

# 红小豆花器官脱落对短日照诱导的生理响应

尹宝重<sup>1</sup> 刘盼<sup>2</sup> 张月辰<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 河北农业大学植物保护学院,071001,河北保定;<sup>2</sup> 河北科技学院,071001,河北保定;

<sup>3</sup> 河北农业大学农学院/河北省作物生长调控重点实验室,071001,河北保定)

**摘 要** 以中晚熟红小豆品种冀红4号为材料,于2010–2011年在河北农业大学农业气象实验站,设置10、12和14h光照3种短日照处理,以自然光周期处理作为对照(CK),从对生真叶出土开始进行短日照处理,至各处理始花期为止,观测不同处理的生育进程,花的形成和脱落,植株不同节位花的纤维素酶活性、多聚半乳糖醛酸酶活性、过氧化物酶(POD)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性,以及全氮、全磷、全钾含量和C/N。结果表明,短日照处理可使红小豆始花期和终花期均提前,其中10h短日照处理促进作用最明显;在中下部至中上部植株的各节位,12h短日照处理落花数和比例均最低,且在该部位,12h短日照处理的花中纤维素酶活性、多聚半乳糖醛酸酶活性、过氧化物酶活性和超氧化物歧化酶活性均明显低于其他处理;在植株中部到中上部的各节位中,12h短日照处理红小豆植株花中全氮、全磷和全钾含量都明显高于其他处理。另外,12h短日照处理红小豆植株花中C/N明显低于其他处理。

**关键词** 红小豆;短日照;花器官;脱落;生理响应

植物花器官脱落是自然界的普遍现象,是植物应对外界环境或放弃那些不再发挥作用的器官的有效机制<sup>[1–3]</sup>。适量花的脱落对于作物生长和产量形成具有积极意义,但大量花的脱落不仅造成了养分的无效消耗,而且还会造成器官间对光合产物竞争而抑制有效花的正常发育,进而影响产量形成。植物花器官脱落的影响因素很多,比如温度、湿度、光照、营养状况、源库关系、植物生长物质等<sup>[4–6]</sup>。尤其是光照,对于花器官的脱落可以产生明显的影响<sup>[7]</sup>。比如,山东省临沂市农业科学研究所调查证实,大豆生育中期每天日照时数少,花荚脱落率高,反之亦然<sup>[8]</sup>。尹宝重等<sup>[9]</sup>研究表明,在第2叶龄时对红小豆进行12h短日照诱导,可以使其开花更多的向植株中下部转移。另外,花的脱落在植株不同部位的表现并不一致。比如,马赛斐等<sup>[10]</sup>研究表明大豆花荚的脱落主要集中在下部,脱落率为100%,而上层的花荚相对稳定,脱落率为40%左右。而光照本身就是影响植物生长最重要的因素之一,它作为一种信号,可

以诱发相关基因表达的开启,并由此产生某些物质控制花的生长及脱落<sup>[11–13]</sup>。但有关光照是通过何种生理途径影响花器官的脱落,花器官脱落过程中的信号转导途径等依然知之甚少<sup>[14–15]</sup>。因此,通过研究,明确光照影响花脱落过程中生理信号的表达,对于利用光照调控作物花的发育,有着积极的参考意义。

红小豆(*Vigna angularis*)是我国最重要的杂粮作物之一,因其耐瘠薄、生育期短,且具备较好的固氮养地作用,在我国北方地区被广泛的种植。尤其是在我国加入WTO以后,大宗粮食作物竞争力下降的情况下,以红小豆为代表的小杂粮作物在出口创汇中发挥的作用愈发明显<sup>[16–17]</sup>。但长期以来,红小豆落花落荚严重,产量低且不稳定,一直是限制红小豆产业发展的瓶颈。红小豆是一种典型的短日照作物,晚熟品种对光照感应更敏感<sup>[9,16]</sup>。利用光照调控红小豆花的形成和发育,提高有效花的比例,具有充分的理论基础和重要的实践价值。但相关的研究一直非常少,尤其是涉及红小豆不同节位花器官对短日照诱导的生理响应机制,尚未见报道。本研究拟通过探讨不同短日照处理对红小豆不同节位花器官脱落的主要影响,并研究红小豆花器官内关键酶活性、营养物质的分配对短日照诱导的响应,为进一步明确短日

作者简介:尹宝重,讲师,主要从事高产栽培生理研究

张月辰为通信作者,教授,主要从事作物栽培生理研究

基金项目:国家自然科学基金项目(31271653);河北省自然科学基金项目(C2009000526);河北省教育厅指导计划项目(Z2012024)

收稿日期:2014–08–12;修回日期:2014–10–26

照诱导对红小豆花器官脱落的影响机理,以及为下一步通过相关栽培管理措施合理控制红小豆花器官的脱落,提高有效花的比例提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与试验设计

