枝品种树体营养物质含量对生长势的影响,以2个弱生长势品种和7个强生长势品种为材料,测定茎干、枝叶形态特征及叶片有机和无机营养含量.结果表明,2个弱生长势品种的株高、梢长、节间距、叶宽、叶面积和叶长均小于强生长势品种;且弱生长势品种叶片的可溶性糖、淀粉和蛋白质的含量高于强生长势品种,而钾、锰和铜的含量低于强生长势品种.此外,荔枝品种株高与叶片淀粉含量呈显著负相关,与总碳和氮含量呈极显著负相关,而与氨基酸含量呈显著正相关.叶面积与叶片氨基酸和磷含量呈极显著正相关,与锌含量呈显著正相关.

关键词:荔枝;生长势;营养物质;相关性

中图分类号:S667.1 文献标识码:A 文章编号:1674-5639(2016)03-0082-05

DOI:10.14091/j.cnki.kmxyxb.2016.03.018

Studies on the Relationship between Growth Potential and Tree Nutrition in Litchi Cultivars

ZHAG Yong-fu¹, LIU Cheng-ming²

(1. College of Agriculture, Kunming University, Yunnan Kunming 650214, China;

2. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangdong Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to investigate the effect of nutrient contents on the growth potential of litchi cultivars. In this study, two weak growth potential cultivars and seven strong growth potential cultivars were as plant materials to determine the stem, leaf morphological characteristics and the contents of leaf organic and inorganic nutrient. The results showed that plant height, shoot length, pitch spacing, leaf width, leaf length and leaf area in the two weak growth potential cultivars were smaller than those in the seven strong growth potential cultivars. And the contents of soluble sugar, starch and protein of weak growth potential cultivars higher than strong growth potential cultivars, while potassium, manganese and copper content were lower than strong growth potential cultivars. In addition, the plant height was negatively correlated with the starch content of leaves in litchi, and was negatively correlated with total carbon and nitrogen content, but was positively correlated with the content of amino acid. The leaf area was positively correlated with the contents of amino acids and phosphorus, and was positively correlated with zinc content.

Key words: Litchi chinensis; growth vigor; nutrients; correlation

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)原产于我国,为我国华南地区重要果树之一.在荔枝生产中,由于树体高大,常给管理带来诸多不便.为了实现集约化栽培,降低劳动成本,在生产上迫切需要培育和利用矮化或矮化砧品种^[1-2],从而实现节本增效.选用弱生长势品种是实现矮化栽培的关键,弱生长势果树具有结果早,投资时间短,收益获利早,便于采收、喷药、修剪等日常管理,以及省工、省时、适于机械化生产等特点.此外,矮化果树还具有生长缓慢,不易形成徒长枝,可通过密植充分利用空间,连续结果能力

强,产量高,果实品质好、成熟早、色泽鲜艳、可溶性固形物含量高、单果质量大等特点.

鉴于此,目前在苹果^[3-4]、梨^[5]、樱桃^[6-7]和柑橘^[8-9]等木本果树上均已有大量矮化或矮化砧品种应用于生产,并取得良好效果,其矮化性状与机理的研究结果也有大量的报道.然而,在荔枝上,一直没能实现矮化栽培,对其矮化相关性状及机理的研究报道尚少.仅张永福等^[10]报道表明:造成荔枝矮化种质 YA1 矮化的原因是由于叶片生长素和赤霉素含量低,而脱落酸和细胞分裂素含量高,此外,POD

收稿日期:2016-03-07

作者简介:张永福(1981—),男,云南省弥勒人,副教授,博士,主要从事果树抗性生理方面的研究.

和 IAA 氧化酶活性高也是导致 YA1 矮化的重要因素;而造成紫娘喜矮化的主要原因是解剖结构上导管的输导能力较弱导致的。

除此之外,果树品种的生长势强弱与树体积累的营养状况关系密切,矮化品种木质部中氮、磷、钾含量较少^[11];弱生长势葡萄品种的氮、磷、钾含量低于强生长势品种,碳氮比则高于强生长势品种^[12]。而在荔枝上,却一直没有相关报道,因此,本研究拟通过测定不同生长势荔枝品种的树干、枝叶形态特性及叶片有机和无机营养含量,旨在分析树体营养物质含量对品种生长势强弱的影响,并揭示荔枝品种生长势强弱与树体营养物质含量的相关性。

