

旱柳 F₁ 群体速生性和冠型的群体评价

江钰娜, 冯汶祥, 高俊峰, 吴瑜玮, 冯志聪, 黄婧柯, 张健, 刘国元* (南通大学生命科学学院, 江苏南通 226019)

摘要 林木是重要的工业原料, 也是最稳定且最经济的纤维原料。开展柳树速生性和冠型的研究是解决我国木材原料短缺的有效手段。对 195 个 5 年树龄的杂种 F₁ 代进行树高、胸径、枝角等表型的测定, 通过相关分析等发现高生长和径生长有极显著相关性, 枝角与高生长存在较显著负相关。进一步通过主成分分析, 筛选出 18 个窄冠速生的新品系, 其中包括 4 个雄性株系。该研究为研究柳树速生性和冠型的遗传机制以及进行柳树新品种的选育奠定了基础。

关键词 旱柳; 速生; 冠型; F₁ 群体
中图分类号 S 792.12 **文献标识码** A
文章编号 0517-6611(2020)20-0123-04
doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.20.033



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation on Fast-growth and Crown Type of F₁ Population of *Salix matsudana*
JIANG Yu-na, FENG Wen-xiang, GAO Jun-feng et al (College of Life Sciences, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226019)
Abstract Trees are important industrial raw materials and the most stable and economical fiber raw materials. The research on the fast-growing and crown type of willow is important to solve the shortage of wood. In this study, tree height, DBH and branch angle of 195 F₁ generations were measured. Combining the anova analysis and correlation analysis, we found that hight growth and diameter growth showed a very significant correlation. While the branch angle and hight growth showed significant negative correlation. Under the principal component analysis, we further identified 18 narrow crown and fast-growing generations, including 4 male generations. These results provided an important foundation for further studies of the genetics of fast-growing and crown type, and can be utilized for willow improvement in the future.
Key words *Salix matsudana*; Fast-growth; Crown type; F₁ population

林业在陆地生态的保护和修复中具有十分重要的作用。林木又是重要的工业原料, 也是最稳定且最经济的纤维原料, 对应对全球能源危机、气候变化等问题有着至关重要的经济和环境效益^[1]。作为全球第二大木材消耗国和第一大木材进口国, 我国木材主要靠进口, 木材短缺已严重制约我国经济发展。统计数据表明, 近 10 年我国进口木材资源比重由 38% 增加到 58%, 仅 2018 年 1 年, 我国原木材进口量就已达 5 968.6 万 m³, 锯材进口量达 3 673.6 万 m³ (中国林业网)。我国现有的林业资源已远远不能满足社会需求, 增加林木的速生性就成为了解决我国木材短缺的有效途径。

柳树是我国原生树种, 也是优良的人工林树种, 由于乔木柳生长快, 抗病虫害能力强, 又具有喜光、喜湿、耐寒、耐旱、耐盐、抗风、易繁殖、成活率高的特点, 在我国东北、华北、西北等温带地区都有大面积分布, 在沿海等土壤质量较差的地方也有广泛种植。乔木柳与杨树、桉树这些常见人工林树种相比, 具有木材密度、抗压、抗剪能力强于杨树, 分布性、适应性、对生态环境副作用优于桉树等特点。乔木柳是优质的工业材料, 被广泛利用在制浆^[2-4]、造纸、建筑器具、人造棉、火药、刨花板^[5]、重组木^[6]、中密度纤维板^[7]等方面。因此, 改良乔木柳的速生性, 增加其高生长和径生长, 不仅有利于柳树的遗传改良, 也对解决我国工业原料短缺的问题有重要作用。

速生性是受许多形态、解剖和生理生化特性控制的复合

遗传性状, 它是既受栽培条件的影响, 又受光合作用、生长期、干重、苗高、基径、激素响应等多个因素影响的综合指标^[8]。其中高生长和径生长是描述林木速生性的 2 个主要方面, 高生长的衡量指标是树高, 径生长的衡量指标有基径、胸径等^[9-11]。

