植物营养与肥料学报 2012,18(2):433-443
Plant Nutrition and Fertilizer Science

尿素增强烯草酮胁迫下紫苏幼苗耐性的研究

张谨华[1,2],郭平毅[1*],原向阳[1],王 鑫[1,3],温银元[1],张红刚[1]
(1 山西农业大学农学院,山西太谷 030801;2 晋中学院生物科学与技术学院,山西榆次 030600;
3 太原市星火技术发展中心,山西太原 030009)

摘要:为探讨烯草酮与尿素处理对紫苏生长的影响,阐明尿素对紫苏在烯草酮胁迫下耐性的调节效应。采用随机区组试验设计,在紫苏六叶期喷施不同浓度的尿素(0、1、2、4 和 8 g/L)和 24%烯草酮乳油(0、0.67、1.33、2.66 和 3.99 mL/L),分析其对紫苏生长、光合特性、抗逆性指标、杂草防效和产量的影响。结果表明,烯草酮抑制紫苏幼苗生长,降低光合特性,使丙二醛积累增加,超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性随其浓度的增加呈先上升后下降趋势;而 1～4 g/L 浓度的尿素处理则促进生长,并提高了光合特性;8 g/L 的尿素处理效果相反。1～4 g/L 的尿素和不同浓度的烯草酮先后处理,比单施烯草酮处理的效果好,A 组(先喷施尿素后喷施烯草酮)的 C1N3(4 g/L 尿素,0.67 mL/L 烯草酮)处理可使现蕾期产量和子粒产量比单独施用烯草酮增产 13.94%和 10.54%,杂草株防效提高 11%。表明在紫苏六叶期先喷施 4 g/L 的尿素再喷施 0.67 mL/L 的烯草酮,能显著提高紫苏幼苗在烯草酮胁迫下的耐性,提高幼苗净光合速率,促进植株生长,这些效应与其提高抗氧化酶活性有关;该施药模式具有提高杂草防效,安全高产等特点,有较高的推广价值。

关键词:紫苏;烯草酮;尿素;胁迫;耐性
中图分类号:S567.01;S945.78　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2012)02-0433-11

Improvement of the tolerance of *Perilla frutescens* (L.) Britt. seedlings to clethodim stress by urea

ZHANG Jin-hua[1,2], GUO Ping-yi[1*], YUAN Xiang-yang[1], WANG Xin[1,3], WEN Yin-yuan[1], ZHANG Hong-gang[1]
(*1 Agronomy College, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China;*
2 College of Biology and Technology, Jinzhong University, Yuci, Shanxi 030600, China;
3 Taiyuan Xinghuo Technology Development Center, Taiyuan 030009, China)

Abstract: The effects of urea and clethodim on the growth, photosynthetic characteristic, resistance, weed control and yield of *Perilla frutescens* (L.) Britt. were studied by using the randomized block design experiment. *Perilla frutescens* (L.) Britt. seedlings at the six-leaf stage were treated with either different concentrations of urea (0, 1, 2, 4 and 8 g/L) or 24% clethodim EC (0, 0.67, 1.33, 2.66 and 3.99 mL/L) or their combinations. The results show that the seedling growth and photosynthetic characteristic are depressed, while the accumulation of malondialdehyde(MDA) is increased under the clethodim treatments. The activities of superoxide dismutase(SOD) and peroxidase(POD) are increased at first, and then decreased with the increase of clethodim level. The seedling growth and photosynthetic characteristic are improved under lower dosages of urea (1-4 g/L), but depressed under higher concentration of urea (8 g/L). Pre- and post-treatments with lower dosages of urea (1-4 g/L) and different concentrations of clethodim show better effects than the clethodim treatment without urea. Compared with the application of clethodim alone, the dry weight at the squaring stage, seed yield and weed control efficiency are increased as by 13.94%, 10.54% and 11%, respectively under the application of 4 g/L urea in combination of later application of 0.67 mL/L clethodim. These results indicate that *Perilla frutescens* (L.) Britt. seedling

收稿日期:2011-05-03　　**接受日期**:2011-12-18
基金项目:山西省科技攻关项目(20100321103);山西省回国留学人员重点科研资助项目(201004)资助。
作者简介:张谨华(1976—),女,山西交城人,博士研究生,副教授,主要从事作物化学调控与化学除草研究。E-mail:zhangjinhua211@126.com
*通讯作者 Tel:0354-6286938, E-mail:pyguo126@126.com

tolerance to clethodim stress is increased effectively. The growth and net photosynthetic rate (Pn) are improved through the increase of antioxidant enzymes when treated by 4 g/L urea first and then by 0.67 mL/L clethodim. This combination of urea and clethodium could improve the weed control effect, promote *Perilla frutescens* (L.) Britt. seedling growth and crop production, and exhibit great potentials for practical application.

Key words: *Perilla frutescens* (L.) Britt.; clethodim; urea; stress; tolerance

紫苏[*Perilla frutescens* (L.) Britt.]为唇形科紫苏属一年生草本植物,其嫩叶和嫩枝可食,具保护肝脏、降血脂、降血压、抑制血小板聚集、减少血栓形成、预防癌变、提高记忆力、抗炎、抗过敏及抗微生物等功效,是卫生部首批颁布的60种"药食同源"品种之一。目前市场缺口达60%,市场需求以每年10%递增[1]。紫苏性喜湿、耐荫怕涝、抗旱性差,属典型短日照植物。遮阳网覆盖栽培成本低,降温保湿防雨效果好,可多茬次、反季节生产移植,但单子叶恶性杂草危害严重。化学除草是紫苏生产中一项极其有效的技术措施。目前国内外正式登记使用于紫苏田的化学除草剂尚无报道,环己二酮(CHD)类高效选择性除草剂烯草酮,在生产上有较高的应用价值。然而,即使是常规剂量下的除草剂对作物来说也是一种胁迫[2],高浓度的除草剂更会产生药害,喷施氮肥可缓解除草剂对作物的药害[3],氮肥与除草剂合理配施,可使作物增产[4-9]。因此,研究烯草酮、尿素及互作对紫苏幼苗生长以及有关生理指标、产量等的影响,对增加种植紫苏的经济、社会和生态效益具有重要意义。国外对除草剂与尿素混用的研究多集中于除草效果及对小麦、水稻、玉米等作物产量的影响[4-6],对紫苏的研究较少。余柳青等[7]研究表明,除草剂丁草胺、除草醚、农得时和果尔与尿素混用,与单施尿素处理相比,可以获得较好的杂草防除效果并提高水稻产量。游明鸿等[8]研究发现,盖阔、速效和2,4-D丁酯分别与尿素混合喷施,可促进老芒麦分蘖形成、提高生长速度。王家官[9]等研究发现,二甲四氯与尿素混用可提高小麦光合速率及产量。目前对紫苏幼苗喷施尿素与烯草酮的安全性评价尚无研究报道。因尿素与烯草酮混合使用会降低药效,故本试验通过烯草酮与尿素施用次序处理分A、B两组实验,研究了尿素与烯草酮单用和先后配合施用对紫苏幼苗净光合速率(Pn)、胞间CO_2浓度(Ci)、叶绿素含量指数(CCI)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)、叶面积指数(LAI)及干重(DW)等的影响,并对紫苏田杂草防效、紫苏不同收获期产量进行了分析,为评价尿素与烯草酮先后施用对苗期紫苏的安全性,进一步探讨尿素增强紫苏幼苗耐性的作用机理奠定基础,以期为紫苏田推广应用尿素与烯草酮施用技术提供指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

