

网络出版时间:2014-11-04 10:40

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.12.002

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.12.002.html>

花生产量性状与冠层温度的关系

任学敏^{1a}, 朱 雅^{1b}, 王小立^{1a}, 王长发²

(1 南阳师范学院 a 生命科学与技术学院, b 图书馆, 河南 南阳 473061; 2 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探索花生产量性状与冠层温度的关系, 为高产花生品种选育和大田栽培提供参考依据。**【方法】**以我国北方大花生为材料, 自花生结荚到收获, 应用红外测温仪对 12 个大花生品种不同生育时期(结荚后 0, 9, 19, 28, 38 和 47 d)的冠层温度进行观测, 并于收获后调查单株结果数、饱果率、百果质量和总产量, 对花生产量性状与冠层温度的关系进行分析。**【结果】**花生不同生育时期的冠层温度总体差异极显著($P < 0.01$); 单株结果数与不同生育时期的冠层温度相关均不显著($P > 0.05$); 饱果率与结荚后 0, 9, 28 和 38 d 的冠层温度呈显著负相关($P < 0.05$); 百果质量和产量除与结荚后 19 d 冠层温度相关不显著($P > 0.05$)外, 与其他生育时期的冠层温度均显著负相关($P < 0.05$); 在一定范围内, 冠层温度每升高 1 °C, 花生产量减少 225.8~393.2 kg/hm²。**【结论】**花生产量性状与冠层温度密切相关, 冠层温度可作为一个重要指标用于指导花生育种、栽培等生产实践。

【关键词】 花生; 产量性状; 冠层温度; 育种

【中图分类号】 S565.201

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)12-0039-07

Relationships between yield characteristics and canopy temperature of peanut

REN Xue-min^{1a}, ZHU Ya^{1b}, WANG Xiao-li^{1a}, WANG Chang-fa²

(1 a School of Life Science and Technology, b Library, Nanyang Normal University, Nanyang, Henan 473061, China;

2 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to explore the relationships between yield characteristics and canopy temperature of peanut. **【Method】** Canopy temperatures of 12 large peanut varieties at different growth stages (0, 9, 19, 28, 38 and 47 d after pod setting) were observed with an infrared radiation thermometer from pod setting to harvesting time. After harvest, yield characteristics including number of pods per plant (NP), full pod percentage (FP), weight per 100 pods (WP) and total yield were surveyed, and the relationships between yield characteristics and canopy temperature was analyzed. **【Result】** Overall differences among peanut canopy temperatures at different growth stages were extremely significant ($P < 0.01$). There was no significant correlation relationship ($P > 0.05$) between NP and canopy temperatures at all growth stages. FP was significantly and negatively correlated ($P < 0.05$) with canopy temperatures 0, 9, 28 and 38 d after pod setting. Both WP and yield existed significant and negative correlation ($P < 0.05$) with canopy temperatures at all growth stages except for 19 d after pod setting. Within a certain range, 1 °C increase of canopy temperature decreased the yield by 225.8—393.2 kg/hm². **【Conclusion】** Yield characteristics of peanut were closely associated with canopy temperature. Thus canopy temperature can be used as an important indicator to guide production practices of peanut.

〔收稿日期〕 2013-08-21

〔基金项目〕 河南省教育厅科学技术研究重点项目(14A210014); 国家自然科学基金项目(30370859); 南阳师范学院博士科研启动基金项目; 南阳师范学院大学生实践教学创新项目(ZB-2013-220)

〔作者简介〕 任学敏(1982—), 男, 河南周口人, 讲师, 博士, 主要从事作物栽培生理研究。E-mail: renxuemin2520@126.com

Key words: peanut; yield characteristics; canopy temperature; peanut breeding

1963 年, Tanner^[1]首次用红外测温仪对植物温度进行了观测。此后, 植物生态、生理以及育种学家便对植物温度产生了浓厚的兴趣, 尤其是作物冠层温度更是成为近年来的研究热点。学者们对作物冠层温度的研究源于其对农业生产实践活动的强大指导作用, 其一是同一基因型作物品种在不同环境条件(干旱、高温、肥力等)下冠层温度表现不同, 利用这种差异可以对农田水分、肥料等进行有效的管理^[2-5]; 其二是同种作物的不同基因型, 如小麦^[6]、大豆^[7]、谷子^[8]、棉花^[9]、水稻^[10]、花生^[11]、豌豆^[12]等多种作物, 在相同环境条件下冠层温度存在差异, 这种差异能够反映作物一系列的生理、生态特征, 用其能够方便快捷地进行抗旱基因型^[13]和耐热基因型筛选^[14]以及高产^[15-16]、优质^[17]作物品种的选育等。

