

张治平, 张丽丽. 5-氨基乙酰丙酸对油菜幼苗抗冷性和抗氧化系统的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 52-55.

5-氨基乙酰丙酸对油菜幼苗抗冷性和抗氧化系统的影响

张治平¹, 张丽丽²

(1. 南京农业大学生命科学学院, 江苏南京 210095; 2. 江苏鼎泰药物研究有限公司, 江苏南京 211800)

摘要:以油菜品种沪油 15 为材料, 叶面喷施 30 mg/L 5-氨基乙酰丙酸(ALA)4 d, 再置于 4 ℃低温条件下处理 8 d, 分析测定了低温处理 0、4、8 d 及恢复 4 d 后光合色素含量及 SOD、CAT、APX、POD 等抗氧化酶活性、脯氨酸含量、超氧阴离子(O_2^-)生成速率及 MDA 含量等生理指标, 研究了 ALA 对油菜幼苗抗冷性的影响及作用机制。结果表明, 低温胁迫下, 喷施 ALA 明显缓解了油菜叶片叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)和总叶绿素(Chl)含量的下降程度, 增加了类胡萝卜素(Car)的含量, 显著提高了 SOD、CAT、APX 和 POD 的活性和脯氨酸的含量, 降低了 O_2^- 生成速率和 MDA 含量的上升幅度。低温胁迫时间越长, ALA 的作用效果越明显, 说明喷施 ALA 通过促进叶绿素的合成, 提高油菜植株的抗氧化能力, 降低活性氧的产生, 减少膜脂过氧化的伤害程度, 从而提高了油菜幼苗的抗冷性。另外, 喷施 ALA 可以促进油菜幼苗在受到低温伤害后迅速恢复。

关键词:油菜; 低温胁迫; 5-氨基乙酰丙酸; 叶绿素; 类胡萝卜素; 抗氧化酶; 脯氨酸

中图分类号: S634.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0052-03

油菜(*Brassica napus* L.)作为一种重要的油料作物, 种植极为广泛, 遍及世界各地, 我国油菜种植面积和产量均居世界第一位^[1]。油菜是越冬作物, 低温已经成为影响其正常生长的主要限制因子, 冬春季持续低温冻害极易引起油菜叶片变黄、干枯、花蕾脱落、开花而不结实, 一些严重冻害甚至可能造成整株死亡, 导致油菜绝收, 给油菜生产造成严重损失^[1-2]。因此, 提高油菜的耐低温能力越来越为人们所关注。

5-氨基乙酰丙酸(ALA)是所有生物体内卟啉化合成的关键前体^[3], 低浓度时, ALA 能够促进叶绿素(Chl)合成, 调节植物生长发育, 提高多种植物的抗冷性^[4-7]。据报道, ALA 显著提高西瓜植株生长量, 增强植株抵抗低温弱光的能力^[4]。沈奇等研究表明, ALA 可以促进辣椒 Chl 的合成, 增强光合作用, 提高渗透调节物质含量和提高 SOD、CAT 和 POD 活性, 维持膜系统的稳定性, 从而缓解低温胁迫对辣椒的伤害^[5]。但是, 喷施 ALA 提高油菜幼苗耐低温能力的研究尚鲜有报道。为此, 本研究以油菜为试验材料, 分析在 4 ℃低温胁迫下, 喷施 ALA 对油菜叶片 Chl 和类胡萝卜素(Car)含量、抗氧化酶活性、游离态脯氨酸含量、 O_2^- 生成速率和 MDA 含量的影响, 研究 ALA 提高油菜幼苗抗冷性的原因, 以为油菜生产提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料与培养

本试验以油菜品种沪油 15 为材料。挑选饱满的种子, 用 70% 乙醇浸泡 1 min, 25% 次氯酸钠消毒 10 min, 蒸馏水冲洗 3

次。37 ℃暗培养出芽后, 播种于营养钵中。营养土配制为蛭石: 黑土: 珍珠岩 = 18: 6: 1; 培养条件设定昼/夜温度为(25 ± 1) ℃/(15 ± 1) ℃, 光周期为 16 h/8 h(昼/夜), 光强为 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。育苗期间正常管理, 按照需要施肥和浇水。