紫苏种子、尿素由山西农业大学作物化学调控中心提供;烯草酮由日本住友化学上海有限公司提供[有效成分含量240 g/L,剂型为乳油(EC),英文通用名clethodim]。

1.2 试验设计

试验于2010年5月~2011年10月在山西农业大学试验田进行,试验地为黄土状母质上发育的碳酸盐褐土,水浇地。供试土壤的颗粒组成百分比为砂粒46.82%、粉粒35.69%、粘粒17.49%、耕层(0—20 cm)土壤有机质含量17.4 g/kg、全氮0.636 g/kg、速效磷6.69 mg/kg、速效钾185.2 mg/kg、pH值7.68。苗期用遮光45%的黑色遮阳网覆盖栽培,遮阳网距地面200 cm,以保证冠层通风条件良好及便于田间观测和取样。采用随机区组设计,小区面积为6 m^2(3 m×2 m),种植密度90000株/hm^2,每小区54株,3次重复,田间管理按传统栽培管理措施进行。

试验分为两组:于紫苏幼苗六叶期(栽后40~60 d),A组先用尿素叶面喷施,24 h后再喷施烯草酮;B组先喷施烯草酮,24 h后喷施尿素。

尿素设5个处理水平(g/L):0(N0)、1(N1)、2(N2)、4(N3)、8(N4);烯草酮设5个处理水平(mL/L):0(C0)、0.67(C1)、1.33(C2)、2.66(C3)、3.99(C4)。共25个处理组合。在紫苏幼苗6叶期,大田杂草以禾本科杂草(马唐、牛筋草、稗草等)为主,大部分处于2~6叶期。每小区喷施270 mL药液。3 d后测定叶片光合特性,4 d后取叶片进行生理生化分析;7 d后测叶面积指数(LAI)和干物质重(DW);40 d后测杂草防效;收获期测定产量。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 净光合速率(Pn)、胞间CO_2(Ci)和叶绿素含

量指数(CCI)的测定　Pn 和 Ci 采用便携式光合仪 CI - 340 (美国, CID) 测量, 入射光强为 1000 μmol/(m^2 · s) 、叶室温度为 25℃; CCI 用 SPAD - 250 (Opti-Sciences, Inc) 测定,选择晴朗的天气和受光良好的中部功能叶片(倒数第 2 对叶),每处理测定 3 株,每株重复 3 次。

1.3.2 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)含量的测定　取幼苗倒数第 2 对叶,于 -80℃冰箱保存待测。标准称取样品 0.1 g,置于研钵中,加入 1.5 mL 50 mmol/L 的磷酸缓冲液(pH 7.8)于冰浴上研磨,冷冻离心 15 min (12 000 ×g),取上清液供酶活性测定。SOD 采用氮蓝四唑(NBT)法[10];POD 采用愈创木酚法[10];MDA 采用硫代巴比妥酸法测定[10]。

1.3.3 除草效果的测定　每小区随机取 4 点,每点 0.25 m^2,分别记载点内杂草活株数。药前调查禾本科杂草基数,药后 40 d 调查禾草存活数,计算株防效。

株防效(%) = (空白对照区杂草株数 - 防治区杂草株数)/空白对照区杂草株数 ×100。

1.3.4 叶面积指数(LAI)的测定　采用叶面积仪 CI -203(美国,CID)测定紫苏叶面积,LAI = 绿叶总面积/占地面积。

1.3.5 幼苗干物质重(DW)的测定　7 d 后每个处理均随机选取 3 株的茎叶,置于烘箱中 105℃杀青 15 min,65℃恒温烘干至恒重,并用万分之一天平称重。

1.3.6 收获期产量的测定　紫苏叶和嫩苏梗的最佳采收期为紫苏现蕾期(8 月底),每个处理收割 3 个小区,将植株整株地上部分收割,阴干后,分别称重。各小区单收计产。紫苏子粒的最佳采收期为成熟期(10 月初),收获前 2 d 调查有效穗,每小区根据平均有效穗数取样考种,脱粒后晒干称重。

试验数据用 SAS 和 Microsoft Excel 软件进行显著性分析,Duncan 新复极差法多重比较。

2　结果与分析

2.1　尿素和烯草酮处理对紫苏幼苗光合特性指标的影响

表 1 看出,在 A、B 两组处理下,随烯草酮浓度的升高 CCI 和 Pn 呈显著下降趋势,不同烯草酮处理间差异极显著;随尿素浓度的增加 CCI 和 Pn 呈先上升后下降的趋势,N3 处达到高峰,处理之间差异极显著;尿素和烯草酮的交互作用对 Pn 的影响也达到极显著水平,但对 CCI 的影响不显著。说明先后喷施 1 ～4 g/L 浓度的尿素处理(N1 ～ N3)比单独施用烯草酮(N0)可增加紫苏幼苗的 CCI 和 Pn,但 8 g/L 浓度的尿素处理(N4)效果相反。在各烯草酮处理水平中均以 N3 处理(4 g/L 的尿素)时的 CCI 和 Pn 最大,烯草酮处理浓度越低其值越大。由表 1 还可看出,随烯草酮浓度的增加,紫苏幼苗的 Ci 呈缓慢上升趋势。经方差分析和多重比较可知,烯草酮处理对紫苏幼苗 Ci 的影响差异极显著。

2.2　尿素和烯草酮处理对紫苏幼苗抗逆性指标的影响

随烯草酮浓度的升高 SOD 活性呈先上升后下降的趋势(表 2),在 C1 处出现峰值,不同烯草酮处理间差异极显著;随尿素浓度的增加 SOD 活性也呈先上升后下降的趋势,在 N3 处达到高峰,尿素对 SOD 活性的影响极显著;尿素和烯草酮的交互作用对 SOD 活性的影响也达极显著水平。说明低浓度的烯草酮处理使紫苏幼苗的 SOD 活性增高,对外界不良环境条件的抵抗力增强,但随烯草酮浓度的上升,SOD 无法抵御和缓解药害,从而使其酶含量和活性开始下降;先后喷施 1 ～4 g/L 浓度的尿素处理(N1 ～ N3)比单独施用烯草酮 (N0)时可增加紫苏幼苗的 SOD 活性,但 8 g/L 浓度的尿素处理(N4)效果不显著。喷施 0.67 mL/L 烯草酮的处理 SOD 活性最大,在不同烯草酮水平处理中均以 4 g/L 尿素处理时的 SOD 活性最大。