目前, 有关作物产量与冠层温度关系研究较多的是小麦, 普遍认为小麦籽粒产量与冠层温度存在显著负相关关系^[15, 18-23], 即在一定范围内, 冠层温度越低, 小麦籽粒产量越高。对于这种现象的原因, 学者们认为这是由于较低的冠层温度使植株不易衰老, 维持了较大的绿叶面积并持续较长的时间, 从而保证了较多的源的供给, 使籽粒质量增加, 相应地产量较高^[24-25]。类似的现象在水稻^[26]和玉米^[16]上也有报道。然而截止目前, 尚未见关于花生产量性状与冠层温度关系的研究报道。本研究以我国北方大花生为材料, 探索了花生产量性状与冠层温度的关系, 以期为高产花生品种的选育及其大田栽培管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为 12 个大花生品种, 其中豫花 2 号、豫花 7 号、豫花 11 号、豫花 153、豫花 9331、豫花 9327、开农 41、濮科花 2 号、濮花 9506 和标花 2 号引自河南, 鲁花 9 号和鲁花 11 号引自山东。

1.2 试验设计

试验地设在西北农林科技大学农作一站, 位于陕西关中平原中部的渭河谷地头道塬, 属北方大花生生产区。该区域地处暖温带, 为大陆性季风气候, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥, 年降水量 500~800 mm, 主要集中在 6—9 月(约占全年降水量的 60%)。年均温 9.0~13.2℃, 极端低温-18.6℃, 极端高温 41.2℃。试验于 2007 年进行, 试验地前

茬空茬。试验采用随机区组排列, 4 次重复, 采用起垄地膜覆盖种植法, 垄距 0.8 m, 垄高 0.1 m, 垄面宽 0.55 m, 畦沟宽 0.26 m。04-24 人工开沟带尺点播。每小区 3 垄 6 行, 行长 2.4 m, 行距 0.35 m, 株距 0.16 m, 每穴播种 2 粒, 播深 3~5 cm。播种前施尿素 200 kg/hm²、二铵 300 kg/hm² 作为底肥。参照北方大花生生产区的管理方法进行管理。

1.3 冠层温度的测定

采用 BAU-I 型红外测温仪(分辨率 0.1℃, 响应时间 2~3 s)对花生群体冠层温度进行观测, 观测时间为各材料冠层温度差异最明显的午后(13:00—15:00)。自花生结荚开始, 每隔 8~9 d 观测 1 次。观测方式采用对称法, 对 4 次重复进行往返观测。观测时, 探棒倾角约 30°, 感应头距花生冠层约 20 cm, 选择各品种群体生长均匀一致且有代表性的部位作为测点, 注意避免裸露地面的影响。以 4 次重复的平均值作为该品种该次冠层温度的观测值。

1.4 产量性状的测定

花生收获时每小区随机选取 10 株, 摘取所有荚果, 分别装入纱网袋, 自然风干后(含水率 10%)进行室内考种。将每袋花生荚果样品分为饱果、秕果和无仁果(荚果尚未形成果仁), 分别统计数量。计算单株结果数(NP)和饱果率(FP), 其公式分别为: $NP = (\text{饱果} + \text{秕果} + \text{无仁果}) / \text{取样株数}$; $FP = \text{饱果} / (\text{饱果} + \text{秕果} + \text{无仁果}) \times 100\%$ 。每小区随机选取 100 个饱果称百果质量(WP)(样品饱果数量不足 100 个时, 称量所有饱果质量, 再折合成百果质量)。称量每小区样品所有荚果质量, 折合成产量(Y , kg/hm²)。以 4 次重复的平均值作为该品种 NP 、 FP 、 WP 和 Y 的最终值。

1.5 数据处理

用方差分析(单因素或两因素)说明花生基因型和生育时期对冠层温度的影响, 用相关分析探索花生产量性状与冠层温度的关系, 用一元线性回归模型进一步分析冠层温度对总产量的影响。所有分析均由 SPSS 17.0 统计软件完成, 并用 Origin 7.5 作图。

2 结果与分析

2.1 不同基因型花生品种冠层温度和产量性状的差异

花生冠层温度观测结果(表 1)显示, 不同花生

品种之间冠层温度存在明显差异,但不同生育期,其变异系数不同,最小为 3.3%(结荚后 0 d),最大为 5.1%(结荚后 19 d),最高温度与最低温度之间相差 2.9℃(结荚后 0 d)~5.0℃(结荚后 47 d)。同一花生品种冠层温度在不同生育期变化较大,其变异系数为 5.5%~7.9%。

表 1 不同基因型花生的冠层温度和产量性状

Table 1 Canopy temperatures and yield characteristics of different peanut genotypes