1.2 试验处理

油菜幼苗培养至 5 叶 1 心期, 选取生长一致的植株, 用 30 mg/L 的 ALA 溶液喷施, 并设清水对照。喷施时溶液中添加 0.01% Triton, 均匀地喷洒叶片的正反面, 以叶片滴水为喷施标准。ALA 处理后 4 d, 放入人工气候箱中进行低温处理, 温度为 4 ℃, 光照条件和培养期间相同。低温处理 8 d, 之后转移至昼/夜(25 ± 1) ℃/(15 ± 1) ℃温度条件下, 恢复 4 d。低温处理 0 d、4 d、8 d 及恢复 4 d 时分别取完全展开的第 4、第 5 片真叶测定有关生理指标。

1.3 试验方法

1.3.1 叶片光合色素含量的测定 采用乙醇浸提法提取并测定油菜叶片 Chl 和 Car 的含量^[8]。

1.3.2 抗氧化酶活性测定 SOD 活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法^[9], 以抑制反应 50% 为 1 个酶活力单位(U); CAT 活性测定采用紫外吸收法, 以 1 min $D_{240 \text{ nm}}$ 值减少 0.01 为 1 个酶活力单位(U)^[10]; APX 活性测定参照 Nakano 等的方法^[11]; POD 活性测定采用愈创木酚法^[12]。

1.3.3 O_2^- 生成速率和 MDA 含量测定 O_2^- 生成速率测定采用 α -萘胺法^[13]; MDA 含量的测定用硫代巴比妥酸(TBA)法^[14]。

1.3.4 游离态脯氨酸含量测定 脯氨酸含量测定采用磺基水杨酸提取法^[15]。

1.3.5 统计分析 采用 Excel 2011 和 SAS 软件对数据进行统计分析和差异显著性检验。

收稿日期: 2013-07-23

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(编号: 31101505)。

作者简介: 张治平(1982—), 女, 河南洛阳人, 博士, 主要从事蔬菜逆境生理和分子生物学研究。E-mail: zhangzp0422@163.com。

2 结果与分析

2.1 ALA 对低温胁迫下油菜幼苗光合色素含量的影响

表 1 结果表明:常温条件下,喷施 ALA 的油菜叶片 Chl、叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)含量均明显高于对照。经过 4 d 的低温(4 ℃)胁迫处理,油菜叶片 Chl 显著降低,与低温处理前相比,对照叶片的 Chl 下降了 17.5 %,而喷施 ALA 的叶片 Chl 下降了 8.2 %。在此以后经过连续的胁迫处理,

对照叶片 Chl 进一步降低,喷施 ALA 明显缓解了 Chl 下降趋势,低温处理 8 d,与对照相比,喷施 ALA 的 Chl 提高了 57.4%。经过 4 d 的恢复后,对照和喷施 ALA 叶片 Chl 分别恢复到低温处理前的 63.4 %和 91.4 %。低温胁迫下,对照叶片 Chl a 和 Chl b 含量下降,低温持续时间越长,下降趋势越明显,而喷施 ALA 的叶片 Chl a 和 Chl b 的含量维持在较高水平;同时,ALA 处理的 Chl a 和 Chl b 明显高于对照,在低温胁迫 8 d 时,Chl a 和 Chl b 的增加量最明显。

