

美国山核桃不同引种品种生长及结实性状比较研究

高云, 傅松玲*, 何小艳

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 在栽培管理技术相对一致的前提下, 对从美国直接引种保存率较高的 5 个美国山核桃品种 (James, Sdling csv13-14, Sdling csv10-5, Forkert 和 Moore), 采用全样法进行调查, 对不同品种美国山核桃的生长量、果实性状和始果年份的结实量进行对比分析, 同时对土壤养分与生长量及结实量进行相关性分析。结果表明: 在合肥试验地中 James 品种的生长量较大, 品种 Moore 果实性状较好及始果年份的产量较高, 说明其在合肥试验区适应性好; 而 Moore 品种在江淮丘陵和皖南试验区适应性好。土壤养分中的全氮含量与单果质量呈显著的正相关性; 全磷含量与树高生长值呈显著的正相关关系; 而全钾含量与始果期产量呈极显著的正相关关系。

关键词: 美国山核桃; 生长量; 果实性状; 产量; 土壤养分

中图分类号: S664.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2011)04-0528-06

The growth and nut characters of different varieties of pecans introduced from America to Anhui Province

GAO Yun, FU Song-ling, HE Xiao-yan

(School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: Five varieties of pecans, which were introduced directly from US and grown under the same cultivation and management condition, were compared in the growth index, nut characters and the beginning year yield of nut. The soil nutrient of five varieties of pecans (James, Sdling csv13-14, Sdling csv10-5, Forkert, Moore), which had high preservation rates in different sites, were also analyzed. The results showed that James had a good adaptability in the northern area of Anhui Province; Moore had a good adaptability in the test area of southern area in Anhui. There was a significantly positive correlation between the total nitrogen content in soil and single nut weight. All phosphorus and tree height was of significantly positive correlation, and all Kalium and the beginning of fruit production was of significantly positive correlation.

Key words: pecan; growth; nut character; yield; soil nutrient

美国山核桃 [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K.Koch], 又名薄壳山核桃, 是胡桃科山核桃属落叶乔木, 原产美国和墨西哥北部^[1], 我国于 19 世纪末 20 世纪初开始引种美国山核桃, 迄今已在 20 多个省 (区、市) 有小面积栽培分布^[2]。美国山核桃的栽培分布范围较广, 我国原有大多数引种地的纬度、气候和土壤等地理生态环境条件均能较好地满足美国山核桃生长发育的要求^[3]。美国山核桃因其树形高大、树姿优美, 是很好的城乡绿化树种^[4]; 又因其核仁肥厚, 营养价值高而味美, 具有较高的经济

价值^[5-6]。该试验项目于 2000 和 2001 年直接从美国农业部在德州的育种研究所引进 23 个品种, 2001 年在合肥安徽农业大学实验苗圃播种育苗, 2002 年分别移栽至合肥大杨店、枞阳县、潜山县、含山县、阜南县试验区, 进行多点试验, 2010 年各试验区已开始挂果。

目前, 对于不同区域的美国山核桃的生长, 结实及果实性状均有相关研究, 如徐德聪, 吕方德等^[7]对 8 个品种美国山核桃的叶片基本性状及生长量进行研究。常君, 杨水平等^[8]对美国山核桃不同

收稿日期: 2011-01-05

基金项目: 国家林业局林业公益性专项 (201004016) 资助。

作者简介: 高云, 女, 硕士研究生。E-mail: gaoyunjiushiwo@163.com

* 通讯作者: 傅松玲, 女, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: fusongl001@163.com

无性系间的果实性状变异及其性状之间的相关性进行了研究。习学良, 范志远等^[9]对 10 个品种的生长结实性状及坚果质量系统分析, 初步筛选出 7 个丰产优质和抗病的品种。

