

棉花成熟与衰老的影响因素及其调控策略

郑娜^{1,2}, 翟伟卜², 张珊珊², 张文蔚², 简桂良², 韩榕^{1,*}, 齐放军^{2,*}

¹山西师范大学生命科学学院, 山西临汾041004; ²中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京100193

摘要: 生长发育、成熟衰老的合理调控是贯穿棉花生产始终的重要问题之一, 直接影响棉花的产量和品质。本文从不同方面分析了影响棉花成熟与衰老的因素, 阐述了棉花成熟衰老与其遗传特性、生长发育状况、营养状况、种植管理条件及遭受的逆境胁迫和病虫害侵染等有关。此外, 侧重介绍了我国棉花成熟衰老调控的主要策略, 即棉花种植区划与棉花种植品种熟性的相宜性、棉花生长发育的化学调控和“库源”比例调节、棉花早衰的系统防控技术和脱叶催熟技术等。在此基础上, 展望了进一步加强棉花成熟衰老相关领域的基础研究, 以合理有效调控棉花生长发育、成熟衰老的过程。

关键词: 棉花; 成熟衰老; 调控策略

Factors Affecting Cotton Maturation and Senescence Processes and the Corresponding Regulative Strategies

ZHENG Na^{1,2}, ZHAI Wei-Bo², ZHANG Shan-Shan², ZHANG Wen-Wei², JIAN Gui-Liang², HAN Rong^{1,*}, QI Fang-Jun^{2,*}

¹College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China; ²State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

Abstract: Proper managements of cotton growth, development, maturation and senescence processes are crucial for the improvements of cotton yield and quality. This paper reviewed these factors which may significantly influence cotton maturation and senescence processes, including genetic properties, growth and development status, nutritional status, planting and management schemes, abiotic stresses and pathogens' infections. In addition, the main strategies for proper regulation of cotton maturation and senescence were also introduced, such as: distribution of cotton planting region in adaptation with cotton maturity trait; chemical regulation of cotton growth and development status for establishing ideal cotton sink/source ratio; comprehensive technologies for prevention of cotton premature senescence and application of cotton defoliation and ripening technologies. Finally, the needs for more basic research and effective regulative technologies for controlling of the course of cotton maturation and senescence were discussed.

Key words: cotton; mature and senescence; regulative strategies

棉花是原产于热带、亚热带的多年生植物, 经长期种植驯化、人工选择和培育, 逐渐演变成适宜于暖温带种植的一年生经济作物。现种植的棉花既具有一年生作物的生长发育与成熟衰老的普遍规律, 又保留了多年生植物无限生长发育的习性; 只要温度、光照等条件适宜, 可以不断生枝、长叶、现蕾、开花、结铃(孔祥强和董合忠 2011)。棉花品种本身的遗传特性(刘莉等2011)及种植区域的温度和光照条件(冯泽芳等1958; 汪若海2009)是影响棉花生长、发育、成熟、衰老的重要因素, 相匹配才能够为棉花的正常生产提供基本保障; 相应地, 种植模式、土壤条件、营养状况、水肥管理及生长调控、逆境胁迫及病虫害危

害均对棉花的生长、发育、成熟、衰老产生影响, 并直接影响到棉花的产量和品质(齐放军等 2013)。因而, 综合利用各种技术手段, 合理调控棉花的生长、发育、成熟、衰老过程, 在一年适宜的温度和光照时期内, 充分发挥棉花的生产性能并促进棉花产量的形成和品质的提高, 一直是棉花生产过程中不可忽略的重要问题(孔祥强和董合

收稿 2014-04-17 修定 2014-07-16

资助 国家自然科学基金(31371898)、天津市农业科技成果转化与推广项目(201204060)和新疆科技支疆计划项目(2011AB009)。

* 共同通讯作者(E-mail: hanrong@dns.sxnu.edu.cn, Tel: 0375-2051050; E-mail: fjq@ippcaas.cn, Tel: 010-62810635)。

忠2011)。本文在分析棉花成熟衰老影响因素的基础上,介绍调控棉花生长、发育、成熟、衰老的策略和技术措施,并就今后如何进一步研究、发展和利用棉花成熟、衰老调控技术做一探讨。