表 1 ALA 对低温胁迫下油菜幼苗光合色素含量的影响

处理	ALA 浓度 (mg/L)	叶绿素 a (mg/g)	叶绿素 b (mg/g)	总叶绿素(a + b) (mg/g)	类胡萝卜素 (mg/g)
低温处理 0 d	0	0.361 ± 0.004b	0.215 ± 0.006b	0.576 ± 0.005b	0.131 ± 0.001d
低温处理 0 d	30	0.391 ± 0.002a	0.248 ± 0.006a	0.639 ± 0.005a	0.146 ± 0.004b
低温处理 4 d	0	0.298 ± 0.010c	0.162 ± 0.004d	0.459 ± 0.014c	0.139 ± 0.003bc
低温处理 4 d	30	0.359 ± 0.009b	0.209 ± 0.008b	0.569 ± 0.015b	0.159 ± 0.002a
低温处理 8 d	0	0.181 ± 0.006e	0.075 ± 0.001g	0.257 ± 0.005f	0.090 ± 0.004f
低温处理 8 d	30	0.285 ± 0.008c	0.134 ± 0.004e	0.419 ± 0.018d	0.121 ± 0.005e
常温恢复 4 d	0	0.229 ± 0.009d	0.113 ± 0.004f	0.343 ± 0.012e	0.117 ± 0.006e
常温恢复 4 d	30	0.357 ± 0.017b	0.200 ± 0.003c	0.557 ± 0.017b	0.138 ± 0.003cd

注:同列不同小写字母表示处理间显著差异($P < 0.05$)。下同。

此外,常温条件下,喷施 ALA 对油菜叶片 Car 含量没有显著影响。低温胁迫 4 d,对照叶片 Car 含量增加,但没有达到明显差异;同对照相比,ALA 预处理显著增加了 Car 含量,Car 含量提高了 14.4%。经过低温胁迫 8 d,对照 Car 含量下降,但是 ALA 处理的 Car 含量仍然保持较高的水平。恢复后,对照 Car 含量的恢复到低温处理前的 81.7%;喷施 ALA 的 Car 含量恢复到低温胁迫前水平(表 1)。

2.1 ALA 对低温胁迫下油菜抗氧化酶活性和脯氨酸含量的影响

常温下,喷施 ALA 显著增加了油菜叶片 SOD、APX 和 POD 的活性,而 CAT 的活性和脯氨酸的含量增加不明显。经过 4 ℃低温处理,油菜叶片的 SOD、APX、CAT、POD 的活性和

脯氨酸含量明显增加,并且这种增加量随着低温胁迫时间的延长而升高;喷施 ALA 显著增加了的油菜叶片 SOD、APX、CAT、POD 的活性和脯氨酸含量,低温胁迫 8 d 时,ALA 处理的 SOD、APX、CAT、POD 的活性和脯氨酸含量最高。另外,与对照相比,低温胁迫 4 d 时,ALA 处理的 SOD、CAT 的活性和脯氨酸含量增加量最多,分别增加了 22.6%、23.1%和 18.4%,而 APX 和 POD 的活性则是在低温胁迫 8 d 时提高得最多,分别提高了 51.4%和 30.9%。常温恢复 4 d,油菜叶片的 SOD、APX、CAT 和 POD 的活性下降到低温处理前水平,喷施 ALA 的叶片 SOD、APX、CAT 和 POD 的活性仍然高于对照;但是脯氨酸含量保持较高的水平,各处理之间没有明显差异(表 2)。

表 2 ALA 对低温胁迫下油菜幼苗 SOD、CAT、APX 和 POD 活性及脯氨酸含量的影响

处理	ALA 浓度 (mg/L)	SOD 活性 (U/g)	CAT 活性 [U/(min · g)]	APX 活性 ($\Delta D_{290\text{ nm}}$ min/g)	POD 活性 ($\Delta D_{470\text{ nm}}$ min/g)	脯氨酸含量 ($\mu\text{g/g}$)
低温处理 0 d	0	53.76 ± 3.31f	180.76 ± 7.89de	2.70 ± 0.34e	38.68 ± 2.46f	15.65 ± 0.90e
低温处理 0 d	30	62.76 ± 1.95e	201.40 ± 8.14d	3.45 ± 0.20d	45.63 ± 5.35e	16.16 ± 0.30e
低温处理 4 d	0	69.30 ± 1.85d	194.56 ± 7.42de	3.61 ± 0.32d	52.24 ± 4.83cd	22.58 ± 0.95c
低温处理 4 d	30	84.97 ± 3.25b	239.35 ± 10.24c	5.44 ± 0.38b	65.43 ± 2.89b	26.73 ± 0.94b
低温处理 8 d	0	78.57 ± 1.55c	271.87 ± 27.11b	4.43 ± 0.53c	58.37 ± 2.92c	25.56 ± 1.39b
低温处理 8 d	30	94.29 ± 4.78a	314.20 ± 18.18a	6.71 ± 0.31a	76.38 ± 3.01a	29.75 ± 1.35a
常温恢复 4 d	0	56.26 ± 1.66f	169.06 ± 14.18e	3.13 ± 0.23de	36.81 ± 1.78f	18.68 ± 0.76d
常温恢复 4 d	30	67.62 ± 2.81de	196.07 ± 19.39de	3.28 ± 0.23de	48.91 ± 3.86de	19.21 ± 1.00d