表 2 显示,POD 活性随烯草酮浓度的增加呈先上升后下降的趋势,在 C3 处达到高峰,处理之间差异极显著;POD 活性随尿素处理浓度的增加而上升,处理之间差异极显著,不施尿素处理(N0)的 POD 值均低于其它施尿素处理,表明尿素增强了烯草酮处理下紫苏幼苗的 POD 活性;尿素与烯草酮的互作对 POD 活性的影响极显著。

MDA 含量随烯草酮浓度的增加而上升,处理之间差异极显著;随尿素浓度的增加 MDA 含量呈先下降后上升趋势,N3 处达最低,处理间差异极显著;A 组尿素与烯草酮的交互作用对 MDA 含量的影响差异显著,B 组不显著。4 g/L 浓度的尿素处理(N3)比单独施用烯草酮 (N0)时紫苏幼苗的 MDA 含量显著降低,不同的烯草酮处理水平均以 N3(4 g/L 尿素)时 MDA 最小,烯草酮浓度越低 MDA 含量越小。

表1 烯草酮和尿素处理对紫苏幼苗叶绿素含量指数、净光合速率和胞间 CO_2 浓度的影响

Table 1 Effects of clethodim and urea on CCI, Pn and Ci of *Perilla frutescens* (L.) Britt. seedlings

处理 Treat.	叶绿素含量指数 Chlorophyll content index		净光合速率 Pn [μmol/(m² · s)]		胞间 CO_2 浓度 Ci (μmol/mol)	
	A组 Group A	B组 Group B	A组 Group A	B组 Group B	A组 Group A	B组 Group B
C0N0	30.57 ± 1.67 cdef	30.57 ± 1.67 cde	10.23 ± 0.32 e	10.23 ± 0.32 d	405.97 ± 12.31 cde	405.97 ± 12.31 d
C0N1	32.33 ± 1.91 bc	32.77 ± 1.90 bc	12.30 ± 0.44 c	11.40 ± 0.48 c	404.63 ± 10.58 de	410.03 ± 8.48 bcd
C0N2	34.37 ± 1.70 b	36.87 ± 1.92 a	15.62 ± 1.30 b	16.03 ± 0.21 a	404.97 ± 9.053 cde	407.87 ± 4.91 cd
C0N3	36.90 ± 1.57 a	37.57 ± 1.75 a	16.76 ± 0.83 a	16.52 ± 0.68 a	406.03 ± 9.38 cde	409.03 ± 6.70 bcd
C0N4	26.77 ± 1.55 hij	25.53 ± 1.11 ghi	6.27 ± 0.21 k	6.65 ± 0.22 h	402.17 ± 8.77 e	405.03 ± 5.80 d
C1N0	29.07 ± 0.40 efgh	28.87 ± 1.05 def	9.65 ± 0.12 ef	9.25 ± 0.59 e	425.57 ± 8.57 abcde	430.53 ± 9.39 abcd
C1N1	29.37 ± 1.90 defg	30.23 ± 1.55 de	10.27 ± 0.44 e	10.23 ± 0.49 d	413.73 ± 12.18 bcde	434.13 ± 50.93 abcd
C1N2	31.23 ± 1.65 cde	32.73 ± 1.35 bc	12.51 ± 0.52 c	11.77 ± 0.59 c	414.17 ± 5.92 bcde	426.57 ± 19.65 abcd
C1N3	32.70 ± 0.80 bc	34.07 ± 1.36 b	12.87 ± 0.59 c	13.03 ± 0.84 b	424.57 ± 23.92 abcde	423.13 ± 27.70 abcd
C1N4	24.27 ± 0.57 kl	24.77 ± 0.70 i	5.36 ± 0.22 l	5.71 ± 0.11 i	419.97 ± 12.80 abcde	422.07 ± 14.10 abcd
C2N0	25.77 ± 1.46 ijk	25.4 ± 1.30 hi	8.94 ± 0.08 fg	8.45 ± 0.28 f	441.60 ± 4.66 abcde	445.37 ± 11.06 abcd
C2N1	28.23 ± 1.55 fgh	27.73 ± 1.56 fg	9.33 ± 0.23 f	8.84 ± 0.24 ef	438.67 ± 28.90 abcde	443.37 ± 48.36 abcd
C2N2	29.46 ± 1.35 defg	29.13 ± 1.35 def	11.08 ± 0.29 d	10.13 ± 0.19 d	442.37 ± 43.62 abcde	446.37 ± 47.32 abcd
C2N3	31.53 ± 2.63 cd	31.03 ± 1.35 cd	11.33 ± 0.60 d	10.71 ± 0.34 d	436.10 ± 45.70 abcde	446.03 ± 47.71 abcd
C2N4	22.07 ± 1.25 lmn	23.67 ± 1.10 ij	4.54 ± 0.06 m	4.65 ± 0.12 j	430.53 ± 28.08 abcde	447.03 ± 48.76 abcd
C3N0	23.73 ± 1.45 klm	23.47 ± 0.70 ij	6.91 ± 0.21 jk	6.49 ± 0.38 h	450.03 ± 4.54 abc	450.93 ± 6.21 abcd
C3N1	25.73 ± 1.45 ijk	25.73 ± 1.20 ghi	7.45 ± 0.64 ij	7.66 ± 0.34 g	443.93 ± 43.42 abcde	457.73 ± 16.44 abc
C3N2	28.83 ± 0.87 efgh	27.23 ± 1.41 fgh	8.51 ± 0.19 gh	8.66 ± 0.31 ef	445.50 ± 39.87 abcde	465.97 ± 12.90 a
C3N3	29.77 ± 0.06 defg	30.17 ± 2.60 de	9.04 ± 0.59 fg	9.03 ± 0.37 ef	448.73 ± 45.79 abcd	453.97 ± 45.45 abcd
C3N4	20.63 ± 0.83 no	20.57 ± 1.60 kl	4.03 ± 0.08 m	3.79 ± 0.28 k	451.53 ± 26.27 ab	451.70 ± 34.12 abcd
C4N0	21.53 ± 0.91 mno	20.23 ± 0.70 kl	6.18 ± 0.34 k	5.61 ± 0.22 i	454.43 ± 4.37 ab	460.13 ± 30.25 ab
C4N1	23.37 ± 2.80 klm	22.03 ± 1.75 jk	6. 50 ± 0.47 k	6.03 ± 0.25 hi	457.30 ± 24.95 ab	461.20 ± 51.66 a
C4N2	24.33 ± 1.15 jkl	23.67 ± 1.15 ij	7.38 ± 0.56 ij	7.36 ± 0.29 g	454.07 ± 42.48 ab	461.43 ± 29.08 a
C4N3	28.03 ± 1.75 ghi	28.37 ± 0.67 ef	7.86 ± 0.11 hi	7.77 ± 0.17 g	452.07 ± 41.11 ab	462.93 ± 39.73 a
C4N4	19.53 ± 0.40 o	19.27 ± 0.60 l	2.15 ± 0.07 n	2.85 ± 0.25 l	459.33 ± 37.43 a	462.23 ± 29.30 a
			F 值 *F* value			
C	401.59**	610.65**	77.02**	113.77**	8.54**	4.58**
N	530.44**	715.33**	81.89**	101.24**	0.04	0.12
C × N	0.64	1.76	12.81**	19.72**	0.06	0.57

注(Note)：同一列数据后不同的小写字母表示差异达到5%的显著水平 Values followed by different small letters in the same column are significant at the 5% level. ** 表示在0.01水平上差异显著 Indicated significant different at the 0.01 level.