试验于 2010 - 2011 年在保定市河北农业大学农业气象实验站(保定,38°51'N,115°47'E)进行。供试材料为河北省农林科学院粮油作物研究所选育的中晚熟红小豆品种冀红 4 号。2 年播种日期均选择在 6 月 21 日。小区面积为 4m × 1m,穴播,每穴 2 粒,株距 16cm,行距 30cm。红小豆幼苗第 1 片复叶出现时定苗,每小区留苗 75 株。8 月初中耕除草。

参照前人<sup>[18-19]</sup>的试验结果,试验设 3 个短日照处理,SD1(光/暗为 10h/14h)每日 17:00 开始遮光,次日 7:00 解除遮光;SD2(光/暗为 12h/12h)每日 17:00 开始遮光,次日 5:00 解除遮光;SD3(光/暗为 14h/10h)每日 19:00 开始遮光,次日 5:00 解除遮光;以自然光下生长的红小豆为对照(CK),共 4 个处理。结合前期工作的研究进展<sup>[9]</sup>,每个短日照处理从第 3 片复叶展平开始遮光,到第 4 片复叶展平为止。遮光处理采用小拱棚骨架与黑红布遮盖的方式,黑红布厚度为 0.3cm。遮光后,采用 TES-1330A 照度计测定,小区光照强度为 0Lx。每处理 3 个重复,每重复 1 个小区,小区长 4m、宽 1.2m。试验区采用随机区组排列。从播种开始统计生育进程,初花开始统计不同节位开花与落花数量,计算脱落比例。

### 1.2 生理指标测定方法

从初花后 10d 开始,每隔 5d 将不同处理相同

部位当日开放的花从花柄基部剪下,共取 4 次,将其混合,经液氮速冻处理后,于 -40℃ 低温冰箱中保存,用于酶活性测定。取样时间为上午 9:00 ~ 10:00。纤维素酶活性、多聚半乳糖醛酸酶活性测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;POD 活性采用愈创木酚法测定,SOD 活性采用氯化硝基四氮唑蓝(NBT)比色法测定<sup>[20-21]</sup>。N 含量测定用凯氏定氮法测定,P 含量用钒钼黄比色法测定,K 含量用原子吸收分光光度法测定<sup>[20]</sup>。

### 1.3 数据统计方法

用 DPS v7.05 (data processing system,PPS) 统计软件中的新复极差法分析处理间差异显著性;用 Excel 2010 对相关数据进行分析与作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 短日照处理对红小豆主要物候期的影响

表 1 是 2 个年度中,不同短日照处理对红小豆主要物候期的影响。由表 1 可知,在 2010 年度中,与 CK 相比,短日照处理可明显提前红小豆始花期、盛花期和终花期。SD1 处理效果最为明显,其始花期、盛花期和终花期分别为 7 月 27 日、8 月 13 日和 9 月 4 日,分别比 CK 处理提早了 15、11 和 11d;SD2 处理和 SD3 处理的始花期、盛花期和终花期分别都比 SD1 处理出现了不同程度的延迟,其中,SD2 处理的始花期、盛花期和终花期分别比 SD1 处理延迟了 6、5 和 4d,SD3 处理的始花期、盛花期和终花期则分别比 SD1 处理延迟了 9、7 和 8d。而从不同处理间总花期长度来比较,其差异并不明显。短日照处理可使红小豆结荚提前,SD1、SD2 和 SD3 3 种处理的结荚期分别为 8 月 18 日、8 月 21 日和 8 月 25 日,分别比 CK 处理提前了

表 1 短日照处理对红小豆主要物候期的影响

处理	播种期(月·日)	出苗期(月·日)	始花期(月·日)	盛花期(月·日)	结荚期(月·日)	终花期(月·日)	花期(d)	总生育期(d)
2010 年								
SD1	6·21	7·02	7·27	8·13	8·18	9·04	39a	94c
SD2	6·21	7·02	8·02	8·18	8·21	9·08	37ab	98b
SD3	6·21	7·02	8·05	8·20	8·25	9·12	38a	98b
CK	6·21	7·02	8·11	8·24	8·28	9·15	37ab	101a
2011 年								
SD1	6·21	7·01	7·29	8·14	8·19	9·06	39a	94c
SD2	6·21	7·01	8·05	8·17	8·22	9·08	34ab	98b
SD3	6·21	7·01	8·08	8·22	8·25	9·13	36a	98b
CK	6·21	7·01	8·12	8·25	8·27	9·16	37ab	101a

注:同一年度同列数据后有相同字母表示在  $P=0.05$  水平差异不显著,下同

10、7 和 3d。与 CK 处理相比较,SD1、SD2 和 SD3 3 种处理总生育期均不同程度缩短,分别为 94、98 和 98d。2011 年度与 2010 年度相比,不同处理间始花期、盛花期和终花期的先后顺序基本相似。

2.2 短日照处理对红小豆开花数量及空间分布的影响

表 2 所显示的是短日照处理对红小豆开花数量及空间分布的影响。由表 2 可知,在 2010 年,从开花数量来看,在植株中下部(6~10 节,下同),SD3 处理最高;在植株下部(1~5 节,下同)和中上部(16~20 节,下同),SD1 处理最高;在植株上部(21~25 节,下同),则是 CK 处理最高。从花的脱落数量来看,在植株下部,CK 处理最少,其他部位(除上部外)均为 SD2 处理最少。与 CK 处理相比,除了植株下部以外,短日照处理均可有效