花生品种 Peanut varieties	冠层温度 Canopy temperature								产量性状 Yield characteristics			
	结荚后 0 d/℃	结荚后 9 d/℃	结荚后 19 d/℃	结荚后 28 d/℃	结荚后 38 d/℃	结荚后 47 d/℃	平均 值/℃	变异 系数/%	单株结 果数	饱果率/%	百果 质量/g	产量/ (kg· hm ⁻²)
	0 d after pod setting	9 d after pod setting	19 d after pod setting	28 d after pod setting	38 d after pod setting	47 d after pod setting	Mean	CV	Number of pods per plant	Full pod percentage	Weight per 100 pods	Yield
豫花 7 号 Yuhua 7	27.8	29.7	28.0	33.3	30.5	29.1	29.7	6.8	12.8	53.7	202.0	3 159.6
濮花 9506 Puhua 9506	28.1	30.8	28.8	33.9	31.1	29.9	30.4	6.7	12.9	47.8	202.4	3 287.3
开农 41 Kainong 41	28.4	30.8	29.4	34.0	32.3	32.9	31.3	6.9	14.7	54.3	164.5	2 734.1
豫花 9331 Yuhua 9331	25.8	28.2	25.3	31.3	29.3	28.3	28.0	7.9	13.5	51.3	220.7	4 088.3
标花 2 号 Biaohua 2	27.7	30.5	28.8	33.0	31.6	30.5	30.4	6.3	12.5	56.2	213.9	3 793.4
豫花 2 号 Yuhua 2	26.8	29.7	27.0	32.1	30.4	29.2	29.2	7.0	12.8	53.5	191.1	2 948.3
濮科花 2 号 Pukehua 2	27.6	30.0	28.1	33.1	31.3	30.1	30.0	6.8	10.1	54.6	173.1	3 572.3
豫花 153 Yuhua 153	25.5	27.7	25.6	29.6	28.6	27.9	27.5	6.0	15.2	69.8	236.7	4 486.3
鲁花 9 号 Luhua 9	26.9	28.8	26.6	32.0	30.3	29.1	29.0	7.1	12.4	56.9	176.7	3 213.6
鲁花 11 号 Luhua 11	26.7	28.8	25.7	31.3	30.0	28.9	28.6	7.2	11.7	57.1	217.5	3 092.5
豫花 11 号 Yuhua 11	26.9	29.8	26.9	30.7	29.8	29.3	28.9	5.6	14.3	54.2	172.5	3 862.2
豫花 9327 Yuhua 9327	26.7	28.6	26.1	30.2	29.3	28.5	28.2	5.5	13.2	58.7	185.6	3 714.8
平均值 Mean	27.1 c	29.4 b	27.2 c	32.3 a	30.4 b	29.5 b	—	—	13.0	55.7	196.4	3 510.9
变异系数 CV/%	3.3	3.5	5.1	4.1	3.5	4.4	—	—	10.5	9.5	11.6	13.9

注:同行数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。单因素方差分析、新复极差法进行两两比较, $n=12$ 。

Note: Different lowercase letters in same row indicate significant difference ($P<0.05$). One-way ANOVA, multiple comparison by Duncan's method, $n=12$.

方差分析结果(表 2)表明,结荚后 19 d 及以后不同基因型花生品种间冠层温度的差异达显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)水平。尽管不同生育时期之间花生冠层温度的差异总体上达到极显著($P<0.01$)水平,但两两比较发现,并非所有生育时

期都存在显著差异,不同生育期花生冠层温度平均值忽高忽低,无明显变化规律(表 1),这说明花生冠层温度除受自身基因型影响外,还明显受到外界环境条件的影响。

表 2 花生基因型和生育时期对冠层温度影响的方差分析

Table 2 ANOVAs for effects of genotypes and growth stages on canopy temperature of peanut

变异来源 Source of variance	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F-value	P 值 P-value
基因型 Genotype	83.838	11	7.622	34.087	<0.001
生育期 Growth stage	217.381	5	43.476	194.443	<0.001
结荚后 0 d 0 d after pod setting	33.987	11	3.090	0.774	0.663
结荚后 9 d 9 d after pod setting	45.701	11	4.155	1.139	0.362
结荚后 19 d 19 d after pod setting	84.818	11	7.711	2.391	0.024
结荚后 28 d 28 d after pod setting	91.658	11	8.333	8.005	<0.001
结荚后 38 d 38 d after pod setting	49.960	11	4.542	3.416	0.003
结荚后 47 d 47 d after pod setting	76.474	11	6.952	14.057	<0.001

