



不同生育阶段剪叶量对大豆品种南农 99-6 农艺和品质性状的影响

李剑桥, 张逢凯, 邢光南, 盖钧镒

(南京农业大学 大豆研究所/国家大豆改良中心/农业部大豆生物学与遗传育种重点实验室(综合)/作物遗传与种质创新国家重点实验室/江苏省现代作物生产协同创新中心, 江苏 南京 210095)

摘要:筛选大豆对叶片机械损失敏感的指标和时期,为评价大豆对食叶性害虫的耐虫性及制定虫害防治指标等提供参考。在大豆品种南农 99-6 不同生育阶段(V5、R1、R3、R5)进行不同程度(0%、16.7%、33.3%、50.0%、66.7%、83.3%和100%)的剪叶处理,测定农艺和品质性状,以探究不同生育阶段不同叶片损失程度对农艺和品质性状的影响。结果表明:(1)不同剪叶量处理间,单株产量、单株荚数、四粒荚数、三粒荚数、二粒荚数和株高差异达极显著水平,主茎节数、一粒荚数和百粒重差异达显著水平,有效分枝数、每荚粒数及蛋白质含量和油脂含量没有显著差异;一粒荚、二粒荚、三粒荚和四粒荚的数量都有随剪叶量增加逐步减少的趋势。(2)平均单次33.3%及以上的叶片损失可导致单株荚数显著减少;50%及以上的叶片损失可导致单株产量显著降低;而100%叶片损失可导致百粒重显著降低。(3)不同生育期剪叶处理间百粒重、三粒荚数、单株荚数和单株产量差异达到或接近显著水平,而其它性状无显著差异。始荚期的叶片损失对单株荚数影响最大,而鼓粒始期的叶片损失对百粒重影响最大且同时影响单株荚数,因而R3和R5是叶片损失的敏感时期。(4)不同生育阶段与不同剪叶量间的互作对大豆农艺和品质性状的影响较小,都未达到显著水平。(5)该试验结果模拟了大豆受咀嚼式食叶性害虫危害的机械损伤影响,但不涉及取食时分泌唾液毒害和刺吸式口器害虫吸食的影响。(6)建议用虫害关键时期(R3)33.3%的剪叶量模拟咀嚼式食叶性害虫危害,以单株荚数损失率、百粒重损失率及单株产量损失率作为评价指标鉴定大豆的耐虫性。

关键词:大豆;食叶性害虫;剪叶量;生育阶段;农艺性状;品质性状

Influence of Different Defoliation Rates at Different Growth Stages to Agronomic and Quality Traits of Soybean Cultivar NN99-6

LI Jian-qiao, ZHANG Feng-kai, XING Guang-nan, GAI Jun-yi

(Soybean Research Institute of Nanjing Agricultural University/ National Center for Soybean Improvement/ Key Laboratory for Biology and Genetic Improvement of Soybean (General), Ministry of Agriculture/ National Key Laboratory for Crop Genetic and Germplasm Enhancement/ Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production, Nanjing 210095, China)

Abstract: To provide a reference for evaluating soybean tolerance against leaf-feeding insects and formulating pest control indicators, indicators and periods sensitive to mechanical loss of the blade are screened. The effects of different defoliation rates (0%, 16.7%, 33.3%, 50.0%, 66.7%, 83.3% and 100%) at different growth stages (V5, R1, R3, R5) on soybean cultivar NN99-6 were evaluated to explore their influences to agronomic and quality traits. (i) Highly significant differences were found among different defoliation rates for pod number per plant, seed yield per plant, plant height and for number of two-, three- and four-seed pods, significant differences were found for number of nodes on main stem, number of one-seed pods and 100-seed weight, while there were no significant differences among effective branch number, seeds number per pod, protein and oil content. The number of one-, two-, three- and four-seed pods decreased gradually along with the increase of defoliation rates. (ii) On average, a 33.3% and above defoliation could lead to a significant reduction in pod number per plant, a 50% and above defoliation could lead to a significant decrease in seed yield per plant, while a 100% defoliation could result in a significant decrease in 100-seed weight. (iii) Among different defoliation stages, there showed significant or approximately significant differences for 100-seed weight, three-seed pod number, pod number per plant and seed yield per plant, while no significant difference was found for other traits. Defoliation at beginning podding stage (R3) caused greatest influences on pod number per plant. While defoliation at the beginning of seed development stage (R5) caused the greatest influence on 100-seed weight and significant influenced on pod number per plant. Therefore, R3 and R5 were critical periods of leaf loss. (iv) The interactions between defoliation stages and defoliation rates showed a little influence on agronomic and quality traits, and did not reach a significant level. (v) This experiment simulated the mechanical damage of soybeans caused by leaf-chewing insects, but did not involve the effects due to saliva poisoning through feeding and sucking by phloem-sucking insects. (vi) It is suggested that 33.3% defoliation rate can be used to simulate damage of leaf-chewing insects at R3 stage which is a critical period for leaf-feeder damages, and the loss rate of pod number per plant, 100-seed weight and seed yield

收稿日期:2018-06-21

基金项目:国家重点研发计划项目子课题(2016YFD0100201-22);国家自然科学基金(31571694);中央高校基本科研业务费专项(KYT201801);长江学者和创新团队发展计划(PCSIRT_17R55);农业部公益性行业专项(201203026-4);教育部111项目(B08025);国家现代农业产业技术体系(CARS-04);江苏省优势学科建设工程专项;江苏省JCIC-MCP项目。

第一作者简介:李剑桥(1993-),男,硕士,主要从事大豆抗虫育种研究。E-mail:2015101136@njau.edu.cn。

通讯作者:邢光南(1980-),男,副教授,主要从事大豆抗虫育种研究。E-mail:xinggn@njau.edu.cn。

盖钧镒(1936-),男,教授,主要从事大豆种质资源与遗传育种研究。E-mail:sri@njau.edu.cn。

per plant can be used as indicators of tolerance to leaf-feeding insects.