本试验对 3 个不同试验地中的 5 个相同美国山核桃品种 James, Sdling csv13-14, Sdling csv10-5, Forkert 及 Moore 进行了调查, 对其生长量、果实性状和始果期的结实量进行比较研究, 并对土壤养分与美国山核桃生长状况和结实量进行相关性分析, 以期为安徽地区的美国山核桃优选品种和美国山核桃的进一步推广栽培提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试的 5 个美国山核桃品种为 James, Sdling csv13-14(Sc13), Sdling csv10-5(Sc10), Forkert 和 Moore, 为 2000 年直接从美国中北部引种的种子, 随后在合肥安徽农业大学试验苗圃播种育苗, 获得种苗千余株, 2002 年分别移栽至合肥大杨店试验区, 含山县试验区, 枞阳县试验区, 试验材料选择经近 9 年生的实生苗, 均已开始挂果。

1.2 试验地概况

合肥大杨店试验地, 属皖北试验区, 地势平坦, 土壤深厚, 为亚热带湿润季风气候, 四季分明、雨量适中, 地处 32°15'N, 117°17'E, 年平均气温 15.50 °C, 年日照时数在 2 000 h 左右, 年降水量 940 mm。降水主要集中在生长季节, 无霜期 227 d, 土壤为黄棕壤。

含山试验地, 位于含山县农业高新科技园, 属江淮丘陵区, 地处 31°53'N, 118°13'E 之间, 为北亚热带季风区, 该试验区地势平坦, 土壤深厚, 酸碱度中等偏酸, 有机质含量丰富。

枞阳试验地, 属皖南山区, 为低山丘陵区, 冈峦起伏, 为亚热带湿润季风气候, 年平均温度为 16.5 °C, 年降水量为 1 326.5 mm, 年日照时数平均为 2 065 h, 占全年应照时数 47%, 太阳辐射总量为 115.9 kcal·cm⁻², 全年平均无霜期 251 d。

以上试验地均采用大穴栽植, 栽植穴 80 cm×80 cm, 穴深 45 cm。每穴混新土施饼肥, 株行距为 4 m×4 m, 无间作。

1.3 试验方法

1.3.1 生长量指标测定 该试验从 2009 年 12 月至 2010 年 12 月, 待苗木完全落叶, 停止生长后。由于试验地保留株数有限, 为了提高精度, 本试验采用全样法, 对不同试验地 5 个美国山核桃品种进行

年生长量测量, 取其平均值, 采用测高仪测量树高, 胸径卷尺测量胸径。

1.3.2 果实采集及测量方法 2010 年 10 月到 11 月, 至美国山核桃果实完全成熟, 采用全样法, 依次对 3 个试验地中的 5 个品种所有美国山核桃果实进行采摘, 并对所采果实进行测定, 取其平均值。用果长、果径和单果重量 3 个指标作为果实大小的指标; 用游标卡尺测定果长、果径, 精确到 0.01 cm; 单果重量及实产量用便携式电子天平称量, 精确到 0.1 g。

1.3.3 土壤养分测定 在 3 个试验地内进行取样, 按对角线布 5 个取样点, 每点采集 0~10, 10~30 cm 土层的土样 1 kg 左右, 将各样地 5 个样点采集到的土样混合后, 采用四分法取 1 kg 混合土样, 按国标分析方法测定其的土壤化学性质, 土壤的全 N、全 P 采用湿式消化法、氮素用凯氏定氮法^[10], 磷素用钼锑抗比色法测定, 土壤全 K 用原子吸收仪测定, 土壤导电率和 pH 值分别用电导仪和 PH 计测定。

1.4 数据处理

本试验采用 Excel, SPSS18.0 软件进行数据计算, 相关性分析及其它统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种美国山核桃生长比较

苗木的树高胸径是判断判断苗木质量的重要指标^[11]。在相同试验地下, 就消除了环境条件不同造成生长的差异, 而此时各品种生长的差异就是由品种自身的遗传因子造成的。因而, 可以根据引种的品种遗传品种及苗木的生长状况来进行品种选优。

由表 2 所示, 相同品种内的美国山核桃树高值无差异, 而胸径值则呈显著性差异; 不同品种内的树高值无差异, 而胸径值则呈显著性差异。

由表 1 可看出, 在合肥试验地中, 5 个美国山核桃品种的树高值从高到低的排列是: James > Sc13 > Moore > Sc10 > Forkert; 而胸径从高到低的排列是: James > Sc13 > Moore > Sc10 > Forkert。