表 3 表明,花生不同生育时期的冠层温度存在极显著正相关($P<0.01$)关系,相关系数 r 最小为 0.757,最大为 0.943。不同花生品种冠层温度表现十分稳定,即冠层温度低的品种持续偏低,高的持续偏高,不因外界环境条件改变和生育期的推进而改变。如豫花 153、豫花 9331、豫花 9327 和鲁花 11 号的冠层温度持续偏低,而开农 41、濮花 9506 和标花 2 号的冠层温度持续偏高。

不同基因型花生各产量性状指标都具有较大的变异系数(表 1)。方差分析结果显示,单株结果数($F=8.118, P<0.001$)、饱果率($F=7.024, P<0.001$)、百果质量($F=24.990, P<0.001$)和产量($F=3.586, P=0.002$)均存在极显著差异。12 个花生品种的产量平均值为 3 510.9 kg/hm²,最高产量为 4 486.3 kg/hm²(豫花 153),最低产量为 2 734.1 kg/hm²(开农 41),相差达 1 752.2

kg/hm²,产量变异系数为 13.9%,在 4 个产量性状指标中其变异系数最大。

表 3 不同生育时期花生冠层温度的相关系数

Table 3 Correlation coefficients among different growth stages of peanut

生育时期 Growth stage	结荚后 0 d 0 d after pod setting	结荚后 9 d 9 d after pod setting	结荚后 19 d 19 d after pod setting	结荚后 28 d 28 d after pod setting	结荚后 38 d 38 d after pod setting	结荚后 47 d 47 d after pod setting
结荚后 0 d 0 d after pod setting	1					
结荚后 9 d 9 d after pod setting	0.929**	1				
结荚后 19 d 19 d after pod setting	0.940**	0.943**	1			
结荚后 28 d 28 d after pod setting	0.893**	0.850**	0.880**	1		
结荚后 38 d 38 d after pod setting	0.914**	0.905**	0.921**	0.915**	1	
结荚后 47 d 47 d after pod setting	0.820**	0.819**	0.850**	0.757**	0.918**	1

注:“*”表示在 $P=0.01$ 水平上显著相关。 $n=12$ 。
Note:“*” indicates significant at $P=0.01$ level. $n=12$.

2.2 花生产量性状与冠层温度的相关分析

花生产量性状指标与不同生育时期冠层温度的相关系数如表 4 所示。由表 4 可知,除结荚后 47 d 的单株结果数与冠层温度呈微弱正相关外,其他生育时期单株结果数、饱果率、百果质量和产量均与冠层温度呈负相关,但相关程度存在差异。单株结果数与所有生育时期的冠层温度相关均不显著($P>0.05$);饱果率除与结荚后 19 和 47 d 的冠层温度相关不显著($P>0.05$)外,与其他生育时期的冠层温

度均显著(结荚后 0,9 和 38 d,相关系数 r 分别为 -0.572 , -0.633 和 -0.522 , $P<0.05$)或极显著(结荚后 28 d,相关系数 r 为 -0.748 , $P<0.01$)相关;百果质量和产量与结荚后 19 d 冠层温度的相关性均不显著($P>0.05$),而与结荚后 0,9,28,38 和 47 d 的冠层温度均显著($P<0.05$)相关。说明花生产量性状受到冠层温度的强烈影响,尤其是饱果率、百果质量和产量,在一定范围内,冠层温度越低对这些性状越有利。

表 4 花生产量及其构成因子与冠层温度的相关分析

Table 4 Correlation analysis between yield characteristics and canopy temperatures

性状 Characteristics	结荚后时间/d Day after pod setting					
	0	9	19	28	38	47
单株结果数 Number of pods per plant	-0.271	-0.196	-0.129	-0.243	-0.312	0.004
饱果率 Full pod percentage	-0.572*	-0.633*	-0.454	-0.748**	-0.522*	-0.367
百果质量 Weight per 100 pods	-0.556*	-0.509*	-0.455	-0.567*	-0.506*	-0.567*
产量 Yield	-0.676*	-0.566*	-0.496	-0.609*	-0.649*	-0.577*

注:“*”和“**”分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。 $n=12$ 。
Note:“*” and “**” indicate significances at 0.05 and 0.01 levels, respectively. $n=12$.