Keywords: Soybean; Leaf feeding insect; Defoliation rate; Growth stage; Agronomic traits; Seed quality traits

叶片是植物进行光合作用的主要器官,对植株的生长、籽粒的形成和发育至关重要。自然界中许多生物和非生物因素均可引起植株叶片损失,如食叶性害虫和叶部病害等生物因素以及干旱、水涝、冰雹、空气污染等非生物因素均可引起叶片破损或脱落,这必然影响叶片的光合作用,导致同化产物合成的减少,最终影响到作物的生长量、产量甚至品质。脱叶对大豆农艺性状和产量的影响已倍受关注,国内外学者在这方面进行了许多研究。Srinivasan 等^[1]研究表明适当减少大豆叶面积可以提高产量。不同生育期大豆叶面积损失对产量影响不同,生殖生长期叶片损失的影响要大于营养生长期,在大豆生长发育各时期叶面积损失率与产量损失率均呈正相关^[2]。大豆有补偿能力,植株处于营养生长阶段,叶片损失之后,植株有相当的补偿能力可继续生长出新的枝叶,使减产不显著^[3]。补偿作用在生命系统中是普遍存在的^[4-6],植物对植食性昆虫为害或损伤的补偿反应产生于不同的层次水平。大豆作为我国的主要经济作物,其虫害防治是避免产量损失的关键因素之一。

在现代大豆种植中,大豆虫害的防治对于保障大豆产量、提高种植户经济收入有着重要意义。通过田间大豆食叶性害虫普查和种群结构调查与分析,南京地区大豆食叶性害虫有鳞翅目、直翅目、鞘翅目、同翅目和半翅目的 21 个科 49 个种^[7]。咀嚼式口器的鳞翅目害虫发生量大、危害性大,是最重要的大豆食叶性害虫,其中豆卷叶螟、大造桥虫和斜纹夜蛾是该地区危害大豆的最重要虫种,应作为该地区抗虫育种的主要目标。咀嚼式口器的害虫,取食固体食物,产生明显的伤残、缺刻等,使叶片的光合作用面积缩小,从而阻滞了受害作物的正常生长、发育^[8]。不同学者已用不同方法处理叶片来模拟病虫害等不同因素对叶片造成的机械损伤,包括用纸打机孔 (paper punch) 等对叶片进行机械打孔^[9-11],剪掉所有或部分叶片的不同面积或形状的部分叶面^[12-14]以及摘除部分完整叶片^[14-15],从而评估叶片机械损失对植株生理、生长和产量的影响,为制定叶部病虫害防治指标提供依据,为抗病虫育种提供参考。本文通过在不同生育阶段不同程度的剪叶模拟咀嚼式口器的食叶性害虫等因素引起的不同程度的大豆叶片损失,评估其不同生育阶段对大豆农艺和品质性状的影响,从而为筛选对叶片机械损失敏感的指标和时期及大豆耐食叶性害

虫评价提供依据,为制定病虫害防治时期、指标及大豆的科学管理、生态栽培等提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为长江中下游大豆主推品种南农 99-6,由南京农业大学国家大豆改良中心提供。

1.2 试验设计

2016 年 6 月 23 日播种,出苗后进行间苗、定苗和除草等田间日常工作。试验为裂区设计,设置 3 个区组 I、II、III;主区为不同生育阶段剪叶,设置 4 个水平分别为 V5、R1、R3、R5;副区为剪叶量,设置 7 个水平,分别为剪去 0%、16.7%、33.3%、50.0%、66.7%、83.3% 和 100% 的叶片,分别用 D0、D1、D2、D3、D4、D5 和 D6 表示(图 1)。每个处理一行,行长 2 m、每行剪叶处理 20 株,行距 1 m 以避免行与行之间的边际效应。植株处于 V5 期时,进行第一次剪叶,将 3 个区组中 V5 主区的 7 个副区共 21 行植株每行按所处的处理分别进行剪叶处理,剪叶处理作用于植株全部复叶。同理,分别在 R1、R3、R5 期进行相应的剪叶处理。



D0 没剪叶为对照,D1、D2、D3、D4、D5 和 D6 依次分别剪去 16.7%、33.3%、50.0%、66.7%、83.3% 和 100% 的叶片。

D0 means no defoliation as control, D1, D2, D3, D4, D5 and D6 means 16.7%, 33.3%, 50.0%, 66.7%, 83.3% and 100% defoliation rate, separately.