1 贪青和早衰对棉花生产的危害

相对于棉花的正常成熟和衰老,生产中棉株的早衰和贪青晚熟则不利于产量和品质的形成,严重危害棉花生产。早衰是指棉株在有效的生长季节过早进入衰老的现象,典型症状表现为棉叶失绿、发黄、发红、后期棉叶焦枯、脱落、甚至整株枯死,这导致棉株光合和生命活动能力急遽下降或终止,严重影响棉花产量和品质的形成。迄今,棉花早衰的发生和危害已遍及我国西北内陆、黄河流域及长江流域三大主要棉区。据估算在早衰中轻度发生的年份,全国棉花减产导致的经济损失为75~100亿元;而在早衰重度发生的年份,全国范围内早衰引起的损失会超过150亿元(齐放军等2013)。与早衰正好相反,贪青晚熟则是指棉株进入生长后期,营养生长依然旺盛,尤其表现为叶色浓绿,棉桃成熟滞后,青桃多(李秋芝等2012)。因营养器官叶片无效消耗了过多的养分,同化物质不能够在正常的生长季节内及时有效地向生殖器官转运,造成霜打青桃、青叶,严重影响棉花产量和品质的形成(董合忠等2014)。

2 棉花熟性与种植区域的相宜性

我国植棉地域广阔,各地域间光、温等气候差异大,水、土等自然条件差异明显;此外,生产、耕作制度和复种指数也不同,因而必须因地制宜地种植相宜的棉花品种。种植棉花品种的熟性需与种植区域的光、温气候条件相适宜,同时兼顾自然条件和耕作制度。早在20世纪40~50年代,冯泽芳等主要依据光、温气候条件将我国植棉区由南到北依次划分为华南、长江流域、黄河流域、北部特早熟和西北内陆5个大区(冯泽芳等1958)。目前,除去零星种植棉花的华南棉区和辽河特早熟棉区,长江流域、黄河流域和西北内陆棉区已成为我国棉花生产的三大主产区。依据气候、自然条件、种植制度、品种熟性又可将这三大棉区进一步划分为12个亚区,分别为长江上、中、下游和南襄盆地亚区;淮北平原、华北平原、黄土高原和黄河中上流域的特早熟棉区亚区;

河西走廊、东疆、北疆和南疆亚区(毛树春2013)。五大棉区光、温等条件与种植品种熟性匹配情况见表1。

相应地,棉花品种熟性的改变,特别是早熟品种的选育及地膜覆盖种植技术的应用,不仅促使棉花种植区域向北向西延伸,同时还会影响到一些亚区的划分。如原先黄河流域的京津唐早熟棉亚区,因地膜覆盖种植技术的应用,增加了光、温利用时间,该亚区不再限于种植早熟品种,也可种植中熟、中早熟品种,使得该亚区和华北平原亚区棉花的种植模式趋于相近。在2013年出版的《中国棉花栽培学》一书中,已将这一亚区融入华北平原亚区,不再划分为一单独的亚区(毛树春2013)。

3 棉花“库源”比协调

“库源”比例对棉花的成熟衰老过程有着显著影响。研究发现,去掉抗虫棉早期蕾或果枝,降低“库源”比例后,叶片氮含量上升,碳氮比下降,棉花早衰被显著延缓,甚至会出现贪青晚熟;反之,去掉部分叶片,增加“库源”比例后,棉花叶片碳氮比升高,早衰加重;总而言之,“库”大“源”小时棉株早衰,反之“库”小“源”大时棉花贪青或晚熟(牛曰华等2007;董合忠等2008)。

利用各种技术手段,协调棉花“库源”比,是棉花生产中不可或缺的重要技术环节,这也间接调控了棉花成熟衰老过程。棉花的整枝和化控技术即是通过对接棉株生长发育的适当调节,防止棉花徒长,构建合理的个体和群体形态,协调棉花“库源”比例,从而提高棉花产量的一项技术措施(罗宏海等2011;刘燕等2012)。化控是棉花生产中很细致的生产技术,控迟、控轻了,棉花徒长,“库源”比例小,棉花易出现贪青晚熟;化控过重会引起棉花生长受到严重抑制,库大源小,植株早衰严重。目前在生产上,棉花化控要求做到“早、少、多”,即早控,每次用药量少,增多化控次数,以达到对棉花生长发育进行精细的调控,协调好棉株的“库源”比例,充分利用光、温、水、肥条件,以保障棉花高产、优质。