1 材料与方法

1.1 材料

以 YA1、紫娘喜 2 份荔枝弱生长势品种和双肩玉荷包、禾虾串、妃子笑、桂味、马贵荔、三月红、无核荔 7 份荔枝强生长势品种为材料。所有试材均为嫁接植株,砧木为怀枝,嫁接苗 7 a 生,种植于广州华南农业大学燕山区荔枝龙眼种质圃,保持各供试植株的气候、土壤、水肥管理一致,栽植密度为 2.5 m × 4.0 m。形态特征测定的时间为 2010 年 3 月。营养物质测定的取样时间为 2010 年 3 月~2010 年 8 月,每月取样 1 次,每个品种分别取 4 个植株,样品为 1 a 生、充分成熟、向阳、无病虫害的叶片。叶片采集后立即用自来水清洗干净,然后用蒸馏水认真漂洗 3 次,待叶片表面水分干燥后,置于 90 °C 烘箱中烘干后粉碎待测。

1.2 测定方法

用卷尺实地测量各参试品种的株高、梢长及节间距。梢粗用游标卡尺测量,叶面积、叶长和叶宽用 LI-3000A 便携式叶面积仪测量。各组数据测量 50 个,取平均值。选用考马斯亮蓝 G-250 显色法测定蛋白质

含量,选用酸性茚三酮显色和甲苯萃取法测定脯氨酸含量,选用苯酚-硫酸显色法测定可溶性糖含量,选用水合茚三酮显色法测定氨基酸含量^[13]。参照徐昌杰等^[14]的方法测定淀粉含量。用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后的样品,通过凯式自动定氮仪定氮,采用钼铵蓝显色法测定磷含量^[13]。采用原子吸收光谱法测定钾、钙、镁、铁、锰、锌和铜的含量。总碳含量通过树体中非结构性糖和淀粉的碳元素比例换算而得。

1.3 数据分析

全文各表中数据的 Duncan 氏新复级差检测 ($P < 0.05$) 和 Pearson 相关性双侧检验显著性分析均使用 SPSS 17.0 统计软件。

2 结果与分析

2.1 各试材植株形态特征差异

由下表 1 可看出,不同参试品种 7 a 生嫁接植株的株高、枝梢长度和粗度及节间距差异有统计学意义。其中,株高 YA1 最小,仅 109 cm,紫娘喜次之,显著矮于其他品种;而妃子笑、桂味和马贵荔的株高均达 300 cm 以上。YA1 梢长最短,仅为 6.25 cm,紫娘喜次之,而桂味最长,达 27.86 cm。各试材间梢粗差异有统计学意义,其中最细的是紫娘喜,直径仅为 3.18 mm,最粗的是妃子笑,达 6.68 mm,显著粗于其他品种。节间最短的也是紫娘喜,仅为 1.89 cm,而最长的是桂味,达 5.91 cm。

从表 1 还可看出,各参试品种的叶片均为长短不一的披针形,不同品种之间叶片的形态特征差异有统计学意义。妃子笑叶片显著大于其他品种,叶长达 16.37 cm,叶宽达 5.96 cm,叶面积达 68.54 cm²;而紫娘喜的叶长、叶宽和叶面积均最小,分别仅为 8.12, 2.73 cm 和 14.65 cm²。此外, YA1 的叶片也较小,叶面积仅为 18.51 cm²。叶形指数最大的是禾虾串,为 4.15,最小的是双肩玉荷包,仅为 2.16。

表 1 荔枝品种植株形态特征比较

品种	株高/cm	梢长/cm	梢粗/mm	节间长/cm	叶面积/cm ²	叶长/cm	叶宽/cm	叶形指数
YA1	109.00 g	6.25 d	3.51 ed	2.71 c	18.51 e	10.07 c	2.78 e	3.62 b
紫娘喜	153.00 f	7.67 d	3.18 d	1.89 d	14.65 f	8.12 d	2.73 e	2.97 bc
双肩玉荷包	208.00 e	18.12 b	3.28 ed	2.77 c	22.74 d	10.36 c	3.28 d	2.16 d
禾虾串	287.00 d	9.68 ed	3.31 ed	3.39 c	68.54 a	16.37 a	5.96 a	4.15 a
妃子笑	328.00 b	15.87 bc	6.68 a	2.88 c	68.54 a	16.37 a	5.96 a	2.75 c
桂味	302.00 c	27.86 a	3.26 ed	5.91 a	27.97 c	11.50 c	3.34 d	3.44 b
马贵荔	356.00 a	16.28 bc	3.82 bc	4.07 b	28.56 c	10.14 c	4.17 b	2.43 cd
三月红	291.00 d	13.85 c	4.18 b	2.77 c	28.30 c	10.26 c	4.09 bc	2.51 cd
无核荔	276.00 d	10.52 ed	3.65 bed	2.76 c	35.37 b	13.41 b	3.92 c	3.42 b