图 1 不同剪叶量处理示意图

Fig. 1 The schematic diagram of different defoliation rate

1.3 测定项目与方法

R8 期进行收获,取每行中长势相近的 10 株连根拔起,捆绑收获,用于考种。株高、主茎节数和有效分枝数等农艺性状测定方法参考邱丽娟等^[16]的方法。每株分别计数一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数,四者相加得单株荚数。根据“每荚粒数 = (1 × 一粒荚数 + 2 × 二粒荚数 + 3 × 三粒荚数

+4×四粒荚数)/单株荚数”计算每荚粒数。脱粒后计数总粒数,烘干后测量单株产量和百粒重。用谷物分析仪(FOSS 1241 Grain Analyzer)测定蛋白质含量和油脂含量,由于谷物分析仪测定需要数量较多的种子而收获的种子数较少,故将 3 个重复的种子合并用于测定不同生育期不同剪叶量下的蛋白质含量和油脂含量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SAS 9.4 软件进行数据整理和统计分析,方差分析采用 SAS 9.4 程序进行,主处理和副处理的各水平平均值的多重比较采用新复极差测验(SSR)($P < 0.05$),变量间的相关系数分析采用 SAS 9.4 的 CORR 过程。因每处理每个区组的种子量较少,将每处理 3 个区组的种子合并用于测定蛋白质含量和油脂含量,故蛋白质含量和油脂含量不能分析区组、区组与生育期互作及生育期与剪叶量互作的效应。不同生育期剪叶处理的新复极差测验将每个区组各生育期的 D0 取平均值作为对照,而各生育期的非 D0 处理取平均值作为该生育期的剪叶处理,以分析不同生育期剪叶处理的效应。

2 结果与分析

2.1 不同剪叶量对农艺和品质性状的影响

方差分析结果表明株高、二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数、单株荚数和单株产量在不同剪叶量间差异达极显著水平,主茎节数、一粒荚数和百粒重在不同剪叶量间差异达显著水平,有效分枝数、每荚粒数、蛋白质含量和油脂含量在不同剪叶量间差异未达到显著水平(表 1),说明剪叶导致的叶片面积损失对单株产量、单株荚数、四粒荚数、三粒荚数、二粒荚数和株高影响较大,对主茎节数、一粒荚数和百粒重有一定影响,对有效分枝数、每荚粒数、蛋白质含量和油脂含量没有影响。

根据一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数和四粒荚数在不同剪叶量间的变化趋势,可以发现随着剪叶量的逐步增加,一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数和四粒荚数的变化总体趋势都是不断减少,而并不是出现一粒荚数和二粒荚数增多、三粒荚数和四粒荚数减少的现象,故每荚粒数没有显著变化。由于一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数和四粒荚数变化趋势一致,故后续分析使用单株荚数作为代表。

表 1 不同生育期不同剪叶量下农艺和品质性状的方差分析

变异来源 Variation source						
性状 Trait	区组 Block	生育期 Growth stage	区组×生育期 Block×Growth stage E _a	剪叶量 Defoliation rate	生育期×剪叶量 Growth stage×Defoliation rate	误差 E _b
株高 PH/cm	57.30/0.70	134.70/ 1.60	86.70	78.10/ 5.60**	8.90/0.60	13.90
有效分枝数 EBN	1.60/1.30	0.90/ 0.70	1.30	0.60/ 2.10	0.50/1.70	0.30
主茎节数 NMS	4.30/9.60*	1.80/ 4.00	0.50	2.00/ 2.50*	0.40/0.50	0.80
一粒荚数 P1	1.80/0.20	0.10/ 0.01	8.50	2.00/ 2.70*	0.50/0.70	0.80
二粒荚数 P2	4.20/1.20	7.20/ 2.10	3.50	21.80/10.60**	1.50/0.80	2.10
三粒荚数 P3	54.90/6.60*	40.10/ 4.80*	8.30	156.60/19.60**	9.40/1.20	8.00
四粒荚数 P4	4.00/0.60	2.60/ 0.40	6.40	9.70/16.10**	0.80/1.30	0.60
单株荚数 PP	115.80/4.60	102.30/ 4.00	25.40	455.80/27.30**	23.20/1.40	16.70
每荚粒数 SNP	0.10/1.90	0.15/ 2.90	0.05	0.05/ 1.20	0.05/1.10	0.04
百粒重 HSW/g	2.90/9.70*	7.00/23.40**	0.30	1.80/ 3.20*	1.70/2.90	0.60
单株产量 YP/g	4.76/4.10	4.90/ 4.20	1.16	35.70/20.40**	3.30/1.90	175.10
蛋白质含量 PC/%		0.53/ 2.10		0.02/ 0.08		0.25
油脂含量 OC/%		0.45/ 2.60		0.18/ 1.06		0.17

PH、EBN、NMS、P1、P2、P3、P4、PP、SNP、HSW、YP、PC 和 OC 分别是株高、有效分枝数、主茎节数、一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数、单株荚数、每荚粒数、百粒重、单株产量、蛋白质含量和油脂含量的缩写代码,下同。数据以“均方/F 值”格式表示;无“/”表示的即为均方。*,** 分别代表 0.05 和 0.01 的显著水平。

PH: Plant height; EBN: Effective branch number; NMS: Nodes number on main stem; P1: The number of one-seed pods; P2: The number of two-seed pods; P3: The number of three-seed pods; P4: The number of four-seed pods; PP: Pod number per plant; SNP: Seeds number per pod; HSW: 100-seed weight; YP: Seed yield per plant; PC: Protein content; OC: Oil content. The same below. Data is expressed in the“mean square/ F value” format, no “/” indicates the mean square. * and ** represent significance at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