2.3 花生产量与冠层温度的回归分析

以花生冠层温度(x)为自变量、产量(y)为因变量进行回归分析,结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,12 个花生品种的产量与各生育时期的冠层温度之间均呈线性递减关系,其中与结荚后 0,28,38 和 47 d 的线性关系达显著($P<0.05$)水平,决定系数 R^2 分别为 0.456,0.437,0.421 和 0.333,而与结荚后 9 和 19 d 的线性关系不显著($P>0.05$)。利用这些显著的线性回归方程,在一定范围内,通过花生冠层温度能够很好地预测产量状况,但不同生育时期预测结果存在差异。

总体上来看,冠层温度每升高 1℃,产量降低 225.8~393.2 kg/hm²。因此,在花生生产实践中,冠层温度可作为一项重要指标用于指导花生高产品的选育和大田栽培。

3 讨论

产量作为衡量品种优劣的重要指标之一,一直受到人们的高度重视。作物产量与冠层温度存在密切关系。樊廷录等^[15]的研究表明,小麦产量与不同生育时期冠层温度存在极显著($P<0.001$)线性递减关系,其决定系数 R^2 最高达 0.812。Fischer 等^[18]、Amani 等^[19]、Rebetzke 等^[20]和崔新菊等^[22]也有类似报道。本研究结果显示,花生产量与大多数生育时期的冠层温度存在显著($P<0.05$)线性递减关系,在一定范围内,冠层温度每升高 1℃,产量最高可下降 393.2 kg/hm²。除产量外,本研究还发现花生的其他产量性状,如饱果率、百果质量也与多数生育时期的冠层温度存在显著($P<0.05$)负相关关系,这与刘建军等^[21]和朱云集等^[27]对小麦的研究

结果相近。尽管作物产量与冠层温度的显著负相关关系已为大量研究所报道,但这并不意味着作物冠层温度低产量就一定高^[28],因为冠层温度不是影响产量的惟一因素。张嵩午和王长发^[29]对小麦潜在库容的研究认为,直接构成产量的因素中,潜在库容不够大是十分重要的原因之一。冠层温度偏低的小麦品种活力旺盛,不易早衰,能提供强劲的物质流,对于潜在库的填充十分有利,但是如果某些品种的潜在库容不够大,也会导致产量不高,这并不是冠层

温度的原因,而是潜在库容不够大所致。因此,在生产实践中只有将冠层温度和潜在库容结合起来,才有可能获得比较满意的结果。在本研究中,鲁花 11 号冠层温度偏低(平均 28.6 ℃,在 12 个品种冠层温度排序中由低到高居第 4 位),但产量并不高(3 092.5 kg/hm²,在 12 个品种产量排序中由高到低居第 10 位),这是否是其潜在库容较小所致,还需要进一步研究。