在实际生产中, 农田林网和农林间作时, 柳树会造成农作物减产^[12], 推广窄冠型旱柳树种可以保证一定的木材需求和粮食产量的供应。且窄冠型柳树也常当作行道树等进行园林绿化。目前对窄冠型树种的研究主要集中在农田防护、间作效益、农林间作技术、透光特性等方面。已有研究发现, 推广窄冠型树种既可增加粮食产量, 又可增加林木的生产量。刘振廷等^[13]研究发现窄冠黑杨与小麦间作可有效降低麦田气温, 提高小麦年产量。选用窄冠白杨进行粮林间作可以使小麦增产约 225 kg/hm²^[14]。窄冠型苹果树的产量是宽冠幅产量的 3 倍^[15]。窄冠型杨树的推广应用除可提高粮林产量外, 还具有冠幅窄、生长快、木质好、多为雄株无飞絮污染、根系深、耐盐碱、树型高大美观等优点^[16]。

植物分蘖角度或分枝角度是重要的农艺性状, 它影响植物的外观形态和生长发育, 是植物形态结构的重要组成部分^[17]。合理的冠型可以提高光合利用、增加农艺产量、影响景观植物的应用。植物分枝角度或分蘖角度发育受到环境因素和基因遗传因素的共同调控^[18-19]。在一定的环境条件下可以通过修剪等方法来改变树木的冠型。但植物外在形态结构主要是由遗传因素调控的, 不同植物种类拥有独特的分枝发育程序, 并且表现出独特的表型。目前已有许多研究者对分枝角度进行了相关研究, 植物激素是调控植物分枝角度或分蘖角度的主要因子。生长素含量可以影响植物侧芽的生长发育^[20], 并参与植物顶端优势的形成^[21]。施用细胞分裂素可以促进小麦侧芽的形成^[22]。抑制独脚金内脂的合

基金项目 江苏省林业科技创新与推广项目 (LYKJ[2018]36); 国家自然科学基金项目“基于异速生长理论的旱柳根系耐盐基因网络枢纽发掘”(31971681); 南通大学引进人才科研启动项目“雄性窄冠速生柳新品系选育与繁殖应用”(18R08)。
作者简介 江钰娜(1996—), 女, 江苏南通人, 硕士研究生, 研究方向: 生物学。* 通信作者, 讲师, 博士, 从事园林植物研究。
收稿日期 2020-03-08; 修回日期 2020-04-09

成可以使菊花表现出直立紧凑的外观^[23]。除植物激素外,许多相关基因也被报道与分枝角度相关。水稻中 *PIN2* 基因可以调控生长素的极性运输,影响其分蘖角度^[24]; *MOCL* 基因可以调控水稻中分蘖的角度^[25]; *TAC1* 基因的上调表达可以导致水稻分蘖角度变大^[26]; *ZmTAC1* 基因的突变可以导致玉米叶片角度变小,植株直立紧凑^[27]。苹果树中 *Co* 基因可以调控其冠型^[28]。

然而,这些研究主要是分枝角度的调控机理,在品种选育角度以及冠型与速生性关系的研究方面还很少,在柳树中这类研究更是鲜有报道。该研究为筛选适宜在我国东部沿海人造林种植的新品系,利用江苏地区常见旱柳品种(沿江柳)和速生性好、冠型紧凑的旱柳品种(9901)进行杂交,对 F_1 子代的树高、胸径、枝角等性状进行群体评价,初步明确冠型和速生性之间的遗传关系,并筛选速生、窄冠的柳树新品系,为柳树新品种的选育提供支持。

1 材料与方法

1.1 材料 以在江苏沿江地区常见的四倍体旱柳品种(沿江柳)为母本,以速生性好、冠型紧凑的旱柳品种(9901)作为父本,进行杂交,得到 195 个子代并于 2014 年秋季种植在江苏省南通市沿江地区农业科学研究所柳树资源圃基地。生长量是林木育种的重要性状,它与冠层结构、每年快速生长期的持续时间都有很大关系,其中分枝夹角不仅能影响冠层结构,还会影响树木的外部形态。研究冠型和生长量的关系和变异可以为柳树的育种提供依据。当树龄达到 4 年和 5

年时,在落叶期(11 月)对群体中的子代进行树高、胸径、枝角等性状的物候调查。

1.2 速生性调查和计算 首先对 195 株子代进行性别调查,对群体中的子代进行树高、胸径测量,胸径按照主干离地面高度 1.3 m 的位置进行测量。对树高年生长量和胸径年生长量进行计算。