注:在表中同一列数字旁的不同字母表示达到差异显著性水平 ($P < 0.05$), 下表同。

2.2 各试材有机营养质量分数的差异

从下表2可看出,在9个荔枝品种中,双肩玉荷包的可溶性糖质量分数显著高于其他品种,达31.07 mg/g DW,紫娘喜次之,桂味则最低,仅17.13 mg/g DW. 淀粉质量分数以YA1最高,为49.72 mg/g DW,紫娘喜次之,三月红则最低,仅31.03 mg/g DW. YA1、紫娘喜和双肩玉荷包的总碳质量分数显著高于其他品种,而妃子笑的质量分数

则最低. YA1和紫娘喜的可溶性蛋白质质量分数显著高于其他品种,其分别为9.16,9.57 mg/g DW,禾虾串则最低,仅5.39 mg/g DW. 禾虾串的自由氨基酸质量分数显著高于其他品种,达1278.90 $\mu\text{g/g}$ DW,而双肩玉荷包则最低,仅835.84 $\mu\text{g/g}$ DW. YA1的自由脯氨酸质量分数高达361.43 $\mu\text{g/g}$ DW,显著高于其他品种,而无核荔则最低,仅101.39 $\mu\text{g/g}$ DW.

表2 荔枝品种有机营养质量分数比较

品种	可溶性糖 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	淀粉 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	总碳 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	可溶性蛋白质 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	游离氨基酸 /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	游离脯氨酸 /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
YA1	23.14 bc	49.72 a	31.82 a	9.16 a	902.11 c	361.43 a
紫娘喜	25.41 b	46.07 ab	31.15 a	9.57 a	920.32 c	129.07 d
双肩玉荷包	31.07 a	43.87 bc	32.56 a	8.56 ab	835.84 d	161.27 cd
禾虾串	18.91 d	37.66 d	24.68 bcd	5.39 d	1278.90 a	272.16 b
妃子笑	17.78 d	31.53 e	21.48 d	8.23 b	1152.05 b	188.38 c
桂味	17.13 d	39.24 cd	24.63 bc	6.95 c	1007.32 c	152.25 cd
马贵荔	19.87 cd	40.01 cd	26.13 b	7.01 c	1147.63 b	151.00 d
三月红	20.05 cd	31.03 e	22.22 cd	8.36 b	1012.68 c	206.62 c
无核荔	18.33 d	34.56 e	23.06 cd	8.21 b	948.76 c	101.39 e

2.3 各试材无机营养质量分数的差异

由下表3可知,在9个品种中,YA1和紫娘喜的总氮质量分数显著高于其他品种,分别为18.58,18.53 mg/g DW,马贵荔则最低,为14.44 mg/g DW. 磷质量分数以禾虾串最高,为3.01 mg/g DW,紫娘喜和双肩玉荷包则显著低于其他品种,YA1则居于中间水平,差异有统计学意义. 禾虾串和双肩玉荷包的钾质量分数显著高于其他品种,而紫娘喜则显著低于其他品种,YA1次之. 钙质量分数以三月红最高,为5.57 mg/g DW,YA1次之,二者差异无统计学

意义,桂味则最低,为1.27 mg/g DW. 镁质量分数以妃子笑最高,为2.32 mg/g DW,紫娘喜最低,为1.59 mg/g DW. 双肩玉荷包和禾虾串的铁质量分数显著高于其他品种,而马贵荔和无核荔则显著低于其他品种. 双肩玉荷包的锰质量分数显著高于其他品种,为85.23 $\mu\text{g/g}$ DW,而紫娘喜则显著低于其他品种,为14.73 $\mu\text{g/g}$ DW. 锌质量分数以禾虾串最高,为29.17 $\mu\text{g/g}$ DW,马贵荔最低,为18.20 $\mu\text{g/g}$ DW. 铜质量分数以桂味最高,为14.14 $\mu\text{g/g}$ DW,YA1最低,为6.23 $\mu\text{g/g}$ DW.