在含山试验地中, 5 个美国山核桃品种的树高值从高到低的排列是 James > Moore > Forkert > Sc10 > Sc13; 而胸径从高到低的排列是: Forkert > Moore > James > Sc10 > Sc13。

在枞阳试验地中, 树高值从高到低的排列是 Sc13 > Moore > Forkert > Sc10 > James; 而胸径从高到低的排列是: Moore > Sc13 > Forkert > James > Sc10。

由此可以得出: 从 5 个不同美国山核桃品种高径指标比较, 合肥试验地中树高和胸径值较大的品种是

James; 含山试验地中高径值较大的品种是 James 和 Forkert; 而枞阳试验地是品种 Moore 和 Sc13。

2.2 不同品种的年生生长量比较

树木生长量指标是衡量树木是否适应该试验地

的最重要的标准之一^[12]。不同试验地的美国山核桃树高胸径增长量不同, 这与不同试验地的土壤条件及气候条件等生态因子的差异有关。

表 1 不同品种美国山核桃高径

Table 1 The average height and DBH of different varieties of pecans

品种编号 Species	合肥 Hefei site		含山 Hanshan site		枞阳 Zongyang site	
	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm
	Height	DBH	Height	DBH	Height	DBH
James	5.22	9.13	4.93	9.40	4.62	5.83
Sc13	5.03	8.83	4.44	9.00	5.57	7.06
Sc10	4.83	8.06	4.60	9.13	5.19	5.93
Forkert	4.59	5.90	5.14	10.21	5.17	6.36
Moore	4.87	8.25	4.91	10.09	5.34	8.29
平均值 Average	4.91	8.03	4.80	9.57	5.18	6.69

表 2 不同品种美国山核桃高径方差分析

Table 2 The variance analysis on the height and DBH of different varieties of pecans

	差异源	平方和	自由度	均方	F值
	Different sources	SS	Df	MS	F value
树高 Height	相同品种内IGSV	0.373	4	0.186	2.178
	不同品种间IGDV	1.026	10	0.086	
胸径 DBH	总数Total	1.399	14		
	相同品种内IGSV	9.281	4	4.641	4.075*
	不同品种间IGDV	13.665	10	9.130	
	总数Total	22.946	14		

注: *、**分别为 0.05 及 0.01 水平上的显著性差异。下同。

Note: * and ** represent significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

表 3 不同品种美国山核桃的生长情况

Table 3 The height and DBH growth of different varieties of pecans

品种编号 Species	树高增长量/m Height growth			胸径增长量/cm DBH growth		
	合肥	含山	枞阳	合肥	含山	枞阳
	Hefei	Hanshan	Zongyang	Hefei	Hanshan	Zongyang
James	0.42	1.19	0.61	1.38	0.71	0.98
Sc13	0.53	1.17	0.50	1.20	0.80	1.14
Sc10	0.73	1.15	0.49	1.16	0.71	0.89
Forkert	0.57	0.69	0.62	1.38	0.76	1.03
Moore	0.56	1.17	0.45	1.33	0.82	1.44
平均值 Average	0.562	1.074	0.534	1.290	0.760	1.096

表 4 不同品种的高径生长方差分析

Table 4 The variance analysis on the height and DBH growth of different varieties of pecans

	差异源	平方和	自由度	均方	F值
	Difference	SS	Df	MS	F value
树高生长量 Height growth	相同品种内	1.152	4	0.076	10.972**
	Intra-group of the same varieties	0.083	10	0.007	
胸径生长量 DBH growth	不同品种间	0.235	14	0.071	
	Inter-groups of different varieties	1.141	4	0.034	2.076
	总数 Total	0.408	10		
	总数 Total	0.550	14		

如表 4 所示, 相同品种内的树高年生长量呈显著性差异, 而不同品种间和相同品种间的胸径年生长量差异均不显著。

由表 3 可看出, 合肥试验地中美国山核桃年高生长量较大的品种是 Sc10, Moore; 其从高到低的排列顺序是 Sc10>Moore>Forkert>Sc13>James; 含山试验地中年高生长量较大的品种是 James 和 Forkert; 其从高到低的排列顺序是 James>Forkert>Sc13>Sc10>Moore; 而枞阳试验地中高生长量较大的品种是 Moore 和 Sc13; 其从高到低的排列顺序是 Moore>Sc13>Forkert>Sc10>James。