表 2　烯草酮和尿素对紫苏幼苗 SOD、POD 活性和 MDA 含量的影响

Table 2　Effects of clethodim and urea on SOD, POD activities and MDA content of *Perilla frutescens* (L.) Britt. seedlings

处理 Treat.	SOD 活性 (U/mg, protein) SOD activity		POD 活性 (U/mg, protein) POD activity		MDA 含量(μmol/g, FW) MDA content	
	A 组 Group A	B 组 Group B	A 组 Group A	B 组 Group B	A 组 Group A	B 组 Group B
C0N0	269.43 ± 11.75 hijk	269.43 ± 11.75 fghij	12.83 ± 1.94 jklm	12.83 ± 1.94 mno	0.76 ± 0.06 hij	0.76 ± 0.06 ijk
C0N1	302.43 ± 10.37 defg	298.87 ± 10.11 de	13.59 ± 1.21 ijk	13.30 ± 0.95 klmn	0.71 ± 0.09 ijkl	0.73 ± 0.09 ijkl
C0N2	330.03 ± 17.60 abcd	313.53 ± 20.85 bcd	18.66 ± 1.43 fg	15.27 ± 1.09 hijk	0.67 ± 0.1 jkl	0.69 ± 0.03 jkl
C0N3	356.40 ± 18.20 a	346.77 ± 22.50 a	16.94 ± 2.06 gh	16.48 ± 0.77 ghi	0.51 ± 0.1 m	0.54 ± 0.15 m
C0N4	239.07 ± 22.60 lmn	240.17 ± 23.11 kl	21.75 ± 1.95 cde	20.53 ± 1.47 cd	1.04 ± 0.13 de	0.99 ± 0.18 efg
C1N0	295.67 ± 12.66 fgh	292.57 ± 6.87 defg	13.13 ± 0.58 jkl	13.03 ± 0.94 lmno	0.81 ± 0.04 ghij	0.83 ± 0.06 hij
C1N1	309.53 ± 8.69 defg	295.83 ± 25.08 def	13.83 ± 0.99 ijk	13.38 ± 1.22 klmn	0.76 ± 0.06 hijk	0.76 ± 0.04 ijk
C1N2	341.87 ± 25.61 abc	306.23 ± 14.59 de	18.05 ± 1.05 fg	17.78 ± 1.19 fg	0.71 ± 0.11 hijk	0.74 ± 0.11 ijk
C1N3	350.43 ± 20.15 ab	338.17 ± 19.50 ab	19.82 ± 1.05 ef	18.63 ± 1.17 def	0.56 ± 0.11 lm	0.59 ± 0.07 lm
C1N4	327.77 ± 14.56 bcde	336.57 ± 12.97 abc	22.17 ± 1.10 cd	20.13 ± 1.97 cde	1.01 ± 0.04 de	1.04 ± 0.09 def
C2N0	264.87 ± 10.14 ijkl	261.03 ± 11.26 hijkl	14.55 ± 0.73 ij	14.37 ± 1.41 jklm	0.86 ± 0.06 fgh	0.88 ± 0.11 ghi
C2N1	283.17 ± 14.47 ghi	254.97 ± 20.82 ijkl	15.57 ± 0.82 hi	14.93 ± 1.13 ijkl	0.82 ± 0.06 ghi	0.84 ± 0.08 hij
C2N2	301.33 ± 27.50 efg	281.33 ± 13.31 efghi	17.92 ± 1.19 fg	16.27 ± 1.36 ghij	0.77 ± 0.09 ghij	0.79 ± 0.05 ijk
C2N3	319.87 ± 17.80 cdef	309.37 ± 14.73 cd	21.75 ± 1.92 cde	20.75 ± 1.44 c	0.62 ± 0.09 klm	0.65 ± 0.04 klm
C2N4	272.23 ± 23.66 hij	287.37 ± 20.95 defgh	24.83 ± 1.19 b	23.60 ± 1.11 b	1.09 ± 0.06 cd	1.13 ± 0.07 cde
C3N0	207.83 ± 5.70 op	202.77 ± 5.90 mn	17.65 ± 1.88 gh	17.05 ± 1.53 fgh	0.98 ± 0.05 def	0.99 ± 0.12 efg
C3N1	244.93 ± 13.36 jklm	238.33 ± 21.45 l	18.59 ± 1.24 fg	17.65 ± 0.98 fg	0.91 ± 0.14 efg	0.95 ± 0.08 fgh
C3N2	251.63 ± 18.25 jkl	251.37 ± 20.00 jkl	20.94 ± 1.02 de	18.23 ± 1.09 efg	0.83 ± 0.07 ghi	0.86 ± 0.06 ghi
C3N3	241.23 ± 21.76 klm	267.53 ± 15.65 ghijk	23.75 ± 2.03 bc	21.13 ± 1.35 c	0.73 ± 0.07 hijk	0.77 ± 0.06 ijk
C3N4	187.13 ± 14.95 p	196.47 ± 17.97 mn	27.43 ± 1.12 a	26.43 ± 1.18 a	1.21 ± 0.14 bc	1.26 ± 0.14 bc
C4N0	194.03 ± 17.95 op	185.47 ± 12.25 mn	10.82 ± 1.01 m	9.26 ± 0.71 q	1.30 ± 0.09 b	1.31 ± 0.07 b
C4N1	210.73 ± 11.82 nop	200.93 ± 12.62 mn	11.36 ± 1.14 lm	9.87 ± 0.47 pq	1.32 ± 0.17 b	1.31 ± 0.12 b
C4N2	212.33 ± 18.34 nop	209.17 ± 16.57 mn	11.71 ± 0.70 klm	9.97 ± 0.82 pq	1.19 ± 0.10 bc	1.20 ± 0.06 bc
C4N3	217.13 ± 21.52 mno	210.63 ± 22.09 m	11.85 ± 0.53 klm	11.14 ± 1.06 opq	1.09 ± 0.10 cd	1.15 ± 0.12 cd
C4N4	185.45 ± 8.43 p	181.66 ± 6.62 n	12.57 ± 0.53 jklm	11.61 ± 0.96 nop	1.91 ± 0.07 a	1.89 ± 0.07 a
			F 值 *F* value			
C	129.63**	119.34**	118.24**	133.03**	124.31**	115.29**
N	29.07**	23**	91.37**	87.48**	78.76**	68.01**
C × N	3.00**	4.14**	4.92**	4.31**	2.11*	1.64

注(Note):同一列数据后不同的小写字母表示差异达到5%的显著水平 Values followed by different small letters in the same column are significant at the 5% level. *, ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著 Indicated significant different at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3 尿素和烯草酮处理对紫苏田禾本科杂草的防效

