

文章编号: 1003-8701(2015)05-0085-05

脱落酸处理对草莓幼苗抗冷性的影响

鲍智娟

(白城师范学院生命科学学院, 吉林 白城 137000)

摘 要:以草莓为材料,利用不同浓度的脱落酸(ABA)浸根处理和幼苗喷施处理,测定分析处理后草莓幼苗的各项生理生化指标数值变化,以探讨脱落酸对草莓幼苗抗冷性的影响。结果表明:经过ABA处理的草莓幼苗呼吸速率、根活力、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性均高于对照,叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸(Pro)含量均高于对照,丙二醛(MDA)含量和电导率均低于对照。当ABA浓度为 $150\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,草莓幼苗呼吸速率、根活力、SOD、POD和CAT活性达到最高值,叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸(Pro)含量达到最大值,丙二醛(MDA)含量和电导率达到最低值。两种处理方式比较,浸根处理有利于提高低温胁迫苗的根活力,叶面喷施处理有利于提高低温胁迫苗的呼吸速率和叶绿素含量,其他指标无明显差异。

关键词:脱落酸;草莓;抗冷性

中图分类号:S663

文献标识码:A

Effects of Absciscic Acid on Chilling Tolerance of Strawberry Seedlings

BAO Zhi-juan

(College of Life Science, Baicheng Normal College, Baicheng 137000, China)

Abstract: The strawberry was used as experimental material and its roots were soaked or leaves drenched with different concentrations of abscisic acid (ABA). The physiological and biochemical indexes were determined to discuss effect of ABA on chilling tolerance of strawberry seedlings. The results showed that respiration rate, root activity, superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) of strawberry seedlings increased by ABA treatment. The contents of chlorophyll, soluble sugar, soluble protein, proline (Pro) contents were higher than the control, whereas malondialdehyde (MDA) content and electrical conductivity were lower than the control. When the ABA concentration was $150\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, the strawberry seedlings' respiration rate, root activity, SOD, POD and CAT activity reached the highest, and chlorophyll, soluble sugar, soluble protein, proline (Pro) contents reached maximum, but malondialdehyde (MDA) content and conductivity reached minimum. Comparison of two methods, root soaking treatment improved low temperature stress tolerance of root activity of seedling. Foliar treatment improved low temperature stress tolerance of the respiration rate and chlorophyll content of seedling. The others showed no significant difference.

Key words: ABA; Strawberry; Chilling tolerance

草莓(*Fragaria ananassa* Duch)为蔷薇科,属多年生草本植物。是一种经济价值较高的小浆果。草莓果实除含糖、酸、蛋白质外,还含有丰富的钙、镁、磷、钾、铁等矿物质和维生素C、维生素B₁、

维生素B₂、烟酸等。维生素C和抗氧化剂具有防止慢性病、癌症和心血管疾病的功效;此外对神经系统健康、防止皮肤受损、缓解关节疼痛,减少自由基损伤等有重要作用。目前几乎世界各国都有草莓栽培,我国北起黑龙江南至广东均有栽培。草莓的根系生长适温为 $15\sim 22^{\circ}\text{C}$;地上部生长适温为 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$,当温度为 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ 时,未经锻炼的草莓受冻^[1-4],低温寒害或冻害是草莓生产中严

收稿日期:2015-05-21

基金项目:吉林省教育厅“十一五”科学技术研究课题(2010-220)