降低落花数量。其中,在植株的中下部、中部和中上部,SD2 处理落花数量降低最明显。而在植株下部,短日照处理则提高了脱落数量,其中 SD1 和 SD2 处理脱落数量最高。从花的脱落比例来看,在植株的中下部、中部和中上部各节位中,短日照处理均可有效降低花的脱落比例,其中 12h 短日照处理最为明显,其落花比例为对照处理的 77.4%。在植株的下部和上部各节位中,短日照处理对花的脱落表现为促进。其中 12h 和 14h 短日照处理促进作用比较明显。从花形成的空间分布来看,短日照处理与对照处理相比,开花总量差异不明显,但短日照处理落花数量和脱落比例均低于对照处理。其中,在中下部和中部各节位,植株 12h 短日照处理落花数量和脱落比例均最低。2011 年开花数量、花的脱落数量和比例,与 2010 年规律

表 2 短日照处理对红小豆开花数量及空间分布的影响

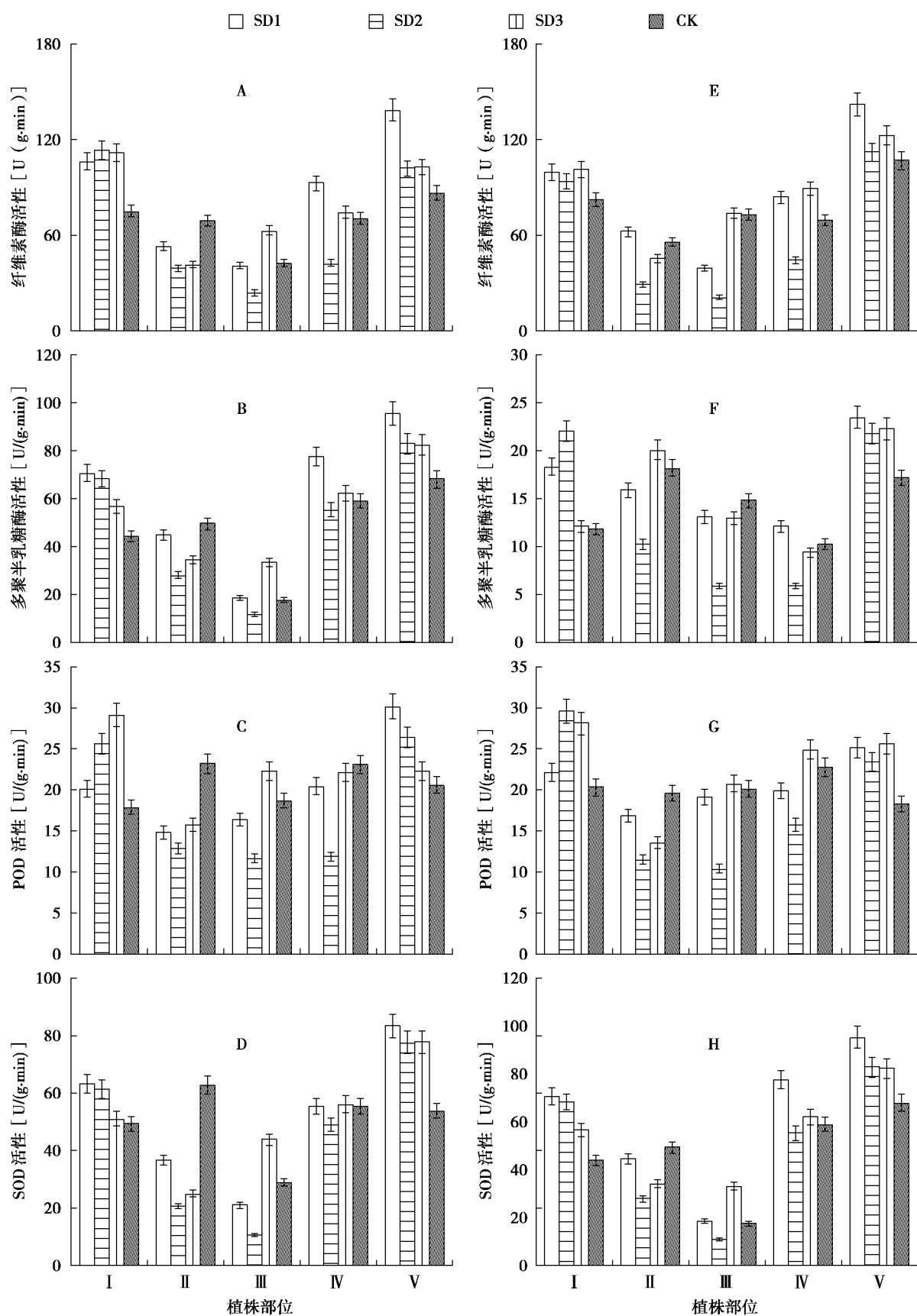
测定指标	处理	1~5 节 (下部)	6~10 节 (中下部)	11~15 节 (中部)	16~20 节 (中上部)	21~25 节 (上部)	单株总数
2010 年							
开花数量(朵)	SD1	19.1 ± 0.10a	33.5 ± 0.67b	25.1 ± 0.38c	19.8 ± 0.34a	9.7 ± 0.62c	107.2 ± 1.04ab
	SD2	18.4 ± 0.24ab	40.1 ± 0.85b	32.9 ± 0.42a	13.6 ± 0.33c	10.5 ± 0.48c	115.5 ± 1.58a
	SD3	16.7 ± 0.15c	35.1 ± 0.80a	30.1 ± 0.51b	13.8 ± 0.21c	12.6 ± 0.59b	108.3 ± 1.02ab
	CK	15.6 ± 0.11c	31.9 ± 0.57b	30.1 ± 0.43b	18.1 ± 0.15ab	14.6 ± 0.75a	110.3 ± 0.99ab
脱落数量(朵)	SD1	13.5 ± 0.21a	12.3 ± 0.15b	9.7 ± 0.05c	12.3 ± 0.16b	7.9 ± 0.15c	55.7 ± 0.19c
	SD2	13.9 ± 0.14a	9.2 ± 0.08c	9.6 ± 0.12c	8.9 ± 0.07c	9.1 ± 0.42b	50.7 ± 0.42d
	SD3	12.3 ± 0.19ab	13.7 ± 0.22b	12.8 ± 0.31b	12.3 ± 0.11b	11.4 ± 0.31a	62.5 ± 0.17b
	CK	9.6 ± 0.09c	14.3 ± 0.18a	13.1 ± 0.24a	15.9 ± 0.16a	11.1 ± 0.14a	64.0 ± 0.32a
脱落比例(%)	SD1	70.7 ± 0.75b	36.7 ± 0.58b	38.6 ± 0.24b	62.1 ± 0.17b	81.4 ± 0.27ab	52.0 ± 0.29b