合肥试验地中美国山核桃胸径年增长量较大的品种是 James; 其从高到低的排列顺序是 James>Forkert>Sc13>Moore>Sc10; 含山试验地中胸径增

长量较大的品种是 Forkert; 其从高到低的排列顺序是 Forkert>James>Moore>Sc13>Sc10; 而枞阳试验地胸径增长量较大的品种是 Moore; 其从高到低的排列顺序是 Moore>Sc13>James>Forkert>Sc10。

由以上综合得出: 合肥试验地中年高径年生长量较大的品种是 James 和 Sc10; 含山试验地中年生长量较大的是 James, Forkert; 而 Moore 在枞阳试验地中年生长量较大。

2.3 不同品种的果实性状及产量比较

不同品种的果实性状及结实产量之间均存在差异, 其原因主要有, 一是品种问题, 不同品种的遗传性之间^[13]所表现的差异; 二是不同试验地间的土壤条件也存在差异。用果长, 果径, 单果重量作为果实大小的指标。

表 5 不同品种果实性状及产量比较分析

Table 5 The comparison analysis of the fruit character and output of different varieties

试验地 Site	品种编号 Species	果长/cm Length	果径/cm Diameter	单果重量/g Weight of single fruit	挂果起始期 Beginning of bear fruit	平均产量/g·株 ⁻¹ Average yield
合肥	James	2.93±0.08 ^a	2.05±0.03 ^a	10.20±1.3 ^a	2010	966.9
Hefei	Sc13	3.81±0.19 ^b	2.34±0.03 ^b	11.29±1.8 ^a	2010	651.4
	Sc10	3.29±0.06 ^{ab}	2.19±0.07 ^c	11.05±1.4 ^b	2010	440.3
	Forkert	3.09±0.13 ^{ab}	2.20±0.04 ^d	10.85±3.1 ^{ab}	2010	472.0
	Moore	4.32±0.11 ^c	2.75±0.06 ^{ad}	14.3±2.5 ^{ac}	2010	707.87
含山	James	2.98±0.07 ^a	1.99±0.03 ^a	9.93±1.5 ^a	2010	328.3
Hanshan	Sc13	3.35±0.16 ^b	2.03±0.04 ^b	10.93±1.6 ^a	2010	459.3
	Sc10	3.29±0.05 ^b	1.98±0.06 ^c	9.65±1.5 ^a	2010	561.4
	Forkert	3.61±0.09 ^{bc}	2.23±0.05 ^{bc}	11.5±2.4 ^b	2010	541.9
	Moore	4.01±0.11 ^{ac}	2.46±0.06 ^{cd}	13.2±1.9 ^{ab}	2010	875.3
枞阳	James	3.01±0.07 ^a	2.01±0.03 ^a	9.82±1.7 ^a	2010	651.8
Zongyang	Sc13	3.73±0.13 ^a	2.51±0.04 ^b	11.9±1.2 ^a	2010	481.6
	Sc10	3.25±0.06 ^b	2.13±0.05 ^c	10.6±1.5 ^a	2010	427.5
	Forkert	3.54±0.09 ^{bc}	2.34±0.05 ^d	11.20±2.8 ^b	2010	484.1
	Moore	4.11±0.14 ^{ab}	2.55±0.06 ^{bc}	13.5±2.1 ^{ab}	2010	749.3
	F	9.849 [*]	8.996 [*]	6.905 [*]		

注: 显著水平为 5%, 字母相同为差异不显著, 字母不同为差异显著。

Note: The data followed with the same letters mean no significant difference, and that with different letters mean significant difference at 0.05 level.