作者简介:鲍智娟(1960-),女,教授,硕士,主要从事植物遗传育种和生物技术方向的研究。

重的自然灾害。低温胁迫对植物的生理影响主要体现在植株呼吸速率、根活力、叶绿素含量、有机物含量、酶活性、膜系统等方面的变化^[5]。近年来许多研究证明,外源物质处理对植物抗寒及抗冷性有诱导作用^[6-9]。目前外源物质对草莓抗冷性影响的研究很少,仅报道了高波等人“外源水杨酸对草莓抗冷性的影响”的研究^[10],樊国华等人“壳聚糖和水杨酸对低温胁迫下草莓抗寒性的影响”的研究^[11]。水杨酸是一种植物体内含有的单元酚类植物生长调节剂,它是植物体内的次生代谢产物,其生理作用之一是提高作物的抗逆能力^[12]。随着研究的深入,发现植物激素脱落酸(abscisic acid, ABA)在植物低温逆境胁迫反应中起重要作用^[13]。关于ABA对草莓抗冷性作用的研究未见报道。为充实相关的研究内容,本试验用ABA处理草莓,通过一些生理指标的测定,探明ABA处理草莓增强抗冷性的部分相关生理基础,通过比较ABA的处理效果,筛选出适宜的用药浓度和处理方式,为ABA在草莓抗冷诱导中的应用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

材料购买于果农的一年生草莓休眠苗。

1.2 试验方法

1.2.1 草莓休眠苗药剂的浸根处理

休眠的草莓苗根用水冲洗淋净水分,选取ABA浓度为50、100、150、200 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,用不同浓度的药剂分别浸泡草莓苗根部4 h,每种处理为6株。将处理后的草莓苗定植于盆中,在光照培养箱中设定光照强度为2000 lx,每天光照10 h,温度为 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 条件下培养至新茎长出三片叶,将其平均分成两组,一组继续培养5 d获得常温苗(A1表示),另一组转换在温度设定为 $(2\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 条件进行低温胁迫培养5 d获得低温胁迫苗(A2表示),两组草莓幼苗用于抗冷性相关的生理指标测定。

1.2.2 草莓幼苗的药剂叶面喷施处理

休眠的草莓苗定植于盆中,在光照培养箱中设定光照强度为2000 lx,每天光照10 h,温度为 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 条件下培养至新茎长出三片叶,选取ABA浓度为50、100、150、200 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,用不同浓度的药剂分别喷施于草莓幼苗叶面,每天喷施1次,连续喷施3 d,每种处理为6株。将其平均分成两组,一组继续培养5 d获得常温苗(B1表示)。另

一组转换在温度设定为 $(2\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 条件进行低温胁迫培养5 d获得低温胁迫苗(B2表示),两组草莓幼苗用于抗冷性相关的生理指标测定。

1.2.3 抗冷性生理指标的测定

以未进行药剂处理的常温苗和低温胁迫苗为对照,连同药剂浸根处理和叶面喷施处理获得的常温苗和低温胁迫苗进行抗冷性生理指标的测定。相对电导率测定采用电导仪法,植株呼吸速率测定采用广口瓶法,根活力测定采用TTC法,可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法,可溶性蛋白质(Protein, Pr)含量测定采用考马斯亮蓝法,脯氨酸(proline, Pro)含量测定采用磺基水杨酸法,丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量测定采用TCA-TBA法,超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)活性测定采用氮蓝四唑法,过氧化物酶(peroxidase, POD)活性测定采用愈创木酚法,过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性测定采用高锰酸钾滴定法^[14],叶绿素含量测定采用分光光度法^[15]。

2 结果与分析

2.1 ABA处理对低温胁迫下草莓幼苗呼吸速率、根活力及叶绿素含量的影响

受低温胁迫的植株根系活力降低,导致根对矿质元素吸收的下降,使部分矿质元素向地上部的运输受阻,影响植物个体的生长和发育,也降低了植株的呼吸速率,降低了植物光合色素含量(由于叶绿素被破坏),影响植物的光合作用^[5]。ABA处理可以增强草莓幼苗的呼吸作用和根活力,增加叶绿素含量(见表1),由表1看出,各处理的草莓幼苗呼吸速率、根活力及叶绿素含量均高于对照,ABA浓度为50~150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,随ABA浓度的增加三项指标逐渐增高,当ABA浓度为150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,浸根处理的常温苗与对照比较呼吸速率提高31.1%,根活力提高6.9%,叶绿素含量增加22.1%,浸根处理的低温胁迫苗与对照比较呼吸速率提高79.5%,根活力提高20.3%,叶绿素含量增加55.4%;叶面喷施处理的常温苗与对照比较呼吸速率提高43.2%,根活力提高6.6%,叶绿素含量增加28.5%,叶面喷施处理的低温胁迫苗与对照比较呼吸速率提高94.6%,根活力提高11.8%,叶绿素含量增加66.2%;当ABA浓度增加至200 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,三项指标均下降。由数据分析结果表明,常温苗与对照比较变化的幅度较小,低温胁迫苗与对照比较变化的幅度较大,浸根处理有利于提高低温胁迫苗的根活力,叶面喷施处理