	SD2	75.5 ± 0.95a	21.7 ± 0.42c	25.3 ± 0.22c	65.4 ± 0.15b	86.7 ± 0.07ab	41.3 ± 0.41c
	SD3	73.7 ± 0.92ab	39.0 ± 0.19b	42.5 ± 0.52a	89.1 ± 0.87a	90.5 ± 0.47a	57.7 ± 0.26a
	CK	61.5 ± 0.75c	44.8 ± 0.23a	43.5 ± 0.38a	87.8 ± 0.92a	76.0 ± 0.31c	58.0 ± 0.24a
2011 年							
开花数量(朵)	SD1	22.1 ± 0.17a	36.1 ± 0.23a	26.2 ± 0.48c	17.4 ± 0.49ab	9.7 ± 0.52c	108.0 ± 0.92ab
	SD2	19.9 ± 0.14b	38.6 ± 0.29b	35.1 ± 0.26b	13.1 ± 0.43c	11.3 ± 0.41b	118.0 ± 1.09a
	SD3	18.2 ± 0.22c	35.2 ± 0.24a	34.4 ± 0.47a	12.6 ± 0.28c	11.6 ± 0.37b	112.0 ± 0.97ab
	CK	16.9 ± 0.18c	29.7 ± 0.11b	30.9 ± 0.39b	18.1 ± 0.54a	13.1 ± 0.262a	108.7 ± 1.02ab
脱落数量(朵)	SD1	15.9 ± 0.23a	13.7 ± 0.15b	10.4 ± 0.55c	13.2 ± 0.16a	8.1 ± 0.42b	61.3 ± 1.14a
	SD2	14.9 ± 0.16ab	8.7 ± 0.08c	10.5 ± 0.92c	8.1 ± 0.08b	9.3 ± 0.09b	51.5 ± 0.58b
	SD3	14.2 ± 0.15ab	16.6 ± 0.42a	15.2 ± 0.49a	9.5 ± 0.26b	9.6 ± 0.09b	65.1 ± 0.49a
	CK	9.1 ± 0.22c	16.2 ± 0.34a	11.8 ± 0.52ab	13.5 ± 0.32a	10.1 ± 0.52a	60.7 ± 0.88a
脱落比例(%)	SD1	71.9 ± 0.14ab	42.0 ± 0.16b	39.7 ± 0.79b	75.9 ± 0.97a	83.5 ± 0.67a	56.8 ± 0.92b
	SD2	74.9 ± 0.12ab	22.5 ± 0.14c	29.9 ± 0.59c	61.8 ± 0.82b	82.3 ± 0.42a	43.6 ± 0.49c
	SD3	78.0 ± 0.93a	47.2 ± 0.18b	44.2 ± 0.78a	75.4 ± 0.87a	82.8 ± 0.51a	58.1 ± 0.43a
	CK	53.8 ± 0.58c	54.5 ± 0.92a	38.2 ± 0.57b	74.6 ± 1.04a	77.1 ± 0.62b	55.8 ± 0.52a