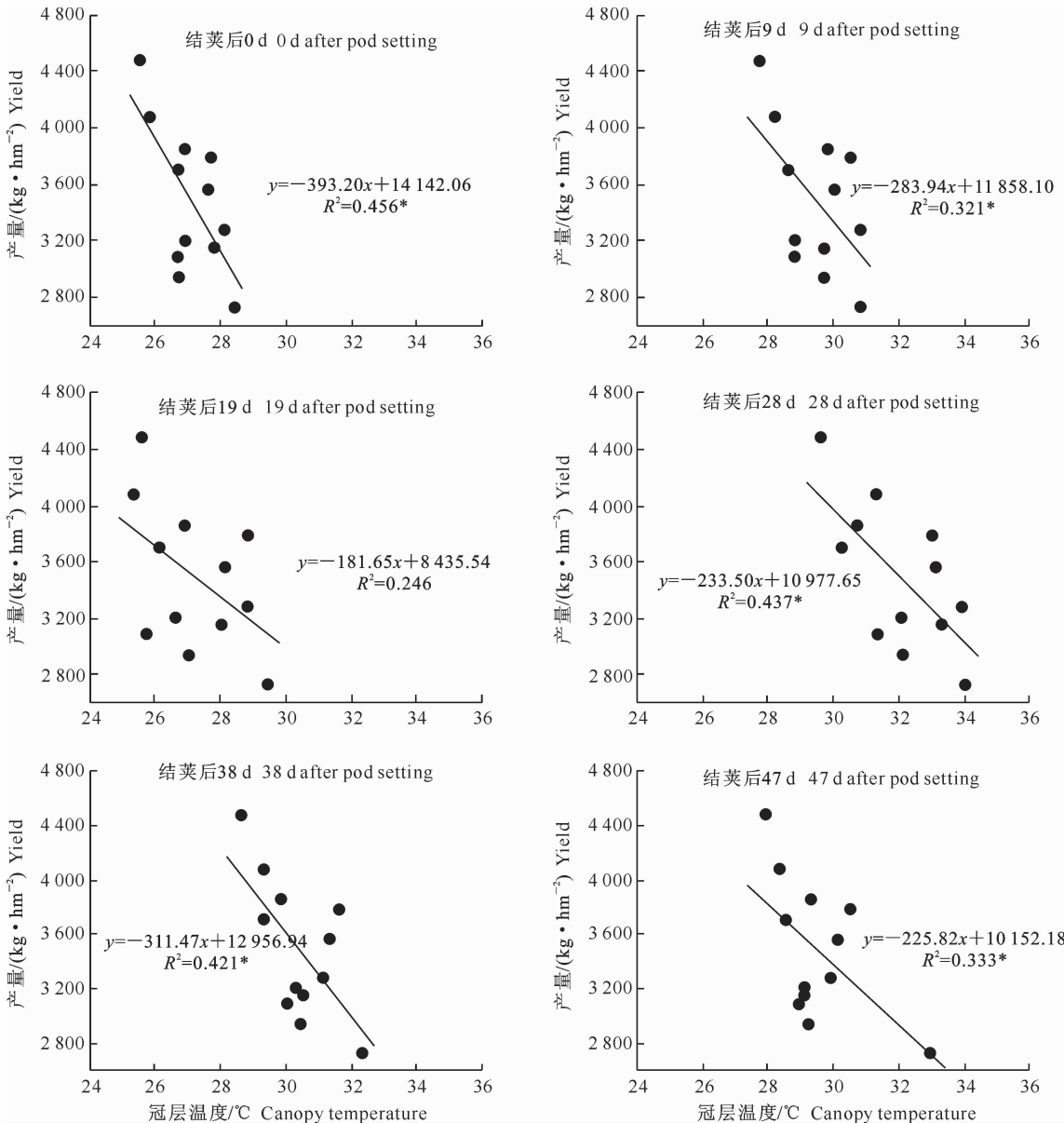


图 1 花生产量与冠层温度的回归分析

* 表示在 $P=0.05$ 水平上显著相关

Fig. 1 Regression analysis between peanut yield and canopy temperature

* indicates significance at $P=0.05$ level

作物的生育期,不同生育时期的冠层温度对产量的影

响不同。崔新菊等^[22]对小麦的研究表明,随着生育期的推进,产量与冠层温度的负相关性不断增大。

樊廷录等^[15]和王国宇等^[16]也有类似报道,但刘建军等^[21]研究发现,冠层温度与产量的相关性大小依次为花后 7 d>花后 21 d>开花期>花后 28 d>花后 14 d>抽穗期,并无明显的规律性。本研究对花生的分析结果与后者较为近似,产量与不同生育时期冠层温度的相关程度未表现出明显的变化趋势,这可能涉及到多方面的原因,如作物种类、灌溉、持续干旱的影响等。

低冠层温度作物品种越来越多优良特性的研究和认识,如生理活性强、不易衰老、抗旱、耐热、高产稳产、品质优良等^[17,28,30-31],对优良作物品种的选育及大田栽培等生产实践具有重要的指导意义。尤其是在全球气候不断变暖、作物高温危害日趋严重的形势下,筛选和培育低冠层温度品种并大面积推广应用,可能是一种很好的应对措施。但目前有关作物冠层温度及与其相关的问题,如控制作物冠层温度的基因等尚不明确,还需进一步研究。

【参考文献】

- [1] Tanner C B. Plant temperatures [J]. *Agronomy Journal*, 1963, 55(2): 210-211.
- [2] Durigon A, de Jong van Lier Q. Canopy temperature versus soil water pressure head for the prediction of crop water stress [J]. *Agricultural Water Management*, 2013, 127: 1-6.
- [3] Sui R, Fisher D K, Barnes E M. Soil moisture and plant canopy temperature sensing for irrigation application in cotton [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2012, 4(12): 93-105.
- [4] 诸葛爱燕, 曲正伟, 周春菊, 等. 冬小麦冠层温度及其生物学性状对施氮量的反映 [J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(3): 148-154.
Zhuge A Y, Qu Z W, Zhou C J, et al. Effect of nitrogen application rate on canopy temperature and its relationship with biological characteristics of winter wheat [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(3): 148-154. (in Chinese)
- [5] 周春菊, 张嵩午, 王林权, 等. 施肥对小麦冠层温度的影响及其与生物学性状的关联 [J]. *生态学报*, 2005, 25(1): 18-22.
Zhou C J, Zhang S W, Wang L Q, et al. Effect of fertilization on the canopy temperature of winter wheat and its relationship with biological characteristics [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 18-22. (in Chinese)
- [6] 张嵩午. 小麦温型现象研究 [J]. *应用生态学报*, 1997, 8(5): 471-474.
Zhang S W. Temperature type phenomenon of wheat [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(5): 471-474. (in Chinese)
- [7] 李永平, 王长发, 赵丽, 等. 不同基因型大豆冠层冷温现象的研究 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(11): 80-83, 89.
Li Y P, Wang C F, Zhao L, et al. Low temperature phenomena of soybean of different genotype [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2007, 35(11): 80-