新复极差测验(表2)表明,在不同剪叶量间差异极显著的性状中,D0与D1~D3之间株高无显著差异,与D4~D6之间均差异显著,当剪叶量达到66.7%~100%时,与对照相比株高分别减少了8.1%~10.5%;D0与D1、D2之间二粒荚数无显著差异,与D3~D6差异显著,当剪叶量达到50.0%~100%时,与对照相比二粒荚数分别减少了22.5%~52.1%;D0与D1之间三粒荚数无显著差异,与D2~D6差异显著,当剪叶量达到33.3%~100%时,与对照相比三粒荚数分别减少了13.8%~52.9%;D0与D1之间四粒荚数无显著差异,与D2~D6差异显著,当剪叶量达到33.3%~100%时,与对照相比四粒荚数分别减少了19.5%~61.0%;D0与D1之间单株荚数无显著差异,与D2~D6差异显著,当剪叶量达到33.3%~100%时,与对照相比单株荚数分别减少了13.7%~54.5%。D0与D1、D2之间单株产量无显著差异,与D3~D6差异显著,当剪叶量达到50.0%~100%时,与对照相比单株产量分别减少了14.7%~59.8%。

在差异显著的性状中,D0与D1~D4之间主茎节数无显著差异,与D5和D6差异显著,当剪叶量

达到83.3%和100%时,与对照相比主茎节数分别减少了5.3%和4.9%。D0与D1~D5之间百粒重无显著差异,与D6差异显著,当剪叶量达到100%时,与对照相比百粒重减少了6.5%。D0与剪叶处理之间一粒荚数无显著差异,但D1、D2与D6差异显著,即剪叶量小时一粒荚数增加,而剪叶量大时一粒荚数减少。

剪叶对有效分枝数、每荚粒数、蛋白质含量和油脂含量均无显著影响。从产量相关性状的D6处理相比D0处理的减少量可以看出,剪叶处理对豆荚数的影响最大。在差异极显著的性状中,三粒荚数、四粒荚数和单株荚数是在D2(剪叶33.3%)开始出现显著差异,其余如单株产量和株高等均在D3、D4之后方才出现显著差异,即对大多数性状来说,D1与D2(即少量的叶片损失)对性状基本没有影响,这也说明与其他性状相比,剪叶对豆荚数的影响是最大的。总之,二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数、单株荚数、单株产量和株高对剪叶处理较为敏感,主茎节数、一粒荚数、和百粒重对剪叶处理敏感度稍弱,而有效分枝数、每荚粒数、蛋白质含量和油脂含量基本不受剪叶处理的影响。

表2 不同剪叶量对农艺和品质性状的影响
Table 2 The effect of different defoliation rate on agronomic and quality traits

性状 Traits	剪叶量 Defoliation rate						
	D0(0%)	D1(16.7%)	D2(33.3%)	D3(50.0%)	D4(66.7%)	D5(83.3%)	D6(100%)
株高 PH/cm	63.0 a	60.2(4.4) ab	61.7(2.1) a	62.0(1.6) a	57.9(8.1) bc	56.4(10.5) c	57.6(8.6) bc
有效分枝数 EBN	1.9 a	1.9(0) a	1.4(26.3) a	1.6(15.8) a	1.5(21.1) a	1.3(31.6) a	1.5(21.1) a
主茎节数 NMS	22.6 a	22.1(2.2) ab	22.1(2.2) ab	22.2(1.8) ab	21.9(3.1) ab	21.4(5.3) b	21.5(4.9) b
一粒荚数 P1	1.3 abc	1.6(-23.1) a	1.5(-15.4) ab	0.8(38.5) bc	1.1(15.4) abc	0.7(46.2) bc	0.6(53.9) c
二粒荚数 P2	7.1 a	6.4(9.9) ab	6.4(9.9) ab	5.5(22.5) bc	4.9(31.0) cd	4.2(40.8) de	3.4(52.1) e
三粒荚数 P3	18.9 a	18.5(1.6) ab	16.0(15.3) cd	16.3(13.8) bc	13.7(27.5) de	12.0(36.5) e	8.9(52.9) f
四粒荚数 P4	4.1 a	4.0(2.4) a	3.2(22.0) b	3.3(19.5) b	2.9(29.3) b	2.3(43.9) c	1.6(61.0) d
单株荚数 PP	31.4 a	30.5(2.9) a	27.1(13.7) b	25.9(17.5) bc	22.6(28.0) c	19.2(38.9) d	14.3(54.5) e
每荚粒数 SNP	1.9 a	1.9(0) a	1.9(0) a	1.9(0) a	1.8(5.3) a	1.9(0) a	1.7(10.5) a
百粒重 HSW/g	13.8 ab	13.5(2.2) abc	13.5(2.2) abc	14.1(-2.2) a	13.7(0.7) ab	13.2(4.3) bc	12.9(6.5) c
单株产量 YP/g	8.2 a	7.6(7.2) ab	7.1(13.5) ab	7.0(14.7) b	5.9(28.1) c	4.7(42.0) d	3.3(59.8) e
蛋白质含量 PC/%	40.6 a	40.7(0) a	40.6(0) a	40.6(0) a	40.7(0) a	40.6(0) a	40.7(0) a
油脂含量 OC/%	20.0 a	20.1(0) a	20.0(0) a	20.2(0) a	20.2(0) a	19.8(0) a	19.7(0) a

同一行不同小写字母表示剪叶量之间差异显著;粗体代表该性状中与对照D0存在显著差异的处理;括号中数字为与D0相比的损失率(%)。下同。

Different lowercase on the same line indicate significant differences among defoliation rate. Bold means the defoliation rate is significant difference with control D0 in the trait. Numbers in parentheses are loss rate compared to D0(%). The same below.