2.4 ALA 对低温胁迫下油菜 O_2^- · 生成速率和 MDA 含量的影响

常温条件下,喷施 ALA 对 O_2^- · 生成速率和 MDA 含量没有明显影响。低温胁迫下,对照的 O_2^- · 生成速率和 MDA 含量升高,低温胁迫 4 d 对照叶片 O_2^- · 生成速率和 MDA 含量分别上升了 74.3%和 55.3%;低温胁迫 8 d,则达到低温处理前的 2.85 倍和 2.56 倍。ALA 预处理能减轻油菜叶片 O_2^- · 生成速率和 MDA 含量的升高程度,低温处理 8 d 时,表现得最

明显,同对照相比,喷施 ALA 的 O_2^- · 生成速率和 MDA 含量分别下降了 32.3%和 30.1%。经过 4 d 恢复, O_2^- · 生成速率和 MDA 含量开始下降,但只有喷施 ALA 的油菜叶片 O_2^- · 生成速率和 MDA 含量下降到低温处理前水平(表 3)。

3 讨论

低温条件下植物体内产生大量的活性氧和自由基,可以引起叶绿素的破坏和分解^[16-17]。研究表明,外源 ALA 可以

表 3 ALA 对低温胁迫下油菜幼苗 O_2^- · 生成速率
和 MDA 含量的影响

处理	ALA 浓度 (mg/L)	O_2^- · 生成速率 [nmol/(min · g)]	丙二醛含量 (nmol/g)
低温处理 0 d	0	5.16 ± 0.58d	5.41 ± 0.27e
低温处理 0 d	30	4.63 ± 0.30d	4.78 ± 0.15e
低温处理 4 d	0	10.74 ± 0.74b	8.43 ± 0.35c
低温处理 4 d	30	8.81 ± 0.88c	6.43 ± 0.40d
低温处理 8 d	0	17.58 ± 0.72a	13.87 ± 0.35a
低温处理 8 d	30	11.91 ± 0.70b	9.67 ± 0.55b
常温恢复 4 d	0	11.64 ± 0.73b	9.47 ± 0.93b
常温恢复 4 d	30	4.80 ± 0.56d	4.87 ± 0.45e

增加叶片 Chl 含量,提高植株的抗冷性^[5-6]。另外,用含有 ALA 的肥料喷施芸豆,2 个月后,Chl 含量仍然明显高于对照^[18]。本研究中,喷施 ALA 显著提高了油菜叶片 Chl a、Chl b 和 Chl 的含量,这种增加效应随着低温胁迫持续时间的延长表现得更加显著。经过常温恢复后,ALA 处理的油菜叶片 Chl a、Chl b 和 Chl 迅速恢复,说明 ALA 可以促进油菜叶片 Chl 的合成,并且 ALA 的这种效应具有长效性,一直持续存在于整个低温胁迫和恢复过程中。