- 83, 89. (in Chinese)
- [8] 秦晓威, 王长发, 任学敏, 等. 谷子冠层温度分异现象及其生理特性研究 [J]. *西北农业学报*, 2008, 17(2): 101-105.
Qin X W, Wang C F, Ren X M, et al. Study on canopy temperature and physiological characteristics of different millet genotypes [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2008, 17(2): 101-105. (in Chinese)
- [9] 韩磊, 王长发, 王建, 等. 棉花冠层温度分异现象及其生理特性的研究 [J]. *西北农业学报*, 2007, 16(3): 85-88.
Han L, Wang C F, Wang J, et al. The study on differences of the canopy temperature and physiological characteristics of cotton [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2007, 16(3): 85-88. (in Chinese)
- [10] 高继平, 韩亚东, 王晓通, 等. 水稻齐穗期冠层温度分异及其相关特性的研究 [J]. *沈阳农业大学学报*, 2011, 42(4): 399-405.
Gao J P, Han Y D, Wang X T, et al. Canopy temperature difference and the related characteristics at heading stage in rice [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2011, 42(4): 399-405. (in Chinese)
- [11] 任学敏, 王长发, 秦晓威, 等. 花生群体冠层温度分异现象及其生理特性研究初报 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(6): 68-72.
Ren X M, Wang C F, Qin X W, et al. Preliminary study on canopy temperature difference of peanut varieties population and physiological characteristics [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2008, 36(6): 68-72. (in Chinese)
- [12] 王一, 王长发, 邹燕, 等. 豌豆冠层温度分异现象及其生理特性 [J]. *西北农业学报*, 2009, 18(4): 133-136.
Wang Y, Wang C F, Zou Y, et al. Study on canopy temperature and physiological characteristics of different peas [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2009, 18(4): 133-136. (in Chinese)
- [13] Guendouz A, Guessoum S, Maamri K, et al. Canopy temperature efficiency as indicators for drought tolerance in durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) in semi arid conditions [J]. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 2012, 1(1): 23-28.
- [14] Kumari M, Pudake R N, Singh V P, et al. Association of stay-green trait with canopy temperature depression and yield traits under terminal heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Euphytica*, 2013, 190(1): 87-97.
- [15] 樊廷录, 宋尚有, 徐银萍, 等. 旱地冬小麦灌浆期冠层温度与产量和水分利用效率的关系 [J]. *生态学报*, 2007, 27(11): 4491-4497.
Fan T L, Song S Y, Xu Y P, et al. Relationship between canopy temperature and water use efficiency/grain yield among dryland winter wheat genotypes during grain filling stage [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4491-4497. (in Chinese)
- [16] 王国宇, 宋尚有, 樊廷录, 等. 不同基因型玉米冠层温度与产量和水分利用效率的关系 [J]. *玉米科学*, 2009, 17(1): 92-95.
Wang G Y, Song S Y, Fan T L, et al. Relationship of canopy temperature with grain yield and water use efficiency in various genotypes of maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009,

17(1):92-95. (in Chinese)

[17] 张嵩午,刘党校. 小麦冠温的多态性及其与品质变异的关联 [J]. 中国农业科学,2007,40(8):1630-1637.
Zhang S W,Liu D X. Polymorphism of wheat canopy temperature and its relationship with kernel quality differentiation [J]. Scientia Agricultura Sinica,2007,40(8):1630-1637. (in Chinese)

[18] Fischer R A,Rees D,Sayre K D,et al. Wheat yield progress is associated with higher stomatal conductance,higher photosynthetic rate and cooler canopies [J]. Crop Science,1998,38(6):1467-1475.

[19] Amani I,Fischer R A,Reynolds M P. Canopy temperature depression association with yield of irrigated spring wheat cultivars in a hot climate [J]. Journal of Agronomy and Crop Science,1996,176(2):119-129.

[20] Rebetzke G J,Ratley A R,Farquhar G D,et al. Genomic regions for canopy temperature and their genetic association with stomatal conductance and grain yield in wheat [J]. Functional Plant Biology,2012,40(1):14-33.