A组处理的株防效均高于B组处理,且表现为防效随烯草酮处理浓度(从0.67～3.99 mL/L)的增加而升高,不同烯草酮浓度处理之间对株防效的影响差异极显著;株防效随尿素浓度的增加而上升,处理之间差异极显著,单施尿素(C0)处理对禾本科杂草无防效,先后喷施1～8 g/L浓度的尿素处理对禾本科杂草的防效显著高于单施烯草酮处理(表3);尿素与烯草酮的交互作用对株防效的影响差异极显著,当烯草酮处理水平一定(C1、C2、C3、C4)时,杂草防效随尿素处理浓度的增加呈升高趋势,如A组的C1N3处理的株防效比单施烯草酮提高11%。说明尿素对烯草酮的抑草活性有增效作用,且喷施尿素处理的抑草活性随烯草酮浓度的增加其作用愈加明显。

表3 紫苏田除草效果

Table 3 Weed-control effect in *Perilla frutescens* (L.) Britt. fields

处理 Treatment	株防效 Weed-control effect (%)		处理 Treatment	株防效 Weed-control effect (%)	
	A组 Group A	B组 Group B		A组 Group A	B组 Group B
C0N0	0.00±0.00 o	0.00±0.00 o	C3N0	82.63±1.06 hi	81.87±1.66 hi
C0N1	0.00±0.00 o	0.00±0.00 o	C3N1	84.39±0.91 gh	83.60±1.11 gh
C0N2	0.00±0.00 o	0.00±0.00 o	C3N2	88.70±1.16 e	87.57±1.10 f
C0N3	0.00±0.00 o	0.00±0.00 o	C3N3	93.17±1.63 c	92.10±1.73 c
C0N4	0.00±0.00 o	0.00±0.00 o	C3N4	96.57±1.10 b	95.43±1.16 b
C1N0	72.48±0.93 n	71.38±0.88 n	C4N0	85.30±0.95 fg	84.90±0.72 g
C1N1	74.63±0.81 m	73.67±1.12 m	C4N1	89.27±1.40 e	88.43±1.42 ef
C1N2	77.66±0.95 kl	76.20±0.95 kl	C4N2	92.30±1.51 cd	90.83±1.62 cd
C1N3	80.45±1.58 j	79.13±1.32 j	C4N3	97.67±1.31 ab	96.30±0.85 b
C1N4	83.64±1.71 ghi	82.37±2.21 hi	C4N4	99.20±0.77 a	98.40±1.05 a
C2N0	76.30±0.90 lm	75.47±1.06 lm		*F*值 *F* value	
C2N1	78.57±0.96 k	77.60±0.56 jk	C	16775.40**	14857.80**
C2N2	82.36±0.90 i	81.30±1.20 i	N	212.64**	184.30**
C2N3	86.51±2.07 f	85.43±2.15 g	C×N	14.53**	12.51**
C2N4	90.56±1.77 de	89.70±1.41 de			

注(Note):同一列数据后不同的小写字母表示差异达到5%的显著水平 Values followed by different small letters in the same column are significant at the 5% level. **表示在0.01水平上差异显著 Indicated significant different at the 0.01 level, respectively.

2.4 尿素和烯草酮处理对紫苏幼苗生长和经济产量的影响

2.4.1 尿素、烯草酮对紫苏幼苗生长的影响 叶面积指数(LAI)、干重(DW)能直观反应作物的生长发育状况,是衡量植株吸收转化氮肥的重要指标。表4看出,紫苏幼苗的LAI、DW随烯草酮浓度的增加而下降,处理之间对LAI和DW的影响差异极显著;随尿素浓度的增加LAI、DW呈先上升后下降趋势,N3处理达到高峰,说明尿素浓度在1～4 g/L之间能促进紫苏幼苗的生长,但8 g/L浓度的尿素则抑制其生长,尿素对LAI和DW的影响达到了极显著水平。

A组的DW在C0、C1水平表现出N1处理显著高于N0处理,而B组表现出N1处理与N0处理间无显著差异。表明A组比B组处理效果明显。A组中尿素和烯草酮的互作对LAI、DW的影响极显著,B组中其互作对LAI的影响极显著,但对DW的影响不显著。在喷施烯草酮时,先后喷施1～4 g/L浓度尿素处理的LAI、DW均高于单施烯草酮处理,不同水平的烯草酮处理中均以4 g/L的尿素处理时LAI、DW最大,烯草酮浓度越小LAI、DW越大。

2.4.2 尿素和烯草酮处理对紫苏现蕾期产量(生物

表 4　烯草酮和尿素对紫苏幼苗叶面积指数和干重的影响

Table 4　Effects of clethodim and urea on leaf area index (LAI) and dry weight(DW) of *Perilla frutescens* (L.) Britt. seedlings

处理 Treatment	叶面积指数 LAI		干重 DW(g/plant)	
	A 组 Group A	B 组 Group B	A 组 Group A	B 组 Group B
C0N0	0.153 ± 0.010 de	0.153 ± 0.010 a	0.85 ± 0.01 fg	0.85 ± 0.01 de
C0N1	0.167 ± 0.008 cd	0.156 ± 0.011 cd	1.08 ± 0.05 d	1.05 ± 0.13 bc
C0N2	0.196 ± 0.014 b	0.186 ± 0.015 fgh	1.22 ± 0.02 c	1.18 ± 0.15 ab
C0N3	0.219 ± 0.009 a	0.207 ± 0.010 hij	1.37 ± 0.01 a	1.33 ± 0.05 a
C0N4	0.209 ± 0.003 ab	0.206 ± 0.003 lm	0.76 ± 0.02 ij	0.81 ± 0.04 def
C1N0	0.148 ± 0.008 efgh	0.146 ± 0.009 a	0.84 ± 0.01 fgh	0.82 ± 0.03 def
C1N1	0.152 ± 0.011 defg	0.146 ± 0.005 de	1.01 ± 0.08 e	0.80 ± 0.03 def
C1N2	0.197 ± 0.008 b	0.173 ± 0.009 fgh	1.16 ± 0.02 c	0.96 ± 0.12 cd
C1N3	0.223 ± 0.013 a	0.208 ± 0.012 ijk	1.30 ± 0.02 b	1.20 ± 0.04 ab
C1N4	0.110 ± 0.004 jkl	0.120 ± 0.005 m	0.71 ± 0.03 kl	0.72 ± 0.03 efg
C2N0	0.137 ± 0.019 ghi	0.131 ± 0.014 a	0.78 ± 0.03 hi	0.76 ± 0.02 efg
C2N1	0.137 ± 0.008 ghi	0.138 ± 0.011 ef	0.78 ± 0.09 hij	0.73 ± 0.02 efg
C2N2	0.175 ± 0.006 c	0.170 ± 0.005 gh	0.87 ± 0.02 f	0.81 ± 0.04 def
C2N3	0.202 ± 0.004 b	0.197 ± 0.006 ijkl	0.99 ± 0.01 e	0.88 ± 0.07 cde
C2N4	0.099 ± 0.005 kl	0.116 ± 0.010 m	0.62 ± 0.02 m	0.66 ± 0.07 fghi
C3N0	0.100 ± 0.009 kl	0.106 ± 0.010 ab	0.66 ± 0.02 lm	0.62 ± 0.04 ghi
C3N1	0.123 ± 0.011 ij	0.117 ± 0.011 fg	0.71 ± 0.03 jkl	0.67 ± 0.05 fghi
C3N2	0.136 ± 0.011 hi	0.140 ± 0.009 h	0.79 ± 0.05 ghi	0.72 ± 0.04 efg
C3N3	0.155 ± 0.009 de	0.143 ± 0.008 jkl	0.86 ± 0.03 f	0.82 ± 0.03 def
C3N4	0.084 ± 0.011 mn	0.096 ± 0.008 n	0.42 ± 0.03 o	0.43 ± 0.03 jk
C4N0	0.068 ± 0.011 no	0.063 ± 0.009 bc	0.53 ± 0.02 n	0.50 ± 0.04 ijk
C4N1	0.096 ± 0.006 lm	0.091 ± 0.005 fgh	0.59 ± 0.04 mn	0.54 ± 0.03 hij
C4N2	0.112 ± 0.012 jk	0.122 ± 0.012 hi	0.65 ± 0.02 lm	0.61 ± 0.06 ghi
C4N3	0.139 ± 0.006 fgh	0.134 ± 0.004 kl	0.77 ± 0.03 ij	0.71 ± 0.03 efgh
C4N4	0.059 ± 0.004 o	0.061 ± 0.005 n	0.33 ± 0.05 p	0.34 ± 0.05 k
		F 值 *F* value		
C	232.68**	206.32**	375.06**	55.21**
N	161.01**	119.35**	320.88**	31.40**
C × N	11.02**	9.23**	7.29**	1.24