4 棉花早衰的成因及控制技术

早衰的发生和危害遍及我国各棉区(郁红霞2007;王永芳等2008;齐放军等2013),棉花早衰不

表1 五大棉区光、温等条件与种植品种熟性匹配情况

Table 1 Characteristic of light and temperature parameters in five cotton planting regions and corresponding maturity traits of cotton varieties

棉区	华南棉区	长江流域棉区	黄河流域棉区	辽河特早熟棉区	西北内陆棉区
棉区范围	云南大部、四川西昌、贵州及福建南部、广东、广西、海南和台湾	长江流域地区	黄河流域地区	辽河流域地区	新疆、甘肃河西走廊和内蒙古西端黑河灌区
气候带	北热带至亚热带	中亚热带至北亚热带	南温带	中温带	南温带及中温带
气温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$	341 (280~365)	247 (200~294)	205 (196~230)	160 (140~190)	190 (150~212)
$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温/ $^{\circ}\text{C}$	7 300 (6 000~9 400)	5 200 (4 600~6 000)	4 300 (3 800~4 900)	3 100 (2 600~4 000)	3 900 (3 000~4 500)
年平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	21.0 (19.6~25.8)	16.0 (13.5~17.3)	11.2 (11.8~15.3)	7.7 (5.0~9.0)	9.2 (7.4~14.4)
年日照时数/h	1 800 (1 400~2 000)	1 600 (1 200~2 500)	2 400 (1 900~2 900)	2 700 (2 200~3 000)	2 900 (2 600~3 400)
年平均日照/%	35~60	30~55	50~65	55~65	60~75
年太阳辐射总量/ $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$	490 (460~520)	490 (460~532)	500 (460~652)	535 (506~573)	600 (550~650)
种植制度	两熟、多熟区	两熟、多熟区	两熟、一熟区	一熟区	一熟区和两熟区
复种指数/%	200以上	200以上	100~200	100	100~200
种植品种熟性	中熟陆地棉和 海岛棉	中熟、中早熟 陆地棉	中熟、中早熟 和早熟陆地棉	早熟和特早熟 陆地棉	中熟、中早熟、早熟、 特早熟陆地棉, 早熟和 中熟海岛棉
棉花单产水平/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	750	1 057	1 174	900	1 643

时地爆发、普发,且多发生在棉花长势喜人、丰收在望的状况下,严重危害棉花生产(刘莉等2011)。早衰的发生严重影响棉花的产量和品质,轻度早衰常减产15%左右,重度早衰则可减产20%~50%,且衣分低、纤维品质变劣(郁红霞2007)。

早衰的成因较为复杂,在相当长的一段时期内,一直未能确认棉花早衰的成因。国内曾致力于从生理的角度去揭示棉花早衰的成因,董合忠等(2005)曾专门评述了棉花早衰生理研究的进展,从生理的角度分析,棉花早衰发生有品种的原因,也与气候条件、土壤地力、肥水管理等外部环境因子有关,总结提出了生理性早衰成因的4种解释,即矿质营养失调说、库源失调说、激素失衡说和外源基因耗能说等。他们在文中也指出,棉花早衰是一系列复杂因素造成的,这些假说虽在一定程度上解释了棉花早衰的机理,但均缺乏直接的试验证据,仍需进一步研究和阐明棉花早衰的成因和机理,才有助于建立行之有效的棉花早衰控制技术,为棉花早衰的治理和防控提供针对性的指导(董合忠等2005)。

近些年来,因棉花早衰发生严重、治理难度大,不少基层科研部门有关棉花早衰发生和危害的报道也常涉及棉花早衰的成因,这些一手资料涉及的内容更为广泛,如低温降雨(陈冠文等2007)、品种差异及残膜影响(李家春2007)、重茬和营养失调(张成等2007)、土壤耕层过浅、水分管理不当(王海洋等2007)等。这些零星的资料和信息非常重要,但依然需要直接的实验证据证实这些不良环境因子和棉花早衰发生之间的关系,确定关键性因素,以便采取针对性防控措施。