2.2 不同生育期剪叶对农艺和品质性状的影响

方差分析结果表明,百粒重在不同生育期剪叶间差异达极显著水平,三粒荚数在不同生育期剪叶间差异达显著水平,单株荚数和单株产量接近显著,而株高、有效分枝数、主茎节数、一粒荚数、二粒荚数、四粒荚数、每荚粒数、蛋白质含量和油脂含量在不同生育期剪叶间无显著差异,说明不同生育期剪叶对百粒重影响较大,对三粒荚数有显著影响,对单株荚数和单株产量有一定影响,而对株高、有效分枝数、主茎节数、一粒荚数、二粒荚数、四粒荚数、蛋白质含量和油脂含量等影响较小。

不同生育期剪叶下的农艺品质性状经新复极差测验(表 3)表明,R3 时剪叶导致三粒荚数最少,与 R1、V5 和 R5 时剪叶差异显著,且 4 个时期剪叶

都与对照差异显著,分别减少 37.0%、24.3%、19.0% 和 18.5%。单株荚数与三粒荚数类似,R3 时剪叶最少,与 R1、R5 和 V5 时剪叶差异显著,且 4 个时期剪叶都与对照差异显著。R5 时剪叶导致百粒重最小,与对照差异显著,减少 8.7%,而其它 3 个时期剪叶百粒重与对照无显著差异。R3 剪叶单株产量最低,R5 次之,且与生育前期 V5 和 R1 剪叶差异显著,4 个生育期剪叶都与对照不剪叶差异显著,即生育后期(R3 和 R5)剪叶对单株产量影响较大,而前期(V5 和 R1)较小。R3 是豆荚形成的关键时期,这一时期叶片损失会对单株荚数造成很大损失,R5 是鼓粒的关键时期,除对单株荚数造成一定损失外,还对百粒重造成较大损失,故 R3 和 R5 是大豆对剪叶的敏感时期。

表 3 大豆品种 NN 99-6 不同生育期剪叶处理下的农艺和品质性状

Table 3 The agronomic and quality traits of soybean cultivar NN 99-6 under defoliation at different growth stages					
性状 Traits	对照 D0	生育期 Growth stage			
		V5	R1	R3	R5
株高 PH/cm	63.0 a	56.3(10.6) a	58.4(7.3) a	60.0(4.8) a	62.8(0.3) a
分枝数 EBN	1.9 a	1.3(31.6) a	1.5(21.1) a	1.9(0) a	1.5(21.1) a
主茎节数 NMS	22.6 a	21.7(4.0) a	22.2(1.8) a	21.6(4.4) a	22.0(2.7) a
一粒荚数 P1	1.3 a	1.1(15.4) a	1.0(23.1) a	1.0(23.1) a	1.1(15.4) a
二粒荚数 P2	7.1 a	6.0(15.5) a	5.3(25.4) a	4.4(38.0) a	4.9(31.0) a
三粒荚数 P3	18.9 a	15.3(19.0) b	14.3(24.3) b	11.9(37.0) c	15.4(18.5) b
四粒荚数 P4	4.1 a	3.0(26.8) a	3.2(22.0) a	2.4(41.5) a	3.0(26.8) a
单株荚数 PP	31.4 a	25.4(19.1) b	23.8(24.2) b	19.6(37.6) c	24.4(22.3) b
每荚粒数 SNP	1.9 a	1.8(5.3) a	2.0(−5.3) a	1.8(5.3) a	1.8(5.3) a
百粒重 HSW/g	13.8 ab	14.1(−2.2) a	13.8(0) ab	13.4(2.9) b	12.6(8.7) c
单株产量 YP/g	8.2 a	6.3(23.2) b	6.5(20.7) b	5.2(36.6) c	5.6(31.7) c
蛋白质含量 PC/%	40.6 a	41.0(−1.0) a	40.5(0.2) a	40.4(0.5) a	40.9(−0.7) a
油脂含量 OC/%	20.0 a	20.2(−1.0) a	20.2(−1.0) a	19.9(0.5) a	19.6(2.0) a

2.3 剪叶量与农艺、品质性状的相关分析

将不同生育阶段的剪叶量、农艺和品质性状合并进行相关分析,可以发现剪叶量与株高、主茎节数、一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数、单株荚数及单株产量的相关系数分别为 −0.56, −0.62, −0.63, −0.84, −0.84, −0.82, −0.87 和 −0.83, 都达极显著水平且都为负相关,与百粒重等其它性状相关不显著(表 4),说明叶片损失直接导致一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数减少,从而导致单株荚数减少和单株产量降低;单株产量与单株荚数的相关系数最高为 0.93,达到极显著水平,单

株产量与百粒重的相关系数为 0.42,达显著水平。这些都说明叶片损失造成的单株产量降低主要是由于单株荚数减少所致,百粒重也有一定影响。

2.4 生育期与剪叶量互作对农艺和品质性状的影响

不同生育阶段与不同剪叶量之间互作对大豆产量、农艺和品质性状的影响较小,都均未达到显著水平(表 1)。如单株荚数在不同生育阶段都是随着剪叶量增大而逐渐降低,趋势是相同的,R3 期较其它时期剪叶整体上单株荚数较少(图 2)。