表3 荔枝品种无机营养质量分数比较

品种	氮 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	磷 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	钾 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	钙 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	镁 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	铁 /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	锰 /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	锌 /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	铜 /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
YA1	18.58 a	2.21 bc	7.16 c	5.02 ab	2.18 ab	52.72 cd	14.97 f	19.82 cd	6.23 e
紫娘喜	18.53 a	1.78 d	6.41 d	4.40 b	1.59 c	59.89 bc	14.73 f	21.25 c	6.85 de
双肩玉荷包	15.48 b	1.80 d	10.54 a	2.99 c	1.88 b	66.58 a	85.23 a	19.83 cd	11.66 b
禾虾串	16.01 b	3.01 a	10.50 a	2.13 d	1.62 b	81.85 a	27.43 e	29.17 a	11.94 b
妃子笑	15.74 b	2.36 b	9.89 b	2.44 cd	2.32 a	60.56 bc	52.16 c	23.67 b	11.72 b
桂味	15.49 b	2.24 bc	9.31 b	1.27 e	1.77 b	57.23 bcd	39.21 d	25.11 b	14.14 a
马贵荔	14.44 c	2.17 c	10.06 a	2.39 cd	2.19 ab	50.27 d	17.20 f	18.20 d	7.71 d
三月红	16.17 b	2.21 c	9.98 a	5.57 a	1.94 ab	64.78 b	27.41 e	20.56 c	10.36 c
无核荔	16.20 b	2.29 c	8.49 bc	2.33 cd	2.15 ab	48.96 d	69.89 b	20.24 c	10.93 bc

2.4 植株生长势与树体营养的相关性分析

从下表4可看出,叶片可溶性糖质量分数与植株茎干和枝叶的形态特征均呈负相关,但差异无统计学意义;叶片淀粉质量分数与株高和叶宽呈显著负相关;叶片总碳质量分数与株高呈极显著负相关,与叶宽呈显著负相关;荔枝叶氨基酸质量分数与株高呈显著正相关,与叶面积呈极显著正相关;荔枝叶片氮质量分数与梢长呈显著负相关,与株高呈极显著负相关;叶片磷质量分数与叶面积和叶长呈极显

著正相关,与叶宽和叶形指数呈显著正相关;叶片钾质量分数与株高呈显著正相关;叶片锌质量分数与叶面积和叶长呈显著正相关;叶片铜质量分数与梢长呈显著正相关。

表4还显示,叶片蛋白质、脯氨酸、钙、镁、铁和锰的质量分数与树体生长势的相关性均未达到显著性水平;此外,梢粗、节间距和叶形指数与叶片营养物质质量分数也未达到显著性水平。

表4 荔枝树体营养与生长势的相关性

指标	可溶性糖	淀粉	总碳	蛋白质	氨基酸	脯氨酸	氮	磷	钾	钙	镁	铁	锰	锌	铜
株高	-0.646	-0.797*	-0.812**	-0.653	0.683*	-0.414	-0.879**	0.418	0.730*	-0.591	0.242	0.049	0.146	0.231	0.555
梢长	-0.196	-0.276	-0.269	-0.332	0.037	-0.406	-0.683*	-0.111	0.515	-0.584	0.023	-0.060	0.337	0.142	0.709*
梢粗	-0.375	-0.594	-0.558	0.091	0.366	-0.005	-0.223	0.152	0.257	-0.058	0.635	-0.065	0.144	0.050	0.162
节间距	-0.489	-0.129	-0.301	-0.618	0.290	-0.108	-0.566	0.256	0.373	-0.653	0.064	-0.090	-0.041	0.326	0.554
叶面积	-0.532	-0.613	-0.640	-0.613	0.812**	0.143	-0.373	0.798**	0.539	-0.469	0.132	0.517	0.148	0.703*	0.497
叶长	-0.555	-0.591	-0.636	-0.590	0.691	0.130	-0.355	0.802**	0.494	-0.546	0.194	0.413	0.295	0.687*	0.577
叶宽	-0.534	-0.694*	-0.695*	-0.635	0.867**	0.094	-0.481	0.769*	0.635	-0.404	0.173	0.505	0.092	0.597	0.440
叶形指数	-0.455	0.123	-0.120	-0.421	0.327	0.446	0.356	0.699*	-0.269	-0.219	0.284	0.231	-0.289	0.665	0.103