1.3 枝角测量 对 75 个株系中每个株系前三树枝角度与主干的夹角进行测量,并以此计算每个子代的平均分枝角。

1.4 数据处理 对所得的表型数据利用 Excel、R 语言等软件进行描述性统计分析、方差分析、相关分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 树高、胸径、冠型的描述性统计 首先对 195 个子代进行性别调查统计,其中有 75 个子代为雄性,102 个雌性,还有 18 个生长过于缓慢,未能调查清楚其性别。对 195 个子代生长第 4 年和第 5 年时的树高、胸径和枝角进行统计,并分别计算树高年生长量、胸径年生长量和枝角的平均值。该群体中树高为 1.34~12.08 m,树高年生长量为 0.33~2.42 m,胸径为 0.60~13.10 cm,胸径年生长量为 0.15~2.62 cm。子代的平均枝角为 17.73°~78.33°(表 1)。各性状变异幅度也很大,5 个性状的变异系数为 16.94%~53.01%,其中胸径的变异幅度最大。这一结果表明,195 个子代在高生长、径生长以及枝角这几个性状上表型变异丰富,利于开展柳树高生长、径生长、冠型研究。

表 1 5 个表型性状的描述性统计
Table 1 Statistics of five phenotypic traits

项目 Item	树高 Tree height//m	树高年生长量 Annual growth of tree height//m	胸径 DBH//cm	胸径年生长量 Annual growth of DBH//cm	枝角 Branch angle//°
平均值 Average	5.73	1.28	4.15	0.92	42.56
标准差 Standard deviation	1.61	0.34	2.20	0.44	7.21
变异范围 Variation range	1.34~12.08	0.33~2.42	0.60~13.10	0.15~2.62	7.73~78.33
变异系数 Variation coefficient//%	28.09	26.56	53.01	47.83	16.94

2.2 F_1 群体速生性状的评价 高生长和径生长是评价林木速生性的 2 个重要指标,根据 2 次调查得到的树高年生长量和胸径年生长量可以发现,第 2 次调查得到的树高年生长量和胸径年生长量显著高于第 1 次,结果表明该 F_1 群体第 5 年在高生长和径生长方面相较于以前都有较快增加。为了进一步探究高生长、径生长的关系,对树高、树高年生长量、胸

径和胸径年生长量进行相关分析。从表 2 可以看出,这 4 个性状相互之间存在极显著正相关,由此可以看出,在该群体中高生长和径生长存在着很高的一致性,即高的子代相应胸径也更粗。由于高生长和径生长 2 个性状存在很强的正相关性,这也就为选择更高、更粗的速生新品系提供了理论依据。

表 2 4 个速生性状的相关系数
Table 2 Correlation rate of four fast-growing traits

指标 Index	树高 Tree height	胸径 DBH	树高年生长量 Annual growth of tree height	胸径年生长量 Annual growth of DBH
树高 Tree height	1			
胸径 DBH	0.83**	1		
树高年生长量 Annual growth of tree height	0.99**	0.81**	1	
胸径年生长量 Annual growth of DBH	0.84**	0.99**	0.84**	1

注: ** 表示在 0.01 水平存在极显著相关($P<0.01$)
Note: ** indicated a significant correlation at 0.01($P<0.01$)

旱柳为雌雄异株的树种,进一步对不同性别旱柳的速生性状进行了比较和 *t* 检验。从图 1 可以看出,雄性旱柳树高和树高年生长量的平均水平略低于雌性旱柳,胸径和胸径年