基本相似。

2.3 短日照处理对红小豆花关键酶活性的影响

2.3.1 纤维素酶活性 纤维素酶是脱落过程中

的一种重要的细胞壁水解酶,它们可以降解细胞壁的主要组成成分果胶、纤维素和半纤维素。由图 1(A、E)可知,短日照处理对红小豆花纤维素酶



I: 1~5 节; II: 6~10 节; III: 11~15 节; IV: 15~20 节; V: 21~25 节。A~D: 2010 年数据; E~H: 2011 年数据, 下同

图 1 短日照处理对红小豆花关键酶活性的影响

活性影响非常明显。在 2010 年(图 1-A),植株下部,SD2 和 SD3 处理的纤维素酶活性较高,而 CK 处理则较低;在植株中下部,不同处理红小豆花的纤维素酶活性均有一定程度的下降,其中 SD2 和 SD3 处理下降最为明显,分别为 39.4 和 41.2U/(g·min),明显低于 CK 和 SD1 处理的 52.9 和 69.1U/(g·min);在植株中部,SD2 处理进一步降低,并明显低于其他处理;在植株中上部,各处理纤维素酶活性有一定程度提高,但依然表现为 SD2 处理最低;在植株上部,各处理的纤维素酶活性继续升高,其中 SD1 处理升高最快,达 138.3U/(g·min),CK 处理则最低,为 86.7U/(g·min),SD2 和 SD3 处理居中。在 2011 年度(图 1-E),除植株下部和上部纤维素酶活性整体偏高外,SD2 处理在植株中下部到中上部纤维素酶活性的变化规律同 2010 年表现一致。

**2.3.2 多聚半乳糖醛酸酶活性** 多聚半乳糖醛酸酶属果胶酶的一种,能够水解植物细胞壁及胞间层的果胶物质,进而促进离层形成<sup>[4]</sup>。由图 1(B、F)可知,在 2 个年度试验中,植株下部和上部,CK 处理多聚半乳糖醛酸酶活性最低,平均分别为 11.13 和 11.93U/(g·min)。在植株中下部至植株中上部,SD2 处理的多聚半乳糖活性最低,分别为 9.39、5.38、5.76U/(g·min)。在植株下部、中上部和上部,2 个年度多聚半乳糖醛酸酶活性最高的分别为 SD2 处理、SD1 处理和 SD1 处理,平均分别为 17.19、23.72 和 17.81U/(g·min)。其中,在成花最为集中的植株中部,SD1 处理的多聚半乳糖醛酸酶活性是 SD2 处理的 3.4 倍。在植株中下部和中部,2010 年多聚半乳糖醛酸酶活性最高的分别是 CK 和 SD3 处理,而在 2011 年依然是 SD3 和 CK 处理。

**2.3.3 POD 活性** 衰老的花瓣中,某些生理变化和细胞编程性死亡(programmed cell death,PCD)有关,如活性氧自由基(reactive oxygen species,ROS)升高。而 POD 是清除活性氧的重要物质<sup>[20]</sup>。由图 1(C、G)可知,在 2 个年度试验中,植株下部和上部,CK 处理 POD 活性最低,相对应的部位在 2010 年分别是 SD3 和 SD1 处理最高,在 2011 年则 3 个短日照处理均较高。植株中下部至中上部,均为 SD2 处理的酶活性最低,且明显低于其他

处理。整体来看,短日照处理植株花的 POD 活性普遍呈现出植株上部和下部较高,而中部较低的趋势,其中 SD2 处理最明显。

**2.3.4 SOD 活性** 由图 1(D、H)可知,在植株下部,CK 处理的 SOD 活性最低,平均为 420.8U/(g·min),而此部位上 SD1 处理的 SOD 活性则较高,平均为 601.7U/(g·min)。这说明 10h 短日照诱导,明显提高了红小豆花 SOD 活性,且其增量明显高于其他日长处理。从植株中下部开始至中上部,SD2 处理 SOD 活性降低最为明显,这说明红小豆花中的 SOD 活性在此部位上,对 12h 短日照的诱导非常敏感,而其他处理则表现相对钝化。在植株上部,短日照处理均提高了 SOD 的活性,并明显高于 CK 处理。

## 2.4 短日照处理对红小豆花营养状况的影响

**2.4.1 全氮含量** 由图 2(A、E)可知,短日照处理对红小豆花内全氮含量影响非常明显。2 年的结果均显示,短日照处理对于植株下部至中上部节位上花内全氮的积累都有明显的促进作用。3 种短日照处理在该节位上着生的花,其全氮含量均明显高于 CK 处理。其中在植株的下部和中部,3 种短日照处理之间全氮含量差异不明显。在植株中部和中上部,3 种短日照处理之间相比较,SD2 处理的全氮含量较高,平均为 6.68%,明显高于 SD1 和 SD3 处理。在植株上部,3 种短日照处理花的全氮含量均明显低于 CK 处理。