注(Note): 同一列数据后不同的小写字母表示差异达到 5% 的显著水平 Values followed by different small letters in the same column are significant at the 5% level. ** 表示在 0.01 水平上差异显著 Indicated significant different at the 0.01 level, respectively.

量)和成熟期子粒产量的影响　紫苏产量随烯草酮浓度的增加呈先上升后下降趋势,C1 处达到高峰,烯草酮对现蕾期产量和子粒产量的影响差异极显著;随尿素浓度的增加紫苏产量呈先上升后下降趋

势,N3 处达到高峰,尿素对现蕾期产量和子粒产量的影响差异极显著;尿素和烯草酮互作对现蕾期产量和子粒产量的影响差异也极显著。在不同烯草酮水平下,先后喷施 4 g/L 尿素处理的产量均显著高于单用烯草酮处理(N0)。A、B 两组处理相比,A 组处理的总体产量要高于 B 组处理,A 组的 C1N3 处理的产量最高(表 5),现蕾期产量和子粒产量比单独施用烯草酮增产 13.94% 和 10.54%。

表 5 烯草酮和尿素互作对紫苏产量的影响

Table 5 Interaction of clethodim and urea on yield of *Perilla frutescens* (L.) Britt.

处理 Treatment	现蕾期产量(kg/hm²) Yield at squaring stage		子粒产量(kg/hm²) Seed yield	
	A 组 Group A	B 组 Group B	A 组 Group A	B 组 Group B
C0N0	3669.50 ± 36.51 hi	3663.42 ± 38.13 fg	1445.56 ± 26.89 fg	1444.89 ± 36.70 hi
C0N1	3695.83 ± 31.41 h	3693.42 ± 34.00 f	1457.98 ± 20.11 efg	1455.27 ± 25.01 gh
C0N2	3706.50 ± 38.01 h	3702.25 ± 37.56 f	1492.31 ± 10.46 de	1494.76 ± 18.06 fg
C0N3	3785.67 ± 26.34 g	3763.83 ± 35.51 e	1498.09 ± 12.44 de	1495.65 ± 19.98 fg
C0N4	3600.42 ± 36.71 jk	3603.08 ± 29.11 gh	1387.31 ± 24.77 h	1394.31 ± 22.22 j
C1N0	3877.92 ± 38.13 f	3855.92 ± 34.94 d	1586.77 ± 27.67 c	1576.56 ± 56.73 cd
C1N1	3975.50 ± 32.59 e	3936.08 ± 33.52 c	1615.27 ± 20.28 c	1604.20 ± 21.06 bc
C1N2	4136.42 ± 34.33 c	4072.67 ± 33.88 b	1666.86 ± 22.03 b	1635.16 ± 18.13 b
C1N3	4418.50 ± 36.02 a	4312.67 ± 34.66 a	1753.95 ± 26.55 a	1737.36 ± 17.43 a
C1N4	3809.25 ± 37.45 g	3784.42 ± 22.07 e	1471.70 ± 27.20 ef	1461.86 ± 22.44 gh
C2N0	3806.50 ± 38.01 g	3792.50 ± 36.40 e	1530.19 ± 25.39 d	1508.95 ± 16.69 ef
C2N1	3880.83 ± 37.38 f	3871.25 ± 39.42 d	1588.61 ± 21.87 c	1546.56 ± 19.46 de
C2N2	4037.75 ± 36.55 d	4025.83 ± 30.92 b	1654.52 ± 24.69 b	1631.50 ± 23.18 b
C2N3	4292.50 ± 36.19 b	4285.08 ± 30.68 a	1734.19 ± 22.40 a	1717.55 ± 37.50 a
C2N4	3659.83 ± 38.00 hij	3649.42 ± 40.20 fg	1443.24 ± 20.72 fg	1404.99 ± 14.74 ij
C3N0	3526.50 ± 33.35 lm	3521.83 ± 39.23 ij	1342.91 ± 23.33 ij	1308.65 ± 15.68 k
C3N1	3583.75 ± 30.77 kl	3571.75 ± 44.72 hi	1377.10 ± 33.82 hi	1323.96 ± 14.42 k
C3N2	3629.83 ± 38.66 ijk	3623.17 ± 39.78 gh	1423.82 ± 11.11 g	1394.25 ± 9.65 j
C3N3	3712.42 ± 27.66 h	3704.42 ± 26.27 f	1479.60 ± 17.60 ef	1431.31 ± 21.69 hij
C3N4	3477.67 ± 25.32 mn	3474.33 ± 24.11 jk	1332.99 ± 23.94 jk	1290.03 ± 14.19 k
C4N0	3371.50 ± 38.66 p	3365.83 ± 37.30 m	1177.85 ± 16.13 m	1140.64 ± 28.77 m
C4N1	3409.25 ± 45.91 op	3403.08 ± 30.59 lm	1206.30 ± 13.69 m	1181.20 ± 30.70 m
C4N2	3462.42 ± 47.18 no	3452.75 ± 38.70 kl	1245.72 ± 28.46 l	1235.72 ± 47.84 l
C4N3	3520.33 ± 21.98 mn	3513.67 ± 23.99 ij	1298.41 ± 18.02 k	1300.26 ± 13.85 k
C4N4	3277.75 ± 23.06 q	3271.42 ± 25.68 n	1072.07 ± 16.12 m	1040.75 ± 16.83 n
		F 值 *F* value		
C	806.65**	767.46**	868.85**	663.36**
N	256.79**	241.65**	195.20**	154.76**
C × N	19.84**	18.27**	6.29**	5.61**

注(Note):同一列数据后不同的小写字母表示差异达到 5% 的显著水平 Values followed by different small letters in the same column are significant at the 5% level. ** 表示在 0.01 水平上差异显著 Indicated significant different at the 0.01 level, respectively.