植物在正常代谢过程中和逆境胁迫下均能产生活性氧。正常情况下,植物体内产生的活性氧可以及时地被清除掉,不会对细胞产生伤害,但植物受到胁迫后,活性氧大量积累,导致膜脂过氧化^[5,16-17]。本研究中常温条件下 O_2^- · 的生成速率和 MDA 含量比较低,喷施 ALA 对 O_2^- · 的生成速率和 MDA 含量的影响不明显,说明常温下,油菜细胞内自由基含量以及细胞膜脂损伤程度没有显著变化。油菜遭受低温胁迫后,活性氧大量产生, O_2^- · 的生成速率和 MDA 含量迅速升高,胁迫时间越久, O_2^- · 的生成速率和 MDA 含量增加量越多。喷施 ALA 显著降低了 O_2^- · 的生成速率和 MDA 含量,低温胁迫 8 d,ALA 的作用效果最明显,表明低温胁迫打破了油菜细胞中活性氧产生和清除的动态平衡,使 O_2^- · 的生成速率迅速增加,并引起细胞膜氧化损伤,低温持续时间越长,细胞膜损伤越严重。喷施 ALA 降低了油菜 O_2^- · 的生成速率,缓解了膜脂过氧化的产生程度。沈奇等研究表明,低温胁迫下,ALA 处理辣椒幼苗 O_2^- · 的生成速率和 MDA 含量均呈先急剧上升又下降的趋势^[5];刘卫琴等认为正常生长条件下 ALA 显著降低了草莓叶片的 MDA 含量^[19];而康琅等发现 ALA 对低温胁迫下西瓜幼苗的 MDA 含量没有影响^[4]。这些结果表明,ALA 对氧化胁迫调节具有复杂性,ALA 处理降低了 O_2^- · 的生成速率,但对 MDA 的影响需要进一步研究。

植物在遭受低温胁迫后,活性氧大量积累,植物会诱导一系列抗氧化保护酶活性迅速提高来清除过多的活性氧,缓解低温对其造成的伤害。SOD、CAT、APX 和 POD 是细胞内清除活性氧的主要酶促保护系统。SOD 可以催化 O_2^- · 生成 H_2O_2 ,产生的 H_2O_2 又可由 CAT、APX 和 POD 进一步分解形成 H_2O 和 O_2 ,它们共同防御活性氧对细胞的伤害^[16]。ALA 是血红素合成的前体,外源 ALA 可以增加亚铁血红素的含量。而 CAT、POD 和 APX 同属于亚铁血红素蛋白酶类。本研究中喷施 ALA 显著提高 SOD、CAT、APX 和 POD 活性与含量,这与前人在西瓜、辣椒、西葫芦和黄瓜等上的研究结

果^[4-7]是一致的。由此说明 ALA 提高抗氧化酶活性,增加植株的抗氧化能力,在增强植物抗冷性中发挥着重要的作用。

此外,植物体内还存在一些如 Car 和脯氨酸等非酶促抗氧化保护物质,用来抵御逆境胁迫对细胞造成的伤害。Car 存在于叶绿体内,在所有的单线态氧(1O_2)猝灭系统中,具有最重要的意义。正常状态下,植物体内脯氨酸含量很低,但受到逆境胁迫时,脯氨酸就会大量积累,改善细胞渗透调节能力,清除活性氧,减轻细胞膜氧化损伤^[16-17]。本研究中,油菜在正常条件下培养,Car 和脯氨酸的含量较低,但是当遇到低温胁迫时,Car 和脯氨酸含量显著上升,在恢复过程中,随着细胞 O_2^- · 的生成速率和 MDA 含量的下降,Car 和脯氨酸的含量也开始下降,说明 Car 和脯氨酸在油菜响应低温胁迫、清除活性氧以避免细胞遭到氧化胁迫中发挥了重要作用。刘卫琴等认为 ALA 处理对正常条件生长草莓叶片的 Car 含量没有明显影响^[19],本研究常温下喷施 ALA 的 Car 的含量没有变化的结果与其一致。另外,本研究发现 ALA 处理增加了低温胁迫下油菜叶片 Car 含量。低温胁迫下,Car 可以保护 Chl 分子,避免 Chl 被氧化,增强植株抗低温能力^[15]。这可能是 ALA 处理的油菜叶片能保持较高的叶绿素含量与抗冷性增强的一个原因。谷氨酸是脯氨酸和 ALA 合成的共同前体,Averina 等认为盐胁迫下,加入外源 ALA 后,内源 ALA 的合成下降,使谷氨酸转向合成脯氨酸,脯氨酸大量积累,从而增加了大麦的耐盐性^[20]。尹璐璐等报道 ALA 提高黄瓜幼苗的抗冷性,与脯氨酸积累量增加、MDA 含量减少有关^[7]。本研究中 ALA 处理提高低温胁迫下油菜叶片的脯氨酸含量和增加油菜耐低温能力的结果与其类似。