从表 5 可以得出, 不同试验地的果实性状及始果期产量有所差异。在同一立地条件下, 合肥试验地中不同品种美国山核桃的果长径从高到低排列为: Moore>Sc13>Sc10>Forkert>James, 不同品种的单果重量从高到低排列为: Moore>Sc13>Sc10>Forkert>James, 不同品种的始果期产量从高到低排列为: James>Moore>Sc13>Forkert>Sc10。

含山试验地中不同品种的果长径从高到低排列为:

为: Moore>Forkert>Sc13>Sc10>James, 不同品种的单果重量从高到低排列为: Moore>Forkert>Sc13>James>Sc10。不同品种的始果期产量从高到低排列为: Moore>Sc10>Forkert>Sc13>James。

枞阳试验地中不同品种美国山核桃的果长径从高到低排列为: Moore>Sc13>Forkert>Sc10>James, 不同品种的单果重量从高到低排列为: Moore>Sc13>Forkert>Sc10>James。不同品种的始果期产量从高到低排列为: Moore>James>Forkert

>Sc13>Sc10。

由以上综合得出：对不同品种的果实性状及平均产量进行综合比较，合肥试验地中果实性状较好及产量较高的品种是 James, Moore；含山试验地中果实性状及产量较高的品种是 Moore, Forkert；而枞阳试验地较好的品种是 Moore 和 Sc13。

2.4 土壤养分分析

一般来说，土壤养分条件的好坏直接影响着林木的生长发育，还与林木生长速度有较大的相关关系。土壤 pH 和容重均是其重要的指标，它直接影

响土壤中元素的存在状态，转化和有效性。氮，磷和钾^[14]是植物生长发育过程中最重要的营养元素，分析土壤中的氮磷钾含量可以反映土壤养分对植物生长的限制性大小。

3 个不同试验地的土壤养分状况如表 6，土壤容重均随着土层深度的增加而增大；土壤中全氮和全磷含量则随着土层深度的增加而减少；而 K 钾的含量随着土层深度的增加而增加，这说明土壤中的钾有可能由于淋溶作用向下转移。

表 6 不同试验地的土壤状况比较分析

Table 6 The comparison analysis of the different experimental field soil conditions

试验地 Site	土层深度/cm Depth of soil layer	pH值 pH value	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ Density	氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ N	磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ P	速效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Rapidly-available P	钾/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ K
合肥	0~10	6.8	1.39	1.83±2.3	257.7±18.5	28.33±0.9	10.4±0.8
Hefei	10~30	6.2	1.47	1.31±1.8	200.5±15.4	10.04±0.6	9.79±0.7
含山	0~10	5.7	1.21	1.82±3.4	282.6±22.7	14.4±1.2	6.46±0.7
Hanshan	10~30	5.5	1.33	1.68±2.4	227.5±17.6	10.6±0.8	11.0±0.5
枞阳	0~10	5.4	1.27	1.65±1.7	262.6±19.3	12.7±0.8	8.57±0.4
Zongyang	10~30	5.6	1.35	1.09±1.2	173.1±14.2	8.9±0.6	10.3±0.2

表 7 土壤养分含量与美国山核桃相关指标的相关性分析

Table 7 The correlation between the soil nutrient contents and each indices of pecans

项目 Item	单果重量 Weight per nut	平均产量 Average yield	树高增长量 Height growth	胸径增长量 DBH growth	树高 Height	胸径 DBH
氮N	0.872*	0.077	0.470	0.176	0.085	0.311
磷P	0.737	0.302	0.381	0.019	0.964*	0.541
钾K	0.464	0.996**	-0.412	0.234	0.861	0.981*

植物的生长发育状况和果实产量都与土壤环境因子密切相关。根据不同试验地的美国山核桃苗木的生长状况，果实性状及始果期产量结合土壤养分进行相关性分析，结果表明，全氮含量与单果重量呈显著的正相关性，全磷含量与高增长量呈显著的正相关性；而全钾与产量呈极显著的正相关性。总的来说，土壤养分对美国山核桃的生长量及始果期产量等均有影响。

3 结论

在相对一致的栽培管理水平下，不同立地下的美国山核桃不同品种的生长，果实性状及结实量之间均存在差异，且差异显著，其主要原因有以下两点。一是品种问题^[15]，不同品种的遗传性之间所表现的差异；二是与不同立地的土壤条件及气候条件等生态因子的差异有关。

在不同立地下，对所有供试苗木的生长量及结实量均值进行比较，结果表明合肥试验地中美国山

核桃的生长状况及结实状况比含山，枞阳试验地好，说明美国山核桃对合肥试验地的生态环境适应性较好。而在同一立地条件下，合肥试验地中美国山核桃生长及结实状况较好的品种是 James；含山试验地中生长及结实较好的品种是 James, Moore；而枞阳试验地中是品种 Moore。