此外,人们还从钾营养(Li等2012)、耕作制度(买文选和田长彦2012)和种植技术(Dong等2006,2009)等方面来研究和分析早衰的成因,这也进一步增进了人们对早衰发生原因的认识。这些年来,我们也从不同的角度探索棉花早衰的可能成因,涉及遗传特性(刘莉等2011; Zhao等2012a)、营养(Zhao等2013)、低温逆境和病害侵染(Zhao等2012b)等。

从生理、病理复合作用的角度探索棉花早衰的成因,是这些年棉花早衰成因研究的重要突破

之一。我们注意到在新疆地区, 有关报道多提及在棉花生长中后期, 一旦出现低温降雨气候, 在短短一两个星期内, 棉花早衰爆发性发生(郁红霞2007; 李家春2007; 陈冠文等2007)。田间观察和调查这些衰老叶片, 发现这些叶片上遍布病斑。从中分离的病原主要是链格孢菌(*Alternaria alternata*), 即引起棉花轮纹斑病, 又称黑斑病(*Alternaria leaf spot, black leaf spot*)的病原(李莎等2011)。

国外曾报道棉花轮纹斑病发生总是伴随着棉花叶片衰老症状的出现(Hillocks 1992), 且轮纹斑病分泌的毒素对植物叶片的衰老具有促进作用(Jia等2010)。美国(Palmateer等2004; Miller 1969; Sciumbato和Pinckard 1974)、加拿大(Bashan等1991)、澳大利亚(Wright 1998)、印度(Padaganur等1989)及以色列(Bashi等1983)均报道过轮纹斑病危害成株期叶片, 造成严重产量损失。那么棉花生长后期轮纹斑病发生与棉花早衰发生之间是否存在着必然的联系, 国内棉区近年来棉花早衰爆发流行, 并严重危害棉花生产, 是否也是因为轮纹斑病危害引起的? 为此我们专门研究了轮纹斑病与棉花叶片衰老间的关系, 结果发现低温促进了链格孢菌对棉花叶片的侵染, 导致棉花轮纹斑病的发生, 最终导致棉花叶片的衰老死亡(Zhao等2012b)。

棉花生产中, 一旦发生早衰, 控制和治理的难度很大, 目前尚缺乏切实有效的技术手段。为此, 实际生产中棉花早衰应立足于预防, 将棉花早衰的控制和治理实施在棉花早衰发生之前。依据这些年的研究结果, 我们提出了具有针对性的棉花早衰控制技术体系, 该技术体系贯穿棉花生产的整个环节, 即包含“选种、壮苗、补钾、抗逆、防病”一体化的棉花早衰防控技术体系(齐放军等2013)。

5 棉花脱叶催熟

近2~3年内, 利用大型机械进行大规模的棉花机械采收在新疆产区发展极为迅速, 并已发展成为一种必然的趋势。利用小型机械进行小规模棉花机械采收也在其他棉花产区开始有所发展。脱叶催熟是配套机采、降低含杂率、便于后期机械去杂和保障棉花品质的重要技术环节之一。脱叶催熟技术是指在棉花生育后期, 应用合成的化

合物促进棉铃开裂和叶片脱落。化学脱叶催熟的主要目的是提高机械采收的作业效率并降低子棉的含杂率, 同时该技术也可在一定程度上解决棉花后期的贪青晚熟问题(田晓莉等2006)。

从作用机制上可将化学脱叶催熟剂分为两类。第一类为触杀型的化合物, 这些化合物可直接杀伤或杀死植物的绿色组织, 同时又不抑制乙烯的产生, 从而起到催熟和脱叶作用, 如脱叶磷、草甘膦、百草枯、敌草隆等。这一类化合物起效快, 应用时间偏晚。第二类化合物促进内源乙烯的生成, 从而诱导棉铃开裂和叶柄离层的形成, 如乙烯利、噻唑隆等。第二类化合物的作用比第一类慢得多, 在生产上的应用时间比第一类早(田晓莉等2006)。实际应用中, 不同类型的脱叶催熟剂常复配使用, 效果更好(姜伟丽等2013)。

脱叶催熟的时期非常关键, 脱叶时间过早, 棉铃过早停止发育, 产量会显著下降; 脱叶过迟, 气温低于脱叶催熟剂发挥作用所需的温度, 也就不能够达到脱叶催熟的效果。只有适时地脱叶催熟, 在保障脱叶效果的同时, 还能够促使同化产物从“源”向“库”转移, 提高棉花的产量。目前可利用的脱叶催熟剂对低温均较为敏感, 这已成为适当延迟脱叶催熟、进一步提高棉花产量的技术瓶颈。