综上所述,喷施 ALA 增强了油菜植株的抗氧化能力,降低了 O_2^- · 的生成速率,抑制膜脂过氧化的产生,促进了低温胁迫下油菜 Chl 的合成。喷施 ALA 明显提高油菜幼苗的抗冷性,并能够促进油菜在受到低温胁迫后迅速恢复。

参考文献:

[1] 李俊,张春雷,马霓,等. 栽培措施对冬油菜抗冻性和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2010(1):95-97.
[2] 张学昆,张春雷,廖星,等. 2008 年长江流域油菜低温冻害调查分析[J]. 中国油料作物学报,2008,30(1):122-126.
[3] Von Wettstein D, Gough S, Kannangara C G. Chlorophyll biosynthesis[J]. Plant Cell,1995,7(7):1039-1057.
[4] 康琅,程云,汪良驹. 5-氨基乙酰丙酸对秋冬季大棚西瓜叶片光合作用及抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(11):2297-2301.
[5] 沈奇,刘涛,徐刚,等. ALA 对辣椒低温胁迫下伤害的缓解效应[J]. 江苏农业学报,2012,28(2):376-383.
[6] 毛丽萍,任君,张星辉. ALA 对低温胁迫下西葫芦幼苗光合特性的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(16):142-145.
[7] 尹璐璐,于贤昌,王英华,等. 5-氨基乙酰丙酸对黄瓜幼苗抗冷性的影响[J]. 西北农业学报,2007,16(4):166-169.
[8] Lichtenthaler H K, Wellburn A R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents[J]. Biochemical Society Transactions,1983,11(5):591-592.
[9] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels[J]. Analytical Biochemistry,1971,44(1):276-287.

李建刚,张卫国,李东方,等. 不同施肥模式对新疆棉花产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):55-58.

不同施肥模式对新疆棉花产量和品质的影响

李建刚¹, 张卫国², 李东方², 李荣霞², 董元华¹

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏南京 210008;

2. 新疆兵团农六师农业科学研究所, 新疆五家渠 831300)

摘要:针对新疆棉花施肥方式中存在的不足,对新疆建设兵团农场棉花施肥方式进行优化,检验优化施肥方式对土壤养分、棉花生长、病害发生率、产量和品质的影响。结果表明:2 种优化施肥模式均能增加土壤中的速效氮、磷、钾养分,促进棉花生育期提前;优化施肥 2 能够使棉花的吐絮期提前 5 d,还能促进单株结铃数和伏前桃增加;经过优化施肥处理后,棉花黄萎病的发病率明显降低,其中优化施肥 1 对棉花黄萎病的防效为 39.57%,优化施肥 2 的防效高达 60.96%;优化施肥方式能够提高皮棉产量,其中优化施肥 1 增产 5.0%,而优化施肥 2 增产率可达 11.9%;同时纤维的品质也有了显著的提高。这为克服棉花连作障碍提供了技术手段,同时对促进新疆棉花生产具有重要的指导意义。