注: *表示在0.05水平上显著相关; **表示在0.01水平上显著相关。

3 结论与讨论

荔枝由于受地域分布的限制以及研究力量的不足,造成长期以来研究进展缓慢,特别是矮化栽培方面.一直以来,对荔枝矮化种质的发掘与研究利用等方面涉入不深.因此,课题组经过多年的资源调查与观察研究,发现YA1和紫娘喜具有一定的矮化性,可作为荔枝矮化砧木或矮化中间砧加以利用,实现荔枝的矮化栽培.形态特征是果树矮化性状中最直观的一个,如矮化果树通常表现出枝条节间距短、树形紧凑或树体矮化.田间的测量统计结果表明,在7a生的嫁接植株中,YA1的平均高度仅为1.1m左右,枝条的平均长度和节间距均最小,且差异有统计学意义.紫娘喜的平均高度为1.5m左右,而其余品种均在2.5m以上.2个矮化品种的梢长和叶宽也显著小于乔化品种,矮化品种的其他形状,如节间距、叶面积和叶长也较乔化品种小.

常规的矮化资源选择总是先根据植株的外观表现,当成为初选目标后,需经过4~5a甚至更长的时间,而效果也不一定理想.果树弱生长势可能来自于本身的遗传机制,也可能是由外界环境因子造成的,如气候、土壤及砧木等.由于在选种的幼苗阶段,不易把两种因素区分开,因此在寻找早期阶段,根据

一些可靠指标来预测某种果树种质的生长势强弱,将会大大加速弱生长势种质的筛选进程,并为早期筛选出来的弱生长势种质资源提供相关依据.

弱生长势品种由于较少的营养生长使树体有更多的有机营养累积,并外运形成较多的花芽,使丰产成为可能.Wertheim^[15]发现,晚秋矮砧苹果树体内淀粉、糖及氨态氮的含量均高于乔化砧树,原因可能是矮砧制约了地上部向根中输送光合产物,使根系的生长受到制约,同时又抑制了地上部的生长;此外,矮化苹果树短枝率较高,而乔化的树体短枝率较低.本研究发现,荔枝弱生长势品种YA1和紫娘喜叶片的淀粉和可溶性蛋白质含量显著高于强生长势品种,可溶性糖含量也较高,但各试材间有较大差异.弱生长势品种木质部中氮、磷、钾含量减少,氨基酸的种类与强生长势品种的差异不大;弱生长势砧木导致嫁接接口以下木质部的汁液浓度显著高于嫁接接口以上,这种效应可能与穗、砧嫁接接口的通畅程度有关^[11].然而,Rom等^[16]指出,果树品种间营养元素含量差异主要是砧木之外的其他因素,诸如接穗品种、栽培方法、负载量及地点、年份等导致的.本研究表明,YA1和紫娘喜的磷、钾、锰和铜含量较低,与乔化品种相比差异有一定统计学意义,这与张永福等^[12]的研究结果相似.

此外,本研究还发现,叶片淀粉、总碳、氮和氨基酸的含量对荔枝品种株高产生显著影响,其中淀粉与株高呈显著负相关,总碳和氮含量与株高呈极显著负相关,氨基酸含量与株高呈显著正相关.氨基酸、磷和锌的含量对叶面积产生显著影响,其中氨基酸和磷含量与叶面积呈极显著正相关,锌含量与叶面积呈显著正相关.