表4 农艺、品质性状与剪叶量的相关分析

Table 4 Correlative analysis of agronomic, quality traits and defoliation rate

性状 Trait	剪叶量 Defoliation rate	株高 PH	主茎 节数 NMS	有效 分枝数 EBN	一粒 荚数 P1	二粒 荚数 P2	三粒 荚数 P3	四粒 荚数 P4	单株 荚数 PP	每荚 粒数 SNP	百粒重 HSW	单株 产量 YP	蛋白质 含量 PC
株高 PH	-0.56 **												
主茎节数 NMS	-0.62 **	0.60 **											
有效分枝数 EBN	-0.36	0.37	0.34										
一粒荚数 P1	-0.63 **	0.26	0.43 *	0.31									
二粒荚数 P2	-0.84 **	0.33	0.64 **	0.21	0.72 **								
三粒荚数 P3	-0.84 **	0.53 **	0.61 **	0.16	0.64 **	0.88 **							
四粒荚数 P4	-0.82 **	0.48 **	0.72 **	0.30	0.70 **	0.82 **	0.88 **						
单株荚数 PP	-0.87 **	0.49 **	0.65 **	0.21	0.73 **	0.94 **	0.98 **	0.92 **					
每荚粒数 SNP	-0.30	0.14	0.21	0.13	0.15	0.37 *	0.33	0.31	0.34				
百粒重 HSW	-0.26	-0.27	0.19	-0.13	0.13	0.45 *	0.26	0.16	0.29	0.25			
单株产量 YP	-0.83 **	0.46 *	0.64 **	0.21	0.65 **	0.91 **	0.91 **	0.84 **	0.93 **	0.59 **	0.42 *		
蛋白质含量 PC	0.07	-0.16	0.04	-0.17	0.26	0.09	0.05	0.05	0.08	-0.49	0.11	-0.07	
油脂含量 OC	-0.26	-0.23	0.14	-0.15	0.13	0.34	0.34	0.31	0.34	0.05	0.54 **	0.32	-0.05

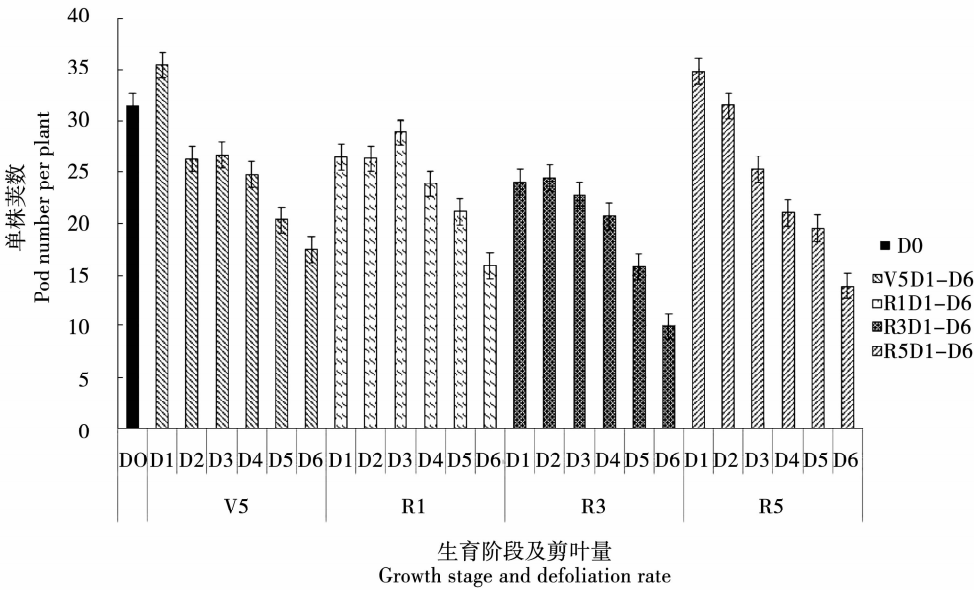


图2 不同生育阶段、不同剪叶量下南农 99-6 的单株荚数
Fig. 2 Pod number per plant of NN 99-6 at different growth stages with different defoliation rate

3 讨论

3.1 剪叶对大豆生长的影响

剪叶处理显著影响的大豆性状有单株荚数、单株产量、株高、主茎节数和百粒重,其中影响最显著的是单株荚数和单株产量,而对有效分枝数、每荚粒数、蛋白质含量和油脂含量影响不显著。说明剪叶引起的单株产量降低主要是由于单株荚数的降低,其次是通过百粒重的降低。在农林业生产中,林木或作物的一部分器官遭受害虫取食后并不一定引起减产,甚至在一定条件下还能增产,这种现象被称为补偿作用,或超越补偿作用^[17]。植物补偿作用是植物对环境变化的一种适应性^[18]。本研究

结果表明,少量的剪叶(16.7%)对农艺和品质都无显著影响,但当剪叶量大于50%时,株高、二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数、单株荚数及单株产量均显著降低。由此可见大豆在受害的情况下具有一定的补偿能力,但不具有超补偿能力,这与 Goto 等^[19]研究结果相似。V5 期 100% 剪叶处理后,底部叶位由于没叶片结荚少而稀,而植株上部叶位由于能正常长出新叶,从而豆荚几乎能正常生长。R1 和 R3 期 100% 剪叶处理导致落花、落荚从而单株荚数显著减少。R5 期因荚已形成,100% 剪叶处理导致落荚及瘪荚多。本试验仅用了一个大豆品种且试验小区较小,还需扩大品种数及试验小区面积后进一步验证。

3.2 剪叶处理与害虫为害的差异

100% 剪叶的单株产量损失也仅为 50%, 其可能的原因是剪叶处理是一次性的, 剪叶过后还会长出新叶来进行补偿。而咀嚼式口器的害虫危害会持续一段时间, 会影响新叶长出, 即使新叶长出也会重新被取食, 从而会造成更严重的损失。