关键词:棉花;优化施肥;棉花黄萎病;棉花产量;纤维品质

中图分类号:S562.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)02-0055-04

新疆是我国棉花的重要产区,凭借其优越的地域优势和产业政策,经过 20 多年的发展已成为我国最主要的棉花生产和加工区域。新疆棉花产量多年来保持全国第一,占全国棉花产量的 30% 以上,世界棉花产量的 10% 左右。据新疆维吾尔自治区统计局统计,与 2011 年相比,2012 年棉花播种面积 172.08 万 hm^2 ,增长 5.1%;棉花产量 3.54×10^9 kg,增长 22.2%;在自治区重点监测的产业中,纺织工业总产值 40.30 亿元,增长 15.1%。棉花主产县市财政收入中约 60% 来自棉花产业,目前棉花产业已成为新疆农民增收的主要途径和农村经济发展的支柱产业,棉花市场行情直接关系新疆经济的发展^[1]。

近年来,在新疆地区棉花种植面积不断扩张的过程中,由

于棉花种植比例大,换茬轮作困难,棉花连作已成为新疆绿洲棉区的主要耕作方式,连作问题也日益突出。棉花的产量、品质受到严重的影响,土壤生态环境遭到破坏,土壤退化严重,同时多年连作也致使棉花的病虫灾害加剧,快速蔓延^[2]。梁智等对新疆长绒棉产区(阿克苏棉区)进行了调查,棉花连作面积占 73.10%,连作棉田中,连作 1~5 年、6~8 年、9~12 年、13 年以上的棉田分别占棉花连作总面积的 11.70%、20.15%、31.65%、9.60%;轮作棉田籽棉产量平均 4 150 kg/hm^2 ,连作 1~5 年的籽棉产量平均 4 060 kg/hm^2 ,基本不减产,连作 6~8 年的棉田籽棉减产 4.7%~9.5%,连作 9~12 年的棉田籽棉减产 13.4%~27.8%,连作 13 年以上的棉田籽棉减产 33.1%~46.8%^[3]。

连作障碍的机理是十分复杂的问题,是作物与土壤系统内部诸多因素综合作用结果的外观表现,主要包括生物和非生物因素^[4-10]。新疆棉花连作栽培中,由于施肥、灌溉、耕作技术长期一致,并且随着新疆棉花生产水平和棉农收入的提高,施肥量也在不断增加,导致土壤板结、土壤次生盐渍化、有机肥用量不够、土壤缓冲性差,植株易发生死苗、缺株等现象,土壤团粒结构被破坏,施用化学肥料单一,肥料投入严重不平

收稿日期:2013-07-10

基金项目:新疆生产建设兵团博士资金(编号:2010JC03);中国科学院地合作项目(编号:XBXJ-2011-045)。

作者简介:李建刚(1979—),男,河北张北人,博士,助理研究员,主要从事矿质养分与植物土传病害研究。E-mail:jgli@issas.ac.cn。

通信作者:董元华(1964—),男,湖北恩施人,博士,研究员,主要从事土壤生态与污染生态研究。E-mail:yhdong@issas.ac.cn。

[10] Change B, Maehly A C. Assay of catalases and peroxidase[J]. Methods in Enzymology, 1955, 2: 764-775.

[11] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. Plant & Cell Physiology, 1981, 22(5): 867-880.

[12] 徐朗莱, 叶茂炳. 过氧化物酶活力连续记录测定法[J]. 南京农业大学学报, 1989, 12(3): 82-83.

[13] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 55-57.

[14] 赵世杰, 许长成, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210.

[15] 张殿忠, 汪沛洪, 赵会贤. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J]. 植物生理学通讯, 1990(4): 62-65.

[16] 王静, 张成军, 陈国祥, 等. 低温对灌浆期水稻剑叶光合色素

和类囊体膜脂脂肪酸的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(2): 177-182.

[17] 尹永强, 胡建斌, 邓明军. 植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 105-110.

[18] 孙新娥, 申明, 王中华, 等. 两种叶面肥对日光温室芸豆叶片光合作用和果实品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2011, 34(3): 37-42.

[19] Averina N G, Gritskevich E R, Vershilovskaya I V, et al. Mechanisms of salt stress tolerance development in barley plants under the influence of 5-aminolevulinic acid[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2010, 57(6): 792-798.

[20] 刘卫琴, 康琅, 汪良驹. ALA 对草莓光合作用的影响及其与抗氧化酶的关系[J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 57-62.