**2.4.2 全磷含量** 由图 2(B、F)可知,在植株上部和下部各节位的花中,不同处理之间其全磷含量差异不明显。短日照处理对于红小豆花全磷含量的影响差异主要体现在植株中下部至中上部各节位上。其中,在植株中下部节位上的花中,3 种短日照处理的全磷含量均明显提高,且与 CK 处理差异较大;而在植株中部和中上部各节位花中,SD2 处理的全磷含量平均可达 0.25%,明显高于其他处理。在植株中部,SD1 和 SD3 处理与 CK 处理差异并不明显,分别仅为 0.17% 和 0.16%。另外,各处理从植株下部到上部,其各节位花中全磷含量均呈现出先升高后降低的趋势。

**2.4.3 全钾含量** 由图 2(C、G)可知,短日照处理对植株上部和下部各节位花中全钾含量并未带来明显影响,各处理之间差异也不明显。但在植

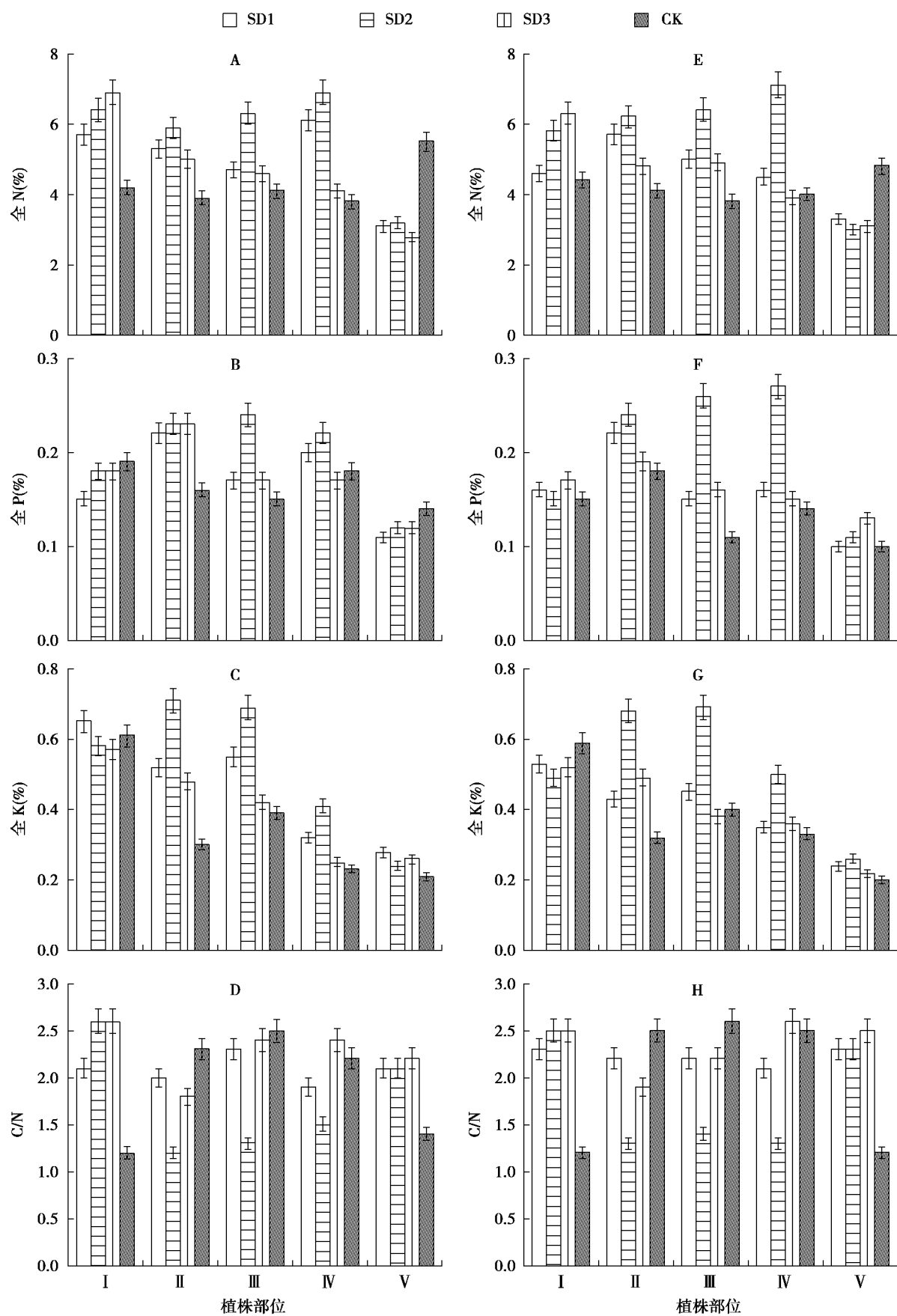


图 2 短日照处理对红小豆花营养状况的影响

株中下部各节位的花中,短日照处理可明显提高其钾元素的含量,其中以SD2处理提高最明显,与CK处理相比较,SD2处理花中钾元素含量2年度平均提高了125.8%。在植株中部和中上部各节位的花中,SD2处理对钾元素含量促进比较明显,而SD3和SD1处理则与CK处理差异不大。