以人工剪叶模拟虫害, 有诸多难以克服的缺陷。一是人工剪叶产量损失总是随叶片损失率增长而增长, 而害虫为害随虫量增多, 个体间相互拮抗而逃逸, 产量损失逐步减缓直至稳定^[20]。这样, 高剪叶量处理的试验结果就难以真实反映虫害损失情况。二是剪叶面积均匀分摊给各叶, 而害虫为害往往集中在中上部功能最旺盛的几片叶上。三是人工剪叶模拟了咀嚼式口器食叶性害虫危害的机械损伤影响, 但不包含刺吸式口器害虫吸食及取食时分泌唾液毒害的影响。由于这些缺陷, 人工剪叶试验结果只具有一定的参考价值^[21], 剪叶处理还可增设连续多次剪叶, 以及只剪上部功能叶等处理, 以便更准确地模拟咀嚼式口器的害虫为害。

3.3 剪叶处理在大豆耐虫性评价中的应用

作物耐虫性是作物忍受物理和生物压力的遗传或获得性能力, 是作物凭借其生长繁殖机能的健壮, 在受到与感虫品种相同害虫的为害后, 表现出的具有忍受或补偿危害的能力^[22]。不同剪叶量处理就是模拟不同程度的害虫为害, 从结果可以看出在少量剪叶的处理下, 植株产量性状并没有发生显著变化, 但随着剪叶量的逐渐加重, 影响逐渐加大。因此评价大豆的耐虫性要选择合适的剪叶量, 太轻对植株生长没明显影响, 品种间没差异, 太重对植株生长影响严重且品种间差异小, 根据本试验结果建议以 33.3% ~ 50.0% 剪叶量为宜, 其中 33.3% 剪叶为仅剪去一个单叶, 操作方便且符合生产实际。实际生产中危害超过 33.3% 一般会使用化学防治, 危害不会进一步增加。在大豆不同生育期进行剪叶对其生长发育及单株产量也有明显的影响, 始荚期剪叶对大豆单株产量和单株荚数影响最大。因此始荚期是大豆对叶片损失的敏感期, 可在这一时期进行剪叶 33.3% 模拟咀嚼式食叶性害虫为害, 以单株荚数损失率、百粒重损失率及单株产量损失率作为评价指标鉴定大豆的耐虫性。

4 结 论

剪叶导致的叶片面积损失对单株产量、单株荚数、四粒荚数、三粒荚数、二粒荚数和株高影响较大, 对主茎节数、一粒荚数和百粒重有一定影响, 对有效分枝数、每荚粒数、蛋白质含量和油脂含量没有影响。随着剪叶量的逐步增加, 一粒荚数、二粒

荚数、三粒荚数和四粒荚数的变化总体趋势都是不断减少。不同生育期剪叶的百粒重差异较大, 三粒荚数差异显著, 单株荚数和单株产量差异明显, 而株高、有效分枝数、主茎节数、一粒荚数、二粒荚数、四粒荚数、蛋白质含量和油脂含量等差异较小。始荚期的叶片损失对单株荚数影响最大, 而鼓粒始期的叶片损失对百粒重影响最大且同时影响单株荚数, 因而 R3 和 R5 是大豆对叶片损失的敏感时期。不同生育阶段与不同剪叶量间的互作对大豆农艺和品质性状的影响较小, 都没达到显著水平。

参考文献

- [1] Srinivasan V, Kumar P, Long S P. Decreasing, not increasing, leaf area will raise crop yields under global atmospheric change [J]. *Global Change Biology*, 2016, 23(4): 1626-1635.
- [2] 齐灵子. 大豆食叶害虫危害损失预测模型的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013. (Qi L Z. Soybean defoliator hazard loss forecast model research [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2013.)
- [3] 王永锋, 郝聪慧, 马赛飞, 等. 大豆不同生育期去叶对其生长发育及产量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2003, 31(3): 440-442. (Wang Y F, Hao C H, Ma S F, et al. Effects of leaf removal on growth and yield of soybean at different growth stages [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2003, 31(3): 440-442.)
- [4] 许志春, 李凯, 李镇宇, 等. 油松对松毛虫危害的补偿机制研究[J]. *北京林业大学学报*, 1996, 18(1): 61-65. (Xu Z C, Li K, Li Z Y, et al. Compensative mechanism of Chinese pine damaged by pine caterpillars [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1996, 18(1): 61-65.)
- [5] 王志明, 刘国荣. 长白落叶松对叶部病虫害危害的补偿与超补偿效应的研究[J]. *林业科学研究*, 2006, 19(5): 625-628. (Wang Z M, Liu G R. The effects of compensation and extra compensation of *Larix olgensis* for needle pests injury [J]. *Forest Research*, 2006, 19(5): 625-628.)
- [6] 程忠方, 沈卫新, 朱明泉, 等. 水稻对二化螟害补偿作用的研究[J]. *浙江农业科学*, 1999(2): 90-92. (Cheng Z F, Shen W X, Zhu M Q, et al. Study on compensation of rice varieties to striped stem borer [J]. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 1999(2): 90-92.)
- [7] 崔章林, 盖钧镒, 吉东风, 等. 南京地区大豆食叶性害虫种类调查与分析[J]. *大豆科学*, 1997, 16(1): 13-21. (Cui Z L, Gai J Y, Ji D F, et al. A study on leaf-feeding insect species on soybeans in Nanjing area [J]. *Soybean Science*, 1997, 16(1): 13-21.)
- [8] 管致和. 农业昆虫学 第三章 害虫怎样危害农作物[J]. *植物保护*, 1982(3): 42-43. (Guan Z H. Agricultural entomology chapter III how pests harm crops [J]. *Plant Protection*, 1982, 8(3): 42-43.)
- [9] Flore J A, Irwin C. The influence of defoliation and leaf injury on leaf photosynthetic rate, diffusive resistance, and whole tree dry matter accumulation in apple [J]. *HortScience*, 1983, 18(1): 72.