6 展望

综上所述, 生长发育、成熟衰老的合理调控是棉花生产中关键问题之一, 贯穿棉花生产从选种到采收的全过程。影响棉花成熟衰老的因素复杂, 涉及遗传、育种、栽培、生理、病理等诸多学科, 如何尽可能利用不同区域光、温条件, 合理地调控棉花成熟衰老, 进一步提高棉花的产量和品质, 需不同学科间的分工协作和协调统一。目前, 我国棉花种植区域广, 横跨北热带和中温带, 且新疆棉区的棉花单产水平世界领先, 这在一定程度上表明在实际应用领域, 我国棉花成熟衰老调控技术处于世界前列。然而有关棉花成熟衰老调控前沿和基础领域研究依然很薄弱, 需利用不同学科所长, 进一步揭示棉花成熟衰老调控的机制, 利用棉花生产的各技术环节, 合理有效调控棉花生长发育、成熟衰老的过程。

参考文献

陈冠文, 李莉, 祁亚琴, 王登伟, 刘忠元, 任晖, 王建顺(2007). 新疆棉

- 花红叶早衰特征及其原因探讨. 新疆农垦科技, (6): 8~10
- 董合忠, 李维江, 唐薇, 张冬梅(2005). 棉花生理性早衰研究进展. 棉花学报, 17 (1): 56~60
- 董合忠, 毛树春, 张旺锋, 陈德华(2014). 棉花优化成铃栽培理论及其新发展. 中国农业科学, 47 (3): 441~451
- 董合忠, 牛曰华, 李维江, 唐薇, 李振怀, 张冬梅(2008). 不同整枝方式对棉花库源关系的调节效应. 应用生态学报, 19 (4): 819~824
- 姜伟丽, 马艳, 马小艳, 马亚杰, 李希凤(2013). 不同脱叶催熟剂在棉花上的应用效果. 中国棉花, 40 (10): 11~14
- 孔祥强, 董合忠(2011). 滨海盐碱地棉花熟相调控技术及其机理. 棉花学报, 23 (5): 466~471
- 李家春(2007). 奎屯垦区棉花早衰原因分析及防治对策. 新疆农垦科技, (2): 11~12
- 李秋芝, 杨中旭, 李海涛, 王士红, 尹会会(2012). 黄河流域棉区棉花后期长势长相与田间管理技术. 棉花科学, 34 (1): 47
- 李莎, 张文蔚, 齐放军, 司宁, 简桂良(2011). 环境条件对棉花轮纹斑病菌分生孢子萌发的影响. 棉花学报, 23 (5): 472~475
- 刘莉, 陈燕, 王升正, 叶玉霞, 李莎, 郭天凤, 马野平, 李家胜, 简桂良, 齐放军(2011). 棉花品种抗早衰特性比较和评价. 植物保护, 37 (2): 107~111
- 刘燕, 原保忠, 张献龙, 周欢, 彭龙(2012). 整枝与化控对棉花产量和品质的影响. 中国棉花, 39 (11): 10~12
- 罗宏海, 赵瑞海, 韩春丽, 张旺锋(2011). 缩节胺(DPC)对不同密度下棉花冠层结构特征与产量性状的影响. 棉花学报, 23 (4): 334~340
- 买文选, 田长彦(2012). 膜下滴灌棉花早衰发生的可能机制研究——从生长与养分的角度. 植物营养与肥料学报, 18 (1): 132~138
- 毛树春(2013). 我国的棉区. 见: 中国农业科学院棉花研究所主编. 中国棉花栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 66~100
- 牛曰华, 董合忠, 李维江, 栗红梅(2007). 去早果枝对抗虫棉产量、品质和早衰的影响. 棉花学报, 19 (1): 52~56
- 齐放军, 简桂良, 李家胜(2013). 棉花早衰、红叶茎枯病与棉花轮纹斑病间关系辨析. 棉花学报, 25 (1): 81~85
- 田晓莉, 李召虎, 段留生, 王保民, 何钟佩(2006). 棉花化学催熟与脱叶技术. 中国棉花, 33 (1): 4~6
- 冯泽芳, 杜春培, 马鸣琴, 汪雄时(1958). 1957年全国棉花品种区域试验总结摘要. 中国棉花, (3): 16~19
- 汪若海(2009). 中国棉区的划分与变迁. 中国棉花, 36 (9): 12~16
- 王海洋, 陈建平, 张萼, 潘群斌, 蔡立旺, 杨华, 施庆华(2007). 江苏沿海棉区棉花早衰原因及防治措施. 江西棉花, 29 (6): 42~43
- 王永芳, 陆建华, 王云如(2008). 2007年江苏如东县棉花早衰死亡原因调查分析. 中国棉花, 35 (8): 43~44
- 郁红霞(2007). 新疆棉花早衰原因分析及防治思路. 中国棉花, 34 (6): 41~42
- 张成, 宋述元, 关业虎, 庄光泉, 赵保平, 李小平, 杨利(2007). 江汉平原棉区棉花早衰原因调查与预防对策. 湖北农业科学, 46 (3): 371~373
- Bashan Y, Levanony H, Or R (1991). Association between *Alternaria macrospora* and *Alternaria alternata*, causal agents of cotton leaf blight. Can J Bot, 69 (12): 2603~2607
- Bashi E, Sachs Y, Rotem J (1983). Relationships between disease and yield in cotton fields affected by *Alternaria macrospora*. Phytoparasitica, 11 (2): 89~97