2.4.4 C/N 由图2(D、H)可知,在植株下部节位的花中,3种短日照处理的C/N均明显高于CK处理,且3种处理差异不明显。在植株中下部至中上部的节位中,SD2处理花的C/N最低,平均为1.33%,分别相当于为同部位SD1处理、SD3处理和CK处理平均值的62.7%、59.9%、54.7%。在植株上部,3种短日照处理植株花的C/N差异不大,但均明显高于CK处理。另外,在植株所有节位上花的C/N来看,SD1和SD3处理的变化不明显。

### 3 讨论

植物花器官的脱落是一种与产量形成密切相关的生理现象<sup>[21-23]</sup>。正常数量花器官的脱落,可以减少养分的无效消耗,把有限的养分更为有效的进行分配。但大量花器官的脱落,则会造成养分大量的消耗,显著影响后期植物产量的形成。尤其是对于一些营养生长与生殖生长并行时间比较长的作物,比如豆科作物,其后期开花结荚同时进行为主,对养分竞争激烈,矛盾冲突明显,更容易造成大量花荚脱落,对产量影响很大<sup>[19]</sup>。因此,研究花器官脱落的生理响应机制,探索控制花脱落的途径,就成为作物高产栽培的重要工作之一<sup>[24-25]</sup>。前人研究表明,植物花器官在脱落之前,脱落器官的基部会分化出离区(abscission zone),以后在离区的范围内进一步分化产生离层(separation layer)和保护层(protection layer)。离区是由5~50层小细胞组成的一个完整的贯穿整个脱落部位的细胞层<sup>[8]</sup>。显然,离层形成的快慢是决定高等植物花器官脱落的最重要因素。研究表明,养分供应不足,吲哚乙酸(IAA)、细胞分裂素(CTK)和脱落酸(ABA)等激素变化,纤维素酶、多聚半乳糖醛酸酶等细胞壁降解酶活性改变,都与促进离层细胞形成,并进一步造成花器官的脱落有密切关系<sup>[26-27]</sup>。此外,参与降解的酶类还有酯

酶、几丁质酶及苯丙氨酸解氨酶等。

本研究表明,从成花的时间方面来看,短日照处理可使红小豆始花和终花期均提前,其中10h短日照促进作用最明显;从花形成的空间分布来看,短日照处理与对照处理相比,开花总量差异不明显,但短日照处理落花数量和脱落比例均低于对照处理。其中,在中下部、中部和中上部各节位,12h短日照处理落花数量和脱落比例均最低;短日照处理对红小豆花关键酶活性的影响方面,12h短日照处理的红小豆植株,在植株中部和中下部、中上部等部位的花中,其纤维素酶活性、多聚半乳糖酶活性、POD活性和SOD活性均明显低于其他处理,而在下部和上部则或者高于其他处理,或者差异不明显;在植株中部到中上部的各节位中,12h短日照处理红小豆植株花中全氮、全磷和全钾均较高,但其花中C/N却较低。由此可见,12h短日照诱导降低了植株中部至中上部的部分关键酶活性,促进了氮、磷和钾等矿质元素向该部位分配,同时该部位的C/N也比较低,这与该部位花脱落比例低有着密切关系。

#### 参考文献

- [1]王翔,陈晓博,李爱丽,等.植物器官脱落分子生物学研究进展.作物学报,2009,35(3):381-387.
- [2]Meir S,Philosoph-Hadas S,Sundaresan S,et al. Microarray analysis of the abscission-related transcriptome in tomato flower abscission zone in response to auxin depletion. Plant Physiology, 2010, 154: 1929-1956.
- [3]Acar I, Eti S. Abscission of pistachio flowers and fruits as affected by different pollinators. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2007, 10(17): 2920-2924.
- [4]齐明芳,李天来,许涛,等.园艺作物器官脱落相关酶的研究进展.北方园艺,2007(6):62-65.
- [5]付崇毅,刘杰才,崔世茂,等.低温对日光温室砂糖橘成花诱导及生理反应的影响.中国生态农业学报,2013,21(5):572-579.
- [6]李晓红,齐明芳,李天来,等.不同温度处理对番茄离体花柄脱落及其相关酶活性的影响.沈阳农业大学学报,2007,38(6):780-783.
- [7]Jackson S D. Plant responses to photoperiod. New Phytology, 2009, 181: 517-531.
- [8]张兴文,任红玉,严红.大豆花荚败育及脱落的研究进展.大豆科学,2002,21(4):290-294.
- [9]尹宝重,陶哺,张月辰.不同苗龄红小豆光周期诱导效应.作物学报,2011,37(8):1475-1484.
- [10]马赛斐,王永锋,何景新,等.大豆花荚脱落的研究.大豆通报,2005(3):11-12.
- [11]Ciaffi M, Paolacci A R, Tanzarella O A, et al. Molecular aspects of flower development in grasses. Sex Plant Reprod, 2011, 24: 247-28.
- [12]宋萌萌.植物响应光周期的分子机制.太原城市职业技术学院学报,2011(6):181-182.