[10] Boucher T J, Pfeiffer D G, Barden J A, et al. Effects of simulated insect injury on net photosynthesis of potted grapevines [J]. Hort-Science, 1987, 22(1): 927-928.

[11] Layne D R, Flore J A. Photosynthetic compensation to partial leaf area reduction in sour cherry [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(2): 279 - 286.

[12] 何学友, 蔡守平, 谢一青, 等. 不同叶面积损失对油茶产量及品质的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(5): 85 - 91. (He X Y, Cai S P, Xie Y Q, et al. Effects of partial leaf area reduction on yield and quality of *Camellia oleifera* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(5): 85 - 91.)

[13] Macedo T B, Peterson R K D, Dausz C L, et al. Photosynthetic responses of wheat, *Triticum aestivum* L., to defoliation patterns on individual leaves [J]. Environmental Entomology, 2007, 36(3): 602-608.

[14] Stacey D L. The effect of artificial defoliation on the yield of toma-to plants and its relevance to pest damage [J]. Journal of Horti-cultural Science, 1983, 58(1): 117-120.

[15] Yuan R, Alferez F, Kostenyuk I, et al. Partial defoliation can de-crease average leaf size but has little effect on orange tree growth, fruit yield and juice quality [J]. HortScience, 2005, 40(7): 2011-2015.

[16] 邱丽娟, 常汝镇, 刘章雄, 等. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006. (Qiu L Q, Chang N Z, Liu Z X, et al. Descriptors and data standard for soybean [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.)

[17] 李媛媛, 张凯, 李霜雯, 等. 失叶率对小黑杨和兴安剪叶松幼
苗生物量和叶绿素含量的影响[J]. 林业科学, 2015, 51(3): 93-101. (Li Y Y, Zhang K, Li S W, et al. Effects of defoliations on the chlorophyll contents and biomass of the poplar (*Populus si-monii* × *P. nigra*) and *Larix gmelinii* seedlings [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(3): 93-101.)

[18] 胡展育. 植物受虫害后的补偿作用[J]. 文山学院学报, 2007, 20(4): 106-109. (Hu Z Y. Compensatory effect of plant after pest damage [J]. Journal of Wenshan Teachers College, 2007, 20(4): 106-109.)

[19] Goto H, Shimada H, Horak M J, et al. Characterization of natural and simulated herbivory on wild soybean (*Glycine soja* Seib. et Zucc.) for use in ecological risk assessment of insect protected soybean [J]. Plos One, 2016, 11(3): e0151237.

[20] Johnson A W. Variations in flue-cured tobacco losses from differ-ent tobacco budworm infestation levels [J]. Journal of Economic Entomology, 1975, 68(3): 418-420.

[21] 陈永年, 马骏, 袁哲明, 等. 春甘蓝外叶和球叶损失对产量的影响及主要食叶害虫防治行动阈值[J]. 湖南农业大学学报 (自科版), 2002, 28(4): 308-313. (Chen Y N, Ma J, Yuan Z M, et al. Study on the influence of artificial defoliation on the yield of common cabbage and the action thresholds for main leaf-mass consuming insect [J]. Journal of Hunan Agricultural Univer-sity (Natural Sciences), 2002, 28(4): 308-313.)

[22] 王茜, 刘荣堂, 胡桂馨, 等. 牛角花齿蓟马为害对苜蓿株高和分枝的影响[J]. 草原与草坪, 2008(4): 39-41. (Wang Q, Liu R T, Hu G X, et al. Effects of *Odontothrips loti* damages on alfalfa height and branch [J]. Grassland and Turf, 2008(4): 39-41.)

欢迎订阅 2019 年《北方园艺》

中文核心期刊(1992 - 2014)

中国农业核心期刊

美国化学文摘社(CAS)收录期刊

2015、2016 年期刊数字影响力 100 强

《北方园艺》是由黑龙江省农业科学院主管,黑龙江省园艺学会、黑龙江省农业科学院主办的园艺类综合性学术期刊。创刊以来,《北方园艺》始终与时代同频,策划新栏目,报道行业热点,不断推出具有创新价值、学术价值和实用价值的科研成果,在全国园艺类核心期刊中排名第四;在新时代背景下,《北方园艺》积极推动传统媒体与新兴媒体的融合发展,探索新型出版模式,设有专属投稿网站和微信公众号,学术传播力不断提升。

为增加文章的可读性和更好的体现研究成果,本刊增加了内文和封二新品种彩版宣传;作者也可将团队试验成果以音视频形式在本刊微信公众号传播,具体事宜联系编辑部。

栏目设置: 研究论文、研究简报、设施园艺、园林花卉、资源环境生态、贮藏加工检测、中草药、食用菌、专题综述、产业论坛、农业信息技术、农业经济、农业经纬、实用技术、新品种(彩版封二)。

国际标准刊号:ISSN 1001 - 0009 **国内统一刊号:**CN 23 - 1247/S

邮发代号:14 - 150

半月刊 每月 15、30 日出版 单价:15.00 元 全年:360.00 元

全国各地邮局均可订阅,或直接向编辑部汇款订阅。

投稿网址:www. haasep. cn

地址:黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部

邮编:150086

电话:0451 - 86674276

信箱:bfyybjb@ 163. com