- Dong H, Niu Y, Kong X, Luo Z (2009). Effects of early-fruit removal on endogenous cytokinins and abscisic acid in relation to leaf senescence in cotton. Plant Growth Regul, 59 (2): 93~101
- Dong HZ, Li WJ, Tang W, Li ZH, Zhang DM, Niu YH (2006). Yield, quality and leaf senescence of cotton grown at varying planting dates and plant densities in the Yellow River Valley of China. Field Crops Res, 98 (2-3): 106~115
- Hillocks RJ (1992). Fungal diseases of the leaf. In: Hillocks RJ (ed). Cotton Diseases. Wallingford, UK: CAB International, 191~238
- Jia YJ, Cheng DD, Wang WB, Gao HY, Liu AX, Li XM, Meng QW (2010). Different enhancement of senescence induced by metabolic products of *Alternaria alternata* in tobacco leaves of different ages. Physiol Plant, 138 (2): 164~175
- Li B, Wang Y, Zhang Z, Wang B, Eneji AE, Duan L, Li Z, Tian X (2012). Cotton shoot plays a major role in mediating senescence induced by potassium deficiency. J Plant Physiol, 169 (4): 327~335
- Miller JW (1969). The effect of soil moisture and plant nutrition on the *Cercospora-Alternaria* leaf blight complex of cotton in Missouri. Phytopathology, 59: 767~769
- Padaganur GM, Hiremath RV, Basavaraj MK (1989). Estimation of yield loss due to *Alternaria* leaf spot and blight in cotton. J Indian Soc Cotton Impr, 14 (2): 144~145
- Palmateer AJ, McLean KS, Morgan-Jones G, van Santen E (2004). Frequency and diversity of fungi colonizing tissues of upland cotton. Mycopathologia, 157 (3): 303~316
- Sciumbato GL, Pinckard JA (1974). *Alternaria macrospora* leaf spot of cotton in Louisiana in 1972. Plant Dis Rep, 58 (3): 201~202
- Wright P (1998). Research into early senescence syndrome in cotton. Better Crops Inte, 12 (2): 14~16
- Zhao JQ, Jiang TF, Liu Z, Zhang WW, Jian GL, Qi FJ (2012a). Dominant gene *cpls1* corresponding to premature leaf senescence resistance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). J Integr Plant Biol, 54 (8): 577~583
- Zhao JQ, Li S, Jiang TF, Liu Z, Zhang WW, Jian GL, Qi FJ (2012b). Chilling stress—the key predisposing factor for causing *Alternaria alternata* infection and leading to cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf senescence. PLoS One, 7 (4): e36126
- Zhao JQ, Zhao FQ, Jian GL, Ye YX, Zhang WW, Li JS, Qi FJ (2013). Intensified *Alternaria* spot disease under potassium deficiency conditions results in acceleration of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf senescence. Aust J Crop Sci, 7 (2): 241~248