- [13] Silveira A P, Araújo F S, Martins F R. Do vegetative and reproductive phenophases of deciduous tropical species respond similarly to rainfall pulses?. *Journal of Forestry Research*, 2013, 24(4): 643 – 651.
- [14] Yin B Z, Zhang Y S, Zhang Y C. The effects of plant growth regulator procreating characteristics and yields characteristics in Adzuki bean (*Phaseolus-out angularis*). *Frontiers of Agriculture in China*, 2011, 5(4): 519 – 523.
- [15] Song H, Gao J F, Gao X L, et al. Relations between photosynthetic parameters and seed yields of Adzuki bean cultivars (*Vigna angularis*). *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11(9): 1453 – 1461.
- [16] 尹淑丽, 张月辰, 陶佩君, 等. 苗期日照长度对红小豆生育特性和产量的影响. *中国农业科学*, 2008, 41(8): 2286 – 2293.
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2006, 205 – 207, 211 – 213, 217 – 219.
- [18] 姜雪梅, 陶佩君, 柴江, 等. 红小豆花芽分化与结实率的研究. *华北农学报*, 2008, 23(S): 144 – 149.
- [19] 牟善积, 何明华. 红小豆栽培. 天津: 天津科学技术出版社, 1992: 34 – 36.
- [20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000, 211 – 212.
- [21] 宋莉萍, 刘金辉, 郑殿峰, 等. 不同时期 PGRs 对大豆花荚脱落率及纤维素酶活性的影响. *中国油料作物学报*, 2011, 33(3): 253 – 258.
- [22] Tetsuya Y, Kazuo I, Wouter G, et al. Relationship between petal abscission and programmed cell death in *Prunus yedoensis* and *Delphinium belladonna*. *Planta*, 2007, 226: 1195 – 1205.
- [23] Xiang C, Qu L J, Gao Y M, et al. Flower development and photoperiodic control of flowering in rice. *Rice Science*, 2013, 20(2): 79 – 87.
- [24] 齐明芳, 许涛, 郭泳, 等. 园艺植物器官脱落研究进展. *沈阳农业大学学报*, 2010, 41(6): 643 – 648.
- [25] Meir S, Philosoph H S, Sundaresan S, et al. Identification of defense-related genes newly-associated with tomato flower abscission. *Plant Signal Behavior*, 2011, 6(4): 590 – 593.
- [26] 许涛, 李天来, 齐明芳. 钙处理对乙烯诱导的番茄离体花柄脱落的抑制作用. *园艺学报*, 2007, 34(2): 366 – 370.
- [27] Corbesier, L, Coupland, G. Photoperiodic flowering of Arabidopsis: integrating genetic and physiological approaches to characterization of the floral stimulus. *Plant, Cell and Environment*, 2005, 28: 54 – 66.

# The Physiological Response of Floral Organ Abscission for Adzuki Bean (*Vigna angularis*) under Short Daylength Photoperiod Induction

Yin Baozhong<sup>1</sup>, Liu Pan<sup>2</sup>, Zhang Yuechen<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>College of Plant Protection, Agriculture University of Hebei, Baoding 071001, Hebei, China; <sup>2</sup>Technical and Science College of Hebei, Baoding 071001, Hebei, China; <sup>3</sup>College of Agronomy, Agricultural University of Hebei/Key Laboratory of Crop Growth Regulation of Hebei Province, Baoding 071001, Hebei, China)

**Abstract** The experiment was carried out at the Experiment Station of Agro-meteorology in Agricultural University of Hebei in 2011 – 2012. Adzuki bean Jihong 4, a medium and late maturing variety, was treated with four photoperiods: natural light (CK), 10 – hour light, 12 – hour light and 14 – hour light using the natural light treatment as the control. We carried out the short-day photoperiod treatment from the first two leaves appeared to the initial flower appeared, and determined the development progress, the formation and abscission of the flower, the activity of cellulose, polygalacturonase, POD and SOD, the contents of total nitrogen, total phosphorus, total potassium and C/N. The result showed that the short-day photoperiod treatment could make the initial flowering stage and final flowering stage in advance, and the enhancement of 10 – hour light treatment was the most obvious among the 3 short-day photoperiod treatments. From the middle and lower part to the middle and top part of the plant, the number of fallen petal and fallen proportion of 12 – hour light treatment were the lowest, and in this part, the activity of cellulose, polygalacturonase, POD and SOD of 12 – hour light treatment was found to be significantly lower than the other treatments. From the middle part to middle top part of the plant, the contents of total nitrogen, total phosphorus, total potassium of 12 – hour light treatment was found to be significantly higher than the other treatments. In addition, the C/N of 12 – hour light treatment was found to be significantly lower than the other treatments.

**Key words** Adzuki bean; Short daylength photoperiod; Floral organ; Abscission; Physiological response