土壤养分对美国的山核桃生长量及始果期产量等均有影响，其中全 N 和全 P 与美国山核桃的单果重量及其高生长值呈显著的正相关性。而 K 与美国山核桃植株的始果期的产量及胸径生长值呈极显著的正相关性。因此在美国山核桃生长初期要施以适量氮肥，钾元素对美国山核桃的果实性状和产量有重要的相关性。

本研究中，作者将进一步对其他品种的生长状况，果实性状和盛果期的产量进行调查研究，从而为安徽地区美国山核桃优选品种和美国山核桃的进一步推广栽培提供依据。

参考文献:

- [1] Jaynes R. Pecan culture in North America[M]. Hamden: Northern Nut Growers Association, 1979: 1-88.
- [2] 张日清, 吕芳德. 优良经济树种—美国山核桃[J]. 广西林业科学, 1998, 27(4): 202-206.
- [3] 麦克丹尼尔 L H. 坚果栽培. 朱金兆, 查多禄, 魏康年, 译. 北京: 中国林业出版社, 1990: 15-42.
- [4] Hubbard E E. Commercial Pecan Tree Inventory and Prospectus[M]. Georgia: The University of Georgia, 1988.
- [5] 董凤祥, 王贵喜. 美国薄壳山核桃引种及栽培技术[M]. 北京: 金盾出版社, 2003: 39-53.
- [6] Hunter R E, Sanderlin R S. Control of Pecan disease through genetic resistance[J]. Southeasten Pecan Growers Association, 1986, 79: 51-54.
- [7] 徐德聪, 吕方德, 唐云青, 等. 美国山核桃叶片性状及其与苗木生长量的关系[J]. 经济林研究, 2006, 24(1): 16-20.
- [8] 常君, 杨水平, 姚小华, 等. 美国山核桃果实性状变异规律研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(1): 44-48.
- [9] 习学良, 范志远, 廖永坚, 等. 10 个美国山核桃品种的引种研究初报[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(4): 382-387.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [11] 张日清, 吕芳德. 美国山核桃在原产地分布、引种栽培区规划及主要栽培品种分类研究概述[J]. 经济林研究, 2002, 20(3): 53-55.
- [12] 徐德聪, 吕芳德, 唐荣青. 美国山核桃叶片性状及其与苗木生长量的关系[J]. 经济林研究, 2006, 24(1): 16-20.
- [13] 张日清, 吕芳德, 何方. 美国山核桃引种栽培区划研究 III 区划结果与分区描述[J]. 中南林学院学报, 2002(2): 14-19.
- [14] 李韵珠, 王凤仙, 黄元舫. 土壤水分和养分利用效率几种定义比较[J]. 土壤通报, 2000, 31(4): 150-157.
- [15] 王名金, 刘克辉. 树木引种驯化概论[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990.

本刊顾问 陈宗懋院士

陈宗懋 (1933 -), 茶学专家。出生于上海市, 原籍浙江省海盐县人。1954 年毕业于沈阳农学院植保系。曾任中国农业科学院茶叶研究所所长、中国茶叶学会理事长。现任中国农业科学院茶叶研究所研究员、博导、中国茶叶学会名誉理事长和国际茶叶协会副主席。

20 世纪 60 年代陈宗懋院士开创茶叶农残研究, 提出各类农药在茶树上降解规律和预测模型、18 项国标和 5 项部标。首次探明空气漂移是茶叶农残徘徊不降的原因, 研究居国际前沿水平。其实实验室被欧盟确认为中国茶出口唯一认可检验机构。近年对降低我国茶叶农残有突出贡献, 3 年全国超标率由 80% 降至 20%。90 年代开拓昆虫化学生态学新领域, 从茶树—害虫—天敌化学通讯机制着手, 明确害虫和天敌定位的化学生态机制, 具创新性。论文在《J Chem Ecol》,《J Agricul Food Chem》等重要刊物上发表。培养多名博士生和管理人才, 对我国茶业起到推动作用。

2003 年当选为中国工程院院士。