[参考文献]

- [1] CHRIS A, MARK E. Understanding how rootstocks dwarf fruit trees[J]. *Compact Fruit Tree*, 34(2):46-49.
- [2] TONY W. Dwarfing rootstocks: past, present and future [C]//International Dwarf Fruit Tree Association Annual Conference, Kelowna, British Columbia, Canada, 2002: 67-72.
- [3] 陈静, 陈培珠. 苹果枝条解剖结构与生长势的关系[J]. *中国农学通报*, 1998, 14(3):46-47.
- [4] TWOROSKI T, MILLER S. Rootstock effect on growth of apple scions with different growth habits [J]. *Sci Hort*, 2007, 111:335-343.
- [5] 陈长兰, 贾敬贤, 侯潇, 等. 梨树矮化中间砧嫁接树的解剖及酶活性测定[J]. *中国农学通报*, 2000, 16(3):20-21.
- [6] MICHAEL S W. Sweet cherry orchard management and dwarfing rootstocks in Germany [J]. *Compact Fruit Tree*, 2001, 34(1):20-22.
- [7] 王宏伟. 甜樱桃矮化砧木矮化机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.
- [8] 赵大中, 罗先实, 鲁俊良, 等. 柑桔砧木矮化预选指标的解剖学研究[J]. *果树科学*, 1995, 12(4):219-223.
- [9] MUHAMMAD S, DODD P B, LUBNA S. Anatomical studies of stems, roots and leaves of selected citrus rootstock varieties in relation to their vigour [J]. *J Hort and Forestry*, 2010, 2(4):87-94.
- [10] 张永福, 卢博彬, 潘丽佳, 等. 荔枝矮化品种的相关机制研究[J]. *果树学报*, 2011, 28(4):624-629.
- [11] JONES O P. Endogenous growth regulators rootstock/scion interactions in apple and cherry trees[J]. *Acta Hort*, 1986, 179:177-184.
- [12] 张永福, 韩丽, 刘佳妮, 等. 葡萄木质部解剖结构与树体营养及生长势的关系[J]. *东北农业大学学报*, 2015, 46(1):34-40.
- [13] 张志良, 瞿伟菁, 李小芳. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [14] 徐昌杰, 陈文峻, 陈昆松, 等. 淀粉含量测定的一种简便方法: 碘显色法[J]. *生物技术*, 1998, 8(2):41-43.
- [15] WERTHEIM S J. Useful differences in growth vigor between subclones of the apple rootstock M9[J]. *Acta Hort*, 1997, 451:121-128.
- [16] ROM C R, ROM R C, AUTIO W R, et al. Foliar nutrient content of Starkspur Supretne Delicious on 9 clonal apple rootstocks[J]. *Fruit Varieties J*, 1991, 45:252-263.
- [17] NIKPASSAND M, MAMAGHANI M, TABATABAEIAN K, et al. An efficient and clean synthesis of symmetrical and unsymmetrical 3, 3-di (indolyl) indolin-2-ones using KSF [J]. *Synth Commun*, 2010, 40(23):3552-3560.
- [18] AZIZIAN J, MOHAMMADI A A, KARIMI N, et al. Silica sulfuric acid a novel and heterogeneous catalyst for the synthesis of some new oxindole derivatives [J]. *Catal Commun*, 2006, 7(10):752-755.
- [19] AZIZIAN J, MOHAMMADI A A, KARIMI A R, et al. KAl(SO₄)₂ · 12H₂O as a recyclable Lewis acid catalyst for synthesis of some new oxindoles in aqueous media [J]. *J Chem Res Synop*, 2004(6):424-426.
- [20] BERGMAN J, EKLUND N. Synthesis and studies of tris-indolobenzenes and related compounds [J]. *Tetrahedron*, 1980, 36(10):1445-1450.
- [21] RAD-MOGHADAM K, SHARIFI-KIASARAIE M, TAHERI-AMLASHI H. Synthesis of symmetrical and unsymmetrical 3, 3-di (indolyl) indolin-2-ones under controlled catalysis of ionic liquids [J]. *Tetrahedron*, 2010, 66(13):2316-2321.
- [22] HUANG W, NANG L, LI X, et al. Bromine/*para*-toluenesulfonic acid-catalyzed synthesis of 3, 3-bis (indole-3-yl) indoline-2-(1H)-ones by condensing indoles with isatins [J]. *Chin J Chem*, 2015, 33(10):1167-1172.
- [23] XU C, YUAN H, LIU Y, et al. Hydrobromic acid-catalyzed Friedel-Crafts type reactions of naphthols [J]. *RSC Adv*, 2014, 4(4):1559-1562.
- [24] YUAN H, WANG M, LIU Y, et al. Unexpected hydrobromic acid-catalyzed C-C bond-forming reactions and facile synthesis of coumarins and benzofurans based on ketene di-thioacetals [J]. *Chem Eur J*, 2010, 16(45):13450-13457.

(上接第 65 页)