[21] 刘建军,肖永贵,祝芳彬,等. 不同基因型冬小麦冠层温度与产量性状的关系 [J]. 麦类作物学报,2009,29(2):283-288.
Liu J J,Xiao Y G,Zhu F B,et al. Effect of canopy temperature on yield traits of different genotypes of winter wheat [J]. Journal of Triticeae Crops,2009,29(2):283-288. (in Chinese)

[22] 崔新菊,赵 奇,尤明山,等. 不同灌溉条件下冬小麦灌浆期冠层温度与产量相关性分析 [J]. 作物杂志,2010(6):51-54.
Cui X J,Zhao Q,You M S,et al. Correlation analysis of canopy temperature and yield of winter wheat during grain filling stage under different irrigation conditions [J]. Crops,2010(6):51-54. (in Chinese)

[23] 徐银萍,宋尚有,樊廷录,等. 旱地冬小麦灌浆期冠层温度与产量和水分利用效率的关系 [J]. 麦类作物学报,2007,27(3):528-532.
Xu Y P,Song S Y,Fan T L,et al. Relationship of canopy temperature with grain yield and water use efficiency in various genotypes of dryland winter wheat during grain rilling stage [J]. Journal of Triticeae Crops,2007,27(3):528-532. (in Chinese)

[24] Sayed H I,Ghandorah M O. Association of grain filling characteristics with grain weight and senescence in wheat under warm dry conditions [J]. Field Crops Research,1984,9(3/4):323-332.

[25] Fischer R A. 小麦籽粒灌浆时期的源-库互作 [J]. 麦类作物学报,1985(6):36-39.
Fischer R A. Interaction between resouce and library during grain filling stages of wheat [J]. Journal of Triticeae Crops,1985(6):36-39. (in Chinese)

[26] 张文忠,韩亚东,杜宏绢,等. 水稻开花期冠层温度与土壤水分及产量结构的关系 [J]. 中国水稻科学,2007,21(1):99-102.
Zhang W Z,Han Y D,Du H J,et al. Relationship between canopy temperature and soil water content,yield components at flowering stage in rice [J]. Chinese Journal of Rice Science,2007,21(1):99-102. (in Chinese)

[27] 朱云集,李向阳,郭天财,等. 小麦灌浆期间冠层温度与产量关系研究 [J]. 河南科学,2004,22(6):798-801.
Zhu Y J,Li X Y,Guo T C,et al. Study on connection between wheat canopy temperature and yield in filling stage [J]. Henan Science,2004,22(6):798-801. (in Chinese)

[28] 张嵩午,王长发. 小麦低温基因型的研究现状和未来发展 [J]. 中国农业科学,2008,41(9):2573-2580.
Zhang S W,Wang C F. Research progress and tendency in wheat low temperature genotypes [J]. Scientia Agricultura Sinica,2008,41(9):2573-2580. (in Chinese)

[29] 张嵩午,王长发. 小麦潜在库容研究 [J]. 西北农业学报,1999,8(2):21-24.
Zhang S W,Wang C F. Study on wheat latent storage capacity [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,1999,8(2):21-24. (in Chinese)

[30] 张嵩午. 冷型小麦的概念 特性 未来 [J]. 中国科学基金,2006(4):210-214.
Zhang S W. Cold wheat's concept,characteristic and future [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China,2006(4):210-214. (in Chinese)

[31] 张嵩午,刘党校. 冷型小麦品质稳定性的研究 [J]. 自然科学进展,2007,17(1):29-34.
Zhang S W,Liu D X. Quality stability of cold wheat [J]. Progress in Natural Science,2007,17(1):29-34. (in Chinese)

(上接第 38 页)

[35] 徐富贤,熊 洪,谢 戎,等. 水稻氮素利用效率的研究进展及其动向 [J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5):1215-1225.
Xu F X,Xiong H,Xie R,et al. Advance of rice fertilizer-nitrogen use efficiency [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2009,15(5):1215-1225. (in Chinese)

[36] 程建峰,戴廷波,荆 奇,等. 不同水稻基因型的根系形态生理特性与高效氮素吸收 [J]. 土壤学报,2007,44(2):266-272.
Cheng J F,Dai T B,Jing Q,et al. Root morphology physiological characteristics of different genotypes rice and high nitrogen uptake [J]. Acta Pedologica Sinica,2007,44(2):266-272. (in Chinese)

[37] 樊剑波,张亚丽,王东升,等. 水稻氮素高效吸收利用机理研究进展 [J]. 南京农业大学学报,2008,31(2):129-134.
Fan J B,Zhang Y L,Wang D S,et al. Research progress on high nitrogen uptake and utilization by rice plants [J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2008,31(2):129-134. (in Chinese)

[38] 樊剑波,张亚丽,万小羽,等. 水稻根系与氮素吸收利用之研究进展 [J]. 中国农学通报,2007,23(2):236-240.
Fan J B,Zhang Y L,Wan X Y,et al. Progress in research of rice root related to nitrogen uptake and utilization [J]. Chinese Agriculture Science Bulletin,2007,23(2):236-240. (in Chinese)