比较紫苏苗期和现蕾期处理对紫苏地上部分干重的影响,从表 4、表 5 可以看出,在烯草酮推荐剂量 0.67 mL/L 和 2 倍剂量 1.33 mL/L 处理时表现为前期(苗期)抑制紫苏生长,后期(现蕾期)促进紫苏生长。增施 4 g/L 浓度的尿素处理值最高,且显著高于单施烯草酮处理。表明增施 4 g/L 浓度的尿素对紫苏的安全性提高,增产效果最显著。

3　讨论

大部分除草剂正常使用时不会对作物造成较大的伤害,但会影响其生理代谢[11]。本试验表明烯草酮对紫苏幼苗的光合、生长有一定的抑制作用,随着使用浓度(0.67 ～3.99 mL/L)的增加,处理植株的 Pn、CCI、LAI、DW 均呈下降趋势,推荐剂量 0.67 mL/L 时幼苗的 Pn 显著下降,此时烯草酮已明显抑制紫苏的光合作用,直接导致植株的 LAI、DW 缓慢降低。根据生物自由基伤害学说[12],在除草剂药害、盐等逆境胁迫下,细胞内活性氧的产生与清除平衡失调,从而使膜脂发生过氧化作用形成 MDA,破坏膜结构,使植物受到伤害。植物体内的抗氧化酶系统(如 SOD、POD 等)对清除活性氧、减轻氧化带来的损伤十分有效,SOD 和 POD 活性的改变可以间接反映环境中有毒有害物质的存在,是分子水平上预报有机毒物对生态系统危害的敏感生物标记物[13]。相关研究表明,紫苏幼苗的 POD 活性随盐胁迫的加重,表现为先增加后降低的趋势[14],MDA 积累随盐胁迫的加强[14]或低温胁迫时间的延长[15]表现为上升趋势;也有研究[16]表明,紫苏的 MDA 随干旱胁迫时间的延长变化不明显。本研究发现,随着烯草酮浓度的增加,MDA 积累增加,SOD、POD 酶活性呈先上升后下降趋势。这表明烯草酮对紫苏幼苗有一定的逆境胁迫或伤害。较低剂量处理使保护酶活性升高,说明轻度胁迫激发了紫苏体内保护酶系的活性来作出保护性反应。高剂量除草剂处理下保护酶活性的降低是由于过多活性氧或过氧化氢的积累[17],超过保护酶系的阈值,打破了彼此的动态平衡,从而导致酶光钝化、新酶合成被抑制[18]。

氮是提高叶片光合速率、维持叶绿素含量的重要矿质元素[19]。施氮可以明显抑制叶绿素降解,并使植物体内保护酶活性保持高水平,从而提高作物的 Pn[20]。尿素营养是调控植物生长及光合生产率,增强逆境胁迫下耐性的重要手段之一[21]。光合速率与供氮量的关系呈二次曲线型,供氮量或叶片含氮量达到一定值后,光合速率不再增加,叶片不能把捕获的光能较充分地利用于光合作用,反而增强了能量耗散[22-24]。本试验也得出了相似结果,即 1 ～4 g/L 浓度的尿素处理增加了 Pn、CCI、LAI、DW,减少了 MDA 积累,SOD、POD 活性保持高水平,且 4 g/L 处理效果显著;8 g/L 浓度的尿素处理效果相反;喷施 4 g/L 浓度尿素与不同浓度的烯草酮处理的紫苏幼苗 SOD、POD、CCI、Pn、LAI、DW 等均显著高于烯草酮单独处理,MDA 积累显著低于单施烯草酮。表明增施 4 g/L 尿素可显著提高紫苏幼苗在烯草酮胁迫下的 CCI,并通过增加或激活抗氧化酶系(SOD、POD 等)来防御活性氧物质对细胞造成的伤害,提高细胞膜的修复能力,缓解其质膜过氧化程度,从而提高植株 Pn,使细胞代谢水平提高,增强紫苏对逆境胁迫的耐性;尿素对紫苏幼苗在烯草酮胁迫下 Pn 的调控效应进而体现在对紫苏生长的调控,并最终影响紫苏的产量。从本试验结果看出,施氮量对紫苏现蕾期生物量和子粒产量的影响与对苗期净光合速率的影响规律基本相同,1 ～4 g/L浓度的尿素处理值高于单施烯草酮;8 g/L 浓度的尿素处理效果相反。

本试验发现,尿素对烯草酮的抑草活性有增效作用,且喷施尿素处理的抑草活性是随着烯草酮浓度的增加其增效作用愈加明显。这与郑纪慈等[25]对水稻除草药肥黄尿素的除草功能与氮肥增效作用的研究和游明鸿等[8]对苗期氮肥与除草剂混施对老芒麦生长及杂草影响的报道一致。本实验结果显示 Ci 仅在烯草酮处理时有显著差异,这与在一定范围内随氮素水平增加利于提高植株幼苗 Ci 的报道[26-27]不一致,这可能与本试验是在遮荫下进行有关。根据 Farquhar 和 Sharkey[28]的观点,当气孔导度与 Ci 同时下降时,光合速率下降主要是由气孔限制引起的,Pn 降低伴随 Ci 的升高时,光合作用的主要限制因素是非气孔因素。据此推断,本试验条件下 Pn 的降低是由非气孔因素引起的,也就是光合碳同化力不足,碳氮代谢失调引起的。这可能是叶肉细胞光合活性的下降造成的,如叶绿素含量降低、光合羧化酶 Rubisco 活性下降、光合电子传递活性降低等,具体原因和内在机理还有待进一步的研究。

4　结论

尿素、烯草酮不同施用次序处理对紫苏生长、生理、代谢有显著影响。A 组(先用尿素叶面喷施,24 h 后再喷施烯草酮)的 C1N3 处理的产量最高,且

先喷施4 g/L的尿素,能显著提高紫苏幼苗在除草剂烯草酮胁迫下的耐性,提高幼苗Pn,促进植株生长,这些效应与其提高抗氧化酶活性有关。在紫苏幼苗六叶期先喷施4 g/L的尿素再喷施0.67 mL/L的烯草酮的施药模式具有提高防效,安全高产等特点,有较高的推广价值。

参考文献:

[1] 丁乡. 发展紫苏产业正当时[J]. 北京农业, 2006, 6: 46.
Ding X. Development perilla industry just the right time[J]. Beijing Agric., 2006, 6: 46.

[2] 黄顶成, 尤民生, 侯有明, 李志胜. 化学除草剂对农田生物群落的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1451-1458.
Huang D C, You M S, Hou Y M, Li Z S. Effects of chemical herbicides on bio-communities in agroecosystem [J]. Acta Ecol. Sin., 2005, 25(6): 1451-1458.