生长量略高于雌性旱柳。通过进一步 *t* 检验,旱柳性别对这 4 个速生性状的影响不大,没有达到显著水平。

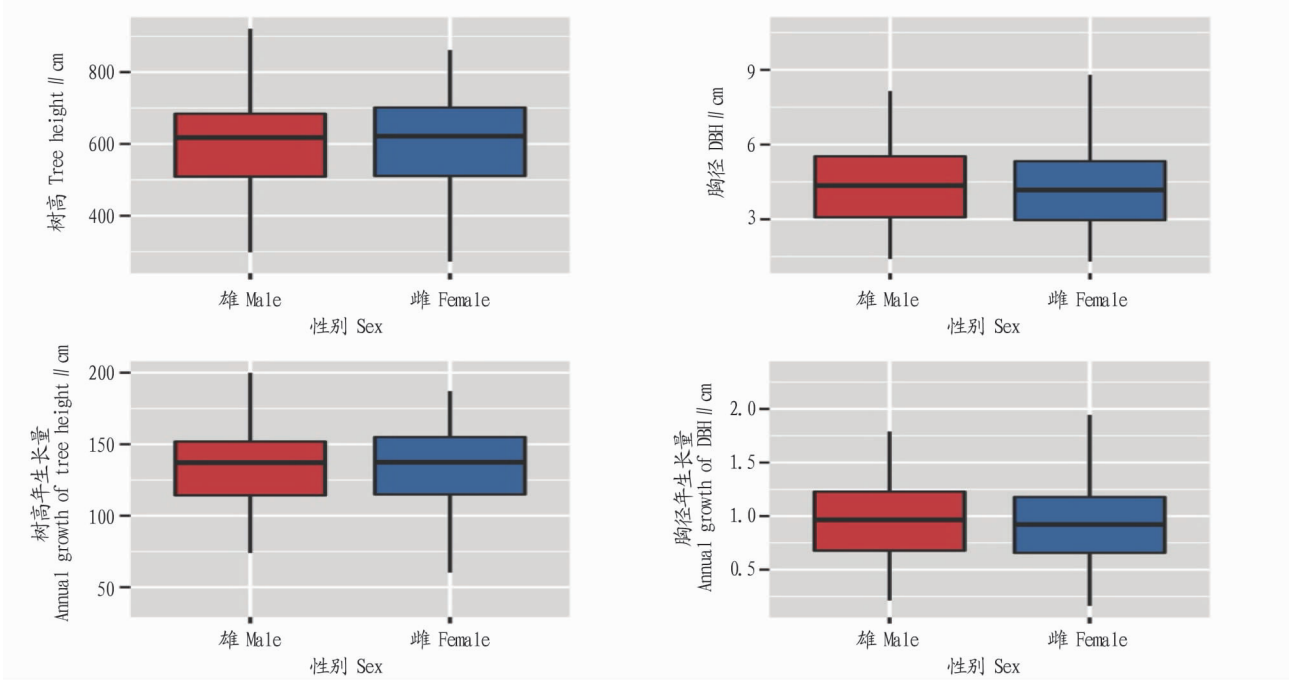
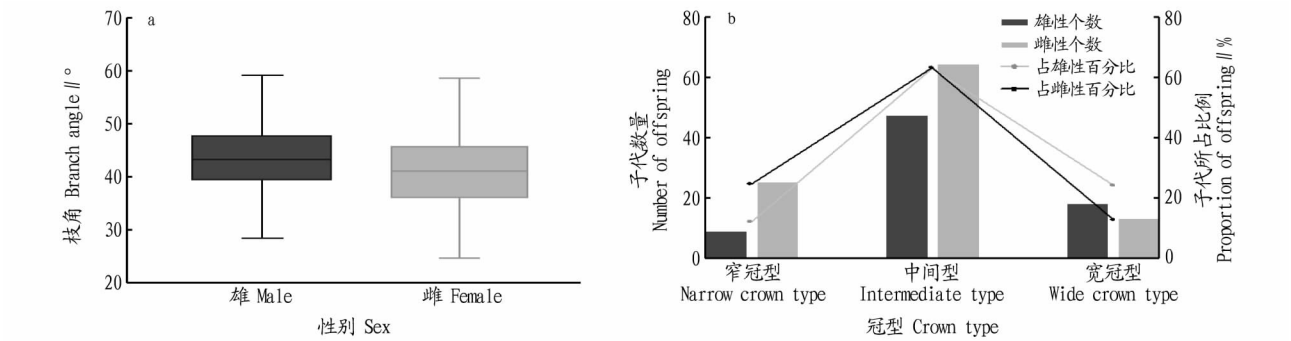


图 1 雌雄旱柳速生性比较
Fig.1 Comparison of fast-growing traits between male and female salix