[3] 张玉聚, 孙化田, 楚桂芬, 等. 除草剂安全使用与药害诊断原色图谱[M]. 北京: 金盾出版社, 2002. 186-187.
Zhang Y J, Sun H T, Chu G F *et al*. Safe use of herbicide and the primary colour atlas of its phytotoxicity diagnosis [M]. Beijing: Jindun Publishing House, 2002. 186-187.

[4] Liu Z J, Clay S A, Clay D E, Harper S S. Ammonia fertilizer influences atrazine adsorption-desorption characteristics [J]. J. Agric. Food. Chem., 1995, 43(3): 815-819.

[5] Liu Z J, Clay S A, Clay D E, Harper S S. Ammonia impacts on atrazine leaching through undisturbed soil columns[J]. J. Environ. Qual., 1995, 24(6): 1170-1173.

[6] Neera S. Organic manure and urea effect on metolachlor transport through packed soil column[J]. J. Environ. Qual., 2003, 32: 1743-1749.

[7] 余柳青, 朱永林, 吴林福, 等. 除草剂及尿素混剂对稻田氨化细菌的影响[J]. 中国水稻科学, 1997, 11(1): 44-46.
Yu L Q, Zhu Y L, Wu L F *et al*. Effect of herbicides and their mixture with urea on ammonifying bacteria in paddy field [J]. Chin. J. Rice Sci., 1997, 11(1): 44-46.

[8] 游明鸿, 刘金平, 白史且, 等. 苗期N肥与除草剂混施对老芒麦生长及杂草的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(5): 1559-1564.
You M H, Liu J P, Bai S Q *et al*. Effect of mixture of fertilizers and herbicides on growth of *Elymus sibiricus* L. and herbicide in seedling stage[J]. Southwest China J. Agric. Sci., 2010, 23(5): 1559-1564.

[9] 王家官, 王鑫. 二甲四氯与尿素混用对小麦光合速率及产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(9): 80-82.
Wang J G, Wang X. Effect of herbicides on yield and photosynthesis rate of wheat[J]. Anhui Agric. Sci. Bull., 2006, 12(9): 80-82.

[10] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
Zou Q. Techniques of plant physiological and biochemistry experiment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.

[11] 程遐年, 吴进才, 马飞. 褐飞虱: 研究与防治[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. 255-258.
Cheng X N, Wu J C, Ma F. Brown plant hopper: occurrence and control[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003. 255-258.

[12] Fridovich I. Superoxide dismutase[J]. Annu. Rev. Biochem., 1975, 44: 147-159.

[13] Banerjee B D, Seth V, Bhattacharya A *et al*. Biochemical effects of some pesticides on lipid peroxidation and free-radical scavengers[J]. Toxicol. Lett., 1999, 107: 33-47.

[14] 乔绍俊, 李会珍, 张志军, 张鑫. 盐胁迫对不同基因型紫苏种子萌发、幼苗生长和生理特征的影响[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(4): 499-502.
Qiao S J, Li H Z, Zhang Z J, Zhang X. Effect of salinty on seed germination, seedling growth and physiological changes in *Perilla frutescens* [J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 2009, 31(4): 499-502.

[15] 李赫男. 不同时间低温处理对紫苏抗逆性的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(35): 15313, 15315.
Li H N. Effect of low-temperature treatment with different time on the resistance of *Perilla frutescens* [J]. J. Anhui Agric. Sci., 2008, 36(35): 15313, 15315.

[16] 苟升学, 刘建民, 翟周平, 等. 干旱胁迫对香紫苏生理特性和光合特性的影响研究[J]. 现代生物医学进展, 2009, 9(10): 1869-1873.
Gou S X, Liu J M, Zhai Z P *et al*. Physiological and photosynthetic characteristics of *Salvia sclarea* L. leaves under drought stress[J]. Prog. Mod. Biomed., 2009, 9(10): 1869-1873.

[17] Dhindsa R S, Plumb-Dhindsa P, Thorpe T A. Leaf senescence: correlated with increased leaves of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase[J]. J. Exp. Bot., 1981, 32: 93-101.

[18] Dat J F, Lopez-Delgado H, Foyer C H, Scott I M. Parallel changes in H_2O_2 and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings [J]. Plant Physiol., 1998, 16: 1351-1357.

[19] 张旺锋, 王振林, 余松烈, 等. 氮肥对新疆高产棉花群体光合性能和产量形成的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(6): 789-796.
Zhang W F, Wang Z L, Yu S L *et al*. Effect of nitrogen on canopy photosynthesis and yield formation in high-yielding-cotton of Xinjiang[J]. Acta Agron. Sin., 2002, 28(6): 789-796.

[20] 勾玲, 闫洁, 韩春丽, 等. 氮肥对新疆棉花产量形成期叶片光合特性的调节效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 488-493.
Gou L, Yan J, Han C L *et al*. Effects of nitrogen rates on photosynthetic characteristics and yield of high-yielding cotton in Xinjiang[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(5): 488-493.

[21] 曹翠玲, 李生秀. 氮素形态对作物生理特性及生长的影响[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(5): 581-586.
Cao C L, Li S X. Effect of N form on crop physiological characteristics and growth[J]. J. Huazhong Agric. Univ., 2004, 23

(5): 581-586.

[22] Evans J R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestvum* L.) [J]. Plant Physiol., 1983, 72: 297-302.

[23] Morgan J A. Growth and canopy carbon dioxide exchange rate of spring wheat as affected by nitrogen status[J]. Crop Sci., 1988, 28(1): 95-100.

[24] Frederick J R, Camberato J J. Leaf net CO_2-exchange rate and associated leaf traits of winter wheat growth with various spring nitrogen fertilization rates[J]. Crop Sci., 1994, 34: 432-439.

[25] 郑纪慈, 王家玉, 李超英, 计小江. 水稻除草药肥黄尿素的除草功能与氮肥增效作用[J]. 浙江农业学报, 2000, 12(3): 151-156.
Zheng J C, Wang J Y, Li C Y, Ji X J. The weed-killing and N-fertilizer-efficiency-enhancing effect of "Yellow Urea" on rice [J]. Acta Agric. Zhejiangensis, 2000, 12(3): 151-156.

[26] 何立新, 何友军, 李少锋. 椿叶花椒幼苗施肥的生理特性响应[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(3): 26-32.
He L X, He Y J, Li S F. Physiological responses of *Zanthoxylum ailanthoides* plantlets to fertilization[J]. J. Centr. Univ. For. Technol., 2009, 29(3): 26-32.

[27] 黄长兵, 房伟民, 杨勇, 等. 不同水平和形态氮素供应对盆栽小菊外观品质和光合特性的影响[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(1): 45-50.
Huang C B, Fang W M, Yang Y *et al*. Effects of different nitrogen levels and forms on the appearance quality and photosynthesis characters of potted chrysanthemum with small inflorescences [J]. Acta Agric. Zhejiangensis, 2010, 22(1): 45-50.

[28] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annu. Rev. Plant Physiol., 1982, 33(1): 317-345.