2.3 冠型与速生性的关系 冠层结构是影响植物光合作用的一个重要因素,冠型的差异也是影响景观植物的一个重要因素。旱柳常用于人工速生林以及城市绿化的行道树等,这些用途决定了其冠型不能过于松散。前面已对该群体的枝角进行了测量和统计,发现其变异幅度很大。由于冠层是影响光合能力的一个重要因素,而光合能力又是影响速生性的一个主要因素,为了进一步探究冠型和速生性的关系,对枝角和树高、树高年生长量、胸径以及胸径年生长量进行了相关分析。相关分析结果表明,枝角的大小与树高和树高年生长量存在极显著负相关,与胸径年生长量存在显著负相关,然而与胸径没有表现出显著相关性。这一结果反映出枝角对速生性是有很大影响的,枝角越小,树高越高、高生长和

胸径年生长量也越大。较小枝角更有利于旱柳的速生。在种植密度达到一定程度时,枝角的增加并不能增加冠层的有效光合面积,相反还会消耗其光合产物,对速生性产生不利影响,而枝角越小,则旱柳的冠型也就越窄,窄冠型能有效增加对光能的利用率,更加利于加快旱柳的生长。

进一步分析了不同性别旱柳的冠型是否存在差异,由图 2a 可以看出,雌性旱柳的枝角是略小于雄性的,通过 *t* 检验分析,发现两者的枝角差异达到了显著水平。进一步对枝角性状进行了分析,为了便于统计,首先把该群体按照枝角 <36°,36°~ 48°, >48°的标准划分成窄冠型、中间型以及宽冠型三类,并统计各类中雌雄株的个数。通过图 2b 发现雌株的窄冠型个体的数量和比例都显著高于雄株,而雄株的宽冠



注:a.雌雄旱柳枝角大小比较;b.不同冠型雌雄旱柳数量及比例
Note:a.Comparison of branch angle between male and female salix;b.Numbers and ratios of male and female salix willows with different crown types

图 2 不同性别旱柳枝角比较
Fig.2 Comparison of branch angle between male and female salix

型个体数量和比例相对较多。枝角性状是由控制性别的基因引起的还是与其存在连锁关系有待于进一步验证,可以确定的是该群体中宽冠型的雄性早柳较多,窄冠型的雌性早柳较多。

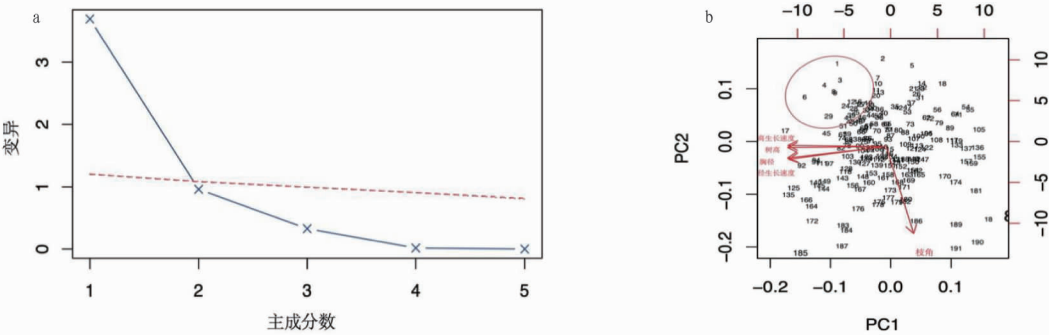
为了进一步分析冠型对速生性的影响,对树高年生长量和胸径年生长量进行了方差分析。通过方差分析可以看出,冠型对树高的年生长量存在显著影响,对胸径年生长量的影响未达到显著水平。进一步进行多重比较发现(表3),3种冠型的树高生长量均存在显著差异,其中窄冠型的平均树高年生长量最高,宽冠型的最低。这一结果与前面相关分析的结果也是一致的,枝角越小,冠型越小,其速生性就越高。

2.4 速生性和冠型的主成分分析 为了对该群体的速生性和冠型进行进一步评价,并进一步筛选优异株系,对调查的5个性状进行了主成分分析,共找到了5个主成分,其中前2个主成分的方差贡献率较高(图3a),保留前2个主成分,对主成分进行降维,并计算5个表型性状与2个主成分的相关

系数(表4)。根据所得结果,发现PC1与4个速生表型的相关系数都达0.9以上,表明PC1与速生性有显著正相关,PC1与枝角的相关系数为负值,表明该主成分同时与枝角大小呈负相关。PC2与速生性的相关系数不大,而与枝角的相关系数很大,达0.96,表明第二主成分主要与枝角相关。2个主成分对5个表型性状的累计变异解释率达90%以上,表明这2个主成分能很好地对速生性和冠型进行解释。

表3 不同冠型树高年生长量的多重比较
Table 3 Multiple comparisons of height growth

冠型 Crown type	树高年生长量均值 Mean of annual height growth//cm	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
窄冠型 Narrow crown type	137.96	a	A
中间型 Intermediate type	126.88	b	A
宽冠型 Wide crown type	111.30	c	B



注:a.5个主成分的方差贡献率碎石图;b.F₁群体主成分分析图
Note:a.Macadam of variance contribution rate of five principal components;b.PCA analysis of F₁ population

图3 早柳 F₁ 群体速生性和冠型的主成分分析

Fig.3 Principal component analysis of fast-growing and coronal type of *Salix matsudana* F₁ population

表4 早柳 F₁ 群体速生性和冠型主成分分析

Table 4 Principal component analysis of fast-growing and crown types

性状 Traits	PC1	PC2	累计解释率 Cumulative interpretation rate
树高 Tree height	0.96	0.01	0.91
胸径 DBH	0.94	0.14	0.91
树高年生长量 Annual growth of tree height	0.95	-0.01	0.91
胸径年生长量 Annual growth of DBH	0.96	0.13	0.93
枝角 Branch angle	-0.27	0.96	0.99

对F₁群体的所有子代进行了主成分分析,根据主成分分析的结果,可以对速生性好且冠型优异株系进行进一步的筛选(图3b)。根据图3b中红圈部分,初步筛选出18个速生性好且窄冠型的品系。它们都是利于密植且生长量较高的品系,后续可以通过扦插进行无性繁殖,并进一步进行田间重复试验,为新品种的选育提供种质资源。这些新品系中有4个雄株,还有14个为雌株。在实际生产应用过程中,当柳树作为行道树等城市绿化植物时,为了避免柳絮的污染,要尽量避免雌株种植。该研究选取的这些优异株系中的4个

雄性速生窄冠品种将为园林绿化树种的选育提供优异的种质资源。

3 讨论与结论

柳树由于其速生性好,是我国主要的速生林木之一,其抗逆性强的特点又使得其在全国各地都有很大面积的种植,尤其是东部沿海滩涂等有着大面积的人工林。因此选育速生性好、适应密植的新品种是缓解我国木材短缺的有效途径。该研究利用在东部沿海地区大面积分布的沿江柳品种和速生性好的9901柳杂交,通过对195个子代的速生性和冠型进行调查、相关分析、方差分析等,对该群体的速生性和冠型进行了系统评价,发现高生长和径生长有极显著相关性,枝角与高生长存在较显著负相关。并利用主成分分析筛选出18个窄冠速生的新品系,其中包括4个雄性株系,为柳树的品种选育提供了优异的种质资源。

参考文献

[1] KRAMER P J.The role of physiology in forestry[J].Tree physiology,1986, 2:1-16.
[2] 苗婷婷,吴中能,刘俊龙,等.竹柳等4个柳树无性系造纸材性测定分析[J].甘肃林业科技,2014,39(2):53-56.

在氮、磷、钾三要素中,氮肥为影响产量的首要因素,施肥效果为氮肥>钾肥>磷肥。该研究中,施肥同样影响该品种对养分的吸收及分配,随施肥量增加,氮、磷肥的吸收利用率、农学利用率均呈下降趋势,由于土壤养分充足,钾肥的吸收利用率也一直在极低水平。说明肥料施用越多损失越多,合理施肥是提高肥料利用率的主要措施。氮、磷、钾肥的互作对水稻产量具有显著影响,其中氮磷交互作用最大。该研究为水稻的优质高效生产提供全面的施肥参考。

参考文献

- [1] 马玉银,王如平,左示敏,等.环境因子对稻米品质性状的影响[J].安徽农业科学,2008,36(19):8032-8034.
- [2] 王伟妮,鲁剑巍,何予卿,等.氮、磷、钾肥对水稻产量、品质及养分吸收利用的影响[J].中国水稻科学,2011,25(6):645-653.
- [3] ZHOU W, YANG Z P, WANG T, et al. Environmental compensation effect and synergistic mechanism of optimized nitrogen management increasing nitrogen use efficiency in indica hybrid rice[J]. Frontiers in plant science, 2019, 10: 1-12.
- [4] 从夕汉,施伏芝,阮新民,等.氮肥水平对不同基因型水稻氮素利用率、产量和品质的影响[J].应用生态学报,2017,28(4):1219-1226.
- [5] 魏海燕,王亚江,孟天瑶,等.机插超级粳稻产量、品质及氮肥利用率对氮肥的响应[J].应用生态学报,2014,25(2):488-496.
- [6] 王强盛,甄宏若,丁艳锋,等.钾肥用量对优质粳稻钾素积累利用及稻米品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(10):1444-1450.
- [7] 杨曾平,聂军,廖育林,等.钾对不同晚稻品种产量及钾素吸收利用的影响[J].中国农学通报,2017,33(2):7-15.
- [8] 陈世平,陈金团.不同施磷量对水稻产量、品质及磷肥利用率的影响[J].安徽农学通报,2019,25(13):57-58,109.
- [9] 廖佳丽.测土配方施肥水稻 3414 肥料效应的研究[J].中国农学通报,2010,26(13):213-218.
- [10] 吴寿华,范晓晖,吴国灿,等.福建省福安市水稻“3414”肥料效应试验[J].湖南农业科学,2019(8):42-45.
- [11] 丁玉萍.水稻“3414”肥效试验[J].福建农业科技,2017(5):1-3.
- [12] 邹应斌,敖和军,夏冰,等.不同氮肥施用对杂交稻产量及其氮素利用效率的影响[J].作物研究,2008,22(4):214-219.
- [13] 王伟妮,李小坤,鲁剑巍,等.氮磷钾配合施用对水稻养分吸收、积累与分配的影响[J].华中农业大学学报,2010,29(6):710-714.
- [14] 董作珍,吴良欢,柴婕,等.不同氮磷钾处理对浙优 1 号水稻产量、品质、养分吸收利用及经济效益的影响[J].中国水稻科学,2015,29(4):399-407.
- [15] 胡春花,谢良商,符传良,等.不同施肥水平对超级稻产量和肥料利用率的影响[J].中国农学通报,2012,28(24):106-110.
- [16] 卜容燕,李小坤,鲁剑巍,等.中稻氮磷钾肥的施肥效果及推荐用量[J].中国农学通报,2010,26(14):218-221.
- [17] 黄清龙,马均,蔡光泽,粳稻米垩白与品质的相关性研究进展[J].中国农学通报,2006,22(1):81-84.
- [18] 叶全宝,张洪程,魏海燕,等.不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究[J].作物学报,2005,31(11):1422-1428.
- [19] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [20] 王伟妮,鲁剑巍,鲁明星,等.湖北省早、中、晚稻施钾增产效应及钾肥利用率研究[J].植物营养与肥料科学,2011,17(5):1058-1065.
- [21] 周健民.土壤钾素动态与钾肥管理[M].南京:河海大学出版社,2008:37-43.
- [22] 刘建祥,杨尚娥.水稻钾营养基因型差异与生产的关系[J].植物生理学通讯,2000,36(4):384-389.
- [23] SAITO K, LINQUIST B, ATLIN G N, et al. Response of traditional and improved upland rice cultivars to N and P fertilizer in northern Laos [J]. Field crops research, 2005, 96(2):216-223.
- [24] 陈学贞,罗运选,刘国华.氮磷钾及其交互作用对移栽棉花产量的影响[J].棉花学报,1988,1(1):55-64.
- [25] TAN P S, AHN T N, VAN LUAT N, et al. Yield trends of a long-term NPK experiment for intensive rice monoculture in the Mekong River Delta of Viet Nam [J]. Field Crops Res, 1995, 42(2/3):101-109.
- [26] 王峰,王顺霞,王占军,等.不同施肥水平与组合对玉米生产性能的影响研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(4):167-171.
- [27] bridge, UK: Cambridge University Press, 1989:124-146.
- [18] SHIMIZU-SATO S, MORI H. Control of outgrowth and dormancy in axillary buds [J]. Plant Physiol, 2001, 127(4):1405-1413.
- [19] BEVERIDGE C A, WELLER J L, SINGER S R, et al. Axillary meristem development. Budding relationships between networks controlling flowering, branching, and photoperiod responsiveness [J]. Plant Physiol, 2003, 131(3):927-934.
- [20] TAKEDA T, SUWA Y, SUZUKI M, et al. The *OstB1* gene negatively regulates lateral branching in rice [J]. Plant journal, 2003, 33(3):513-520.
- [21] HUBBARD L, MCSTEEN P, DOEBLEY J, et al. Expression patterns and mutant phenotype of teosinte branched1 correlate with growth suppression in maize and teosinte [J]. Genetics, 2002, 162:1927-1935.
- [22] 蔡铁,徐海成,尹燕萍,等.外源 IAA、GA₃ 和 ABA 影响不同穗型小麦分蘖发生的机制[J].作物学报,2013,39(10):1835-1842.
- [23] 郝琳.独角金内脂在缺磷条件下影响菊花侧枝伸长的研究[D].北京:中国农业大学,2015.
- [24] 赵亚波,卜贤盼,李培刚,等.*OsPIN1a* 基因在水稻植株不同组织表达与定位研究[J].生物技术,2014,24(1):27-32.
- [25] LI X Y, QIAN Q, FU Z M, et al. Control of tillering in rice [J]. Nature, 2003, 422:618-621.
- [26] ZHAO H, HUAI Z X, XIAO Y J, et al. Natural variation and genetic analysis of the tiller angle gene *MstAC1* in *Miscanthus sinesis* [J]. Planta, 2014, 240:161-175.
- [27] KU L X, WEI X M, ZHANG S F, et al. Cloning and characterization of a putative TAC1 ortholog associated with leaf angle in maize (*Zea mays* L.) [J]. PLoS One, 2011, 6(6):1-7.
- [28] MORIYA S, OKADA K, HAJI T, et al. Fine mapping of *Co*, a gene controlling columnar growth habit located on apple (*Malus × domestica* Borkh.) linkage group 10 [J]. Plant breeding, 2012, 131(5):641-647.

(上接第 126 页)

- [3] 袁志平.迎接竹柳造纸的新时代[J].天津造纸,2015,37(4):8-10.
- [4] 郭泰.竹柳化学组分分析及制浆性能的研究[D].济南:齐鲁工业大学,2016.
- [5] 董葛平,邓玉和王新洲,等.竹柳材性及其刨花板制造工艺研究[J].西南林业大学学报,2013,33(3):92-96.
- [6] 吴金绒,邓玉和,侯天宇,等.竹柳枝丫材性能及重组木制造[J].浙江农林大学学报,2014,31(6):947-953.
- [7] 何振爽,王新洲,邓玉和,等.竹柳枝丫材与小径材中密度纤维板的研究[J].林产工业,2015,42(11):31-35.
- [8] 孔红岭.杨树无性品种速生机理及早期选择的研究[D].泰安:山东农业大学,2008.
- [9] 吴小龙.南酸枣生长进程研究[J].江苏林业科技,2003,30(6):6-8,19.
- [10] 范辉华.杉木、拟赤杨混交对杉木持续生长的影响[J].林业科学研究,2001,14(4):455-458.
- [11] 苏雪辉,赵自成.杨树新无性系造林生长节律观测初报[J].江苏林业科技,2003,30(4):10-12.
- [12] 尹建道,吴春森,李庆臣,等.农户型窄冠黑杨、窄冠黑白杨新品种引种试验[J].东北林业大学学报,2007,35(11):7-8.
- [13] 刘振廷,郭延凯,王书军,等.窄冠白杨株行距配置对间作小麦产量的影响[J].河北林业科技,2000(1):8-10.
- [14] 卢胜西,刘国兴,朱西存,等.窄冠白杨间作效益的研究[J].山东林业科技,1995(5):32-36.
- [15] JACOB H B. Breeding experiments of apple varieties with columnar growth and low chilling requirements [J]. Acta horticulturae, 2010, 872:159-164.
- [16] 庞金宣,张友朋,李际红,等.窄冠黑杨窄冠黑白杨的选育(I)田间试验及结果分析[J].山东林业科技,2003(5):1-7.
- [17] STEEVES T A, SUSSEX I M. Patterns in plant development [M]. Cam-