有利于提高低温胁迫苗的呼吸速率和叶绿素含量。

表1 ABA处理对低温胁迫下草莓幼苗呼吸速率、根活力及叶绿素含量的影响

浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	呼吸速率($\text{mg}\cdot(\text{gFW}\cdot\text{h})^{-1}$)				根活力($\mu\text{gTTF}(\text{gFW}\cdot\text{h})^{-1}$)				叶绿素含量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
CK	1.32	1.12	1.32	1.12	35.14	33.34	35.14	33.34	0.77	0.65	0.77	0.65
50	1.41	1.31	1.50	1.47	36.06	35.25	35.83	34.56	0.81	0.74	0.83	0.78
100	1.54	1.66	1.67	1.79	36.84	37.63	36.53	35.85	0.87	0.87	0.90	0.92
150	1.73	2.01	1.89	2.18	37.58	40.12	37.46	37.28	0.94	1.01	0.99	1.08
200	1.66	1.73	1.73	1.85	36.88	38.32	36.47	36.02	0.84	0.83	0.88	0.87

2.2 ABA处理对低温胁迫下草莓幼苗渗透调节物质含量的影响

低温条件下,植物细胞内以积累渗透调节物质来降低细胞液的渗透势,防止细胞过度失水,对细胞起到一定的保护作用,渗透调节物质主要包括可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸等^[16]。ABA处理可以增加草莓幼苗的可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸含量(见表2),由表2看出,各处理的草莓幼苗可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸含量均高于对照,ABA浓度为50~150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,随ABA浓度的增加三项指标逐渐增高,当ABA浓度为150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,浸根处理的常温苗与对照比较可溶性糖含量增加21.8%,可溶性蛋白含量增加14.4%,

脯氨酸含量增加57%,浸根处理的低温胁迫苗与对照比较可溶性糖含量增加26.7%,可溶性蛋白含量增加16.0%,脯氨酸含量增加54.6%;叶面喷施处理的常温苗与对照比较可溶性糖含量增加23.1%,可溶性蛋白含量增加14.8%,脯氨酸含量增加61%,叶面喷施处理的低温胁迫苗与对照比较可溶性糖含量增加21.3%,可溶性蛋白含量增加16.7%,脯氨酸含量增加57.1%;当ABA浓度增加至200 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,三项指标均下降。由数据分析结果表明,低温胁迫苗和常温苗比较渗透调节物质含量变化的幅度差异不明显,两种处理方式对于增加渗透调节物质含量的变化差异不明显。

表2 ABA处理对低温胁迫下草莓幼苗渗透调节物质含量的影响

浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	可溶性糖含量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)				可溶性蛋白质含量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)				Pro含量($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
CK	1.034	0.903	1.034	0.903	1.873	1.796	1.873	1.796	0.335	0.392	0.335	0.392
50	1.097	0.975	1.101	0.989	1.959	1.886	1.962	1.889	0.390	0.456	0.396	0.460
100	1.175	1.057	1.184	1.057	2.048	1.890	2.053	1.987	0.453	0.527	0.465	0.535
150	1.259	1.144	1.273	1.147	2.142	2.079	2.151	2.096	0.527	0.606	0.541	0.616
200	1.169	1.106	1.174	1.053	1.997	1.956	2.017	1.980	0.420	0.494	0.432	0.499

2.3 ABA处理对低温胁迫下草莓幼苗抗氧化酶活性的影响

低温胁迫使植物组织细胞内活性氧分子大量积累超出正常水平,对植物形成氧化胁迫。当氧化胁迫发生时,SOD、POD、CAT等抗氧化酶会相互作用清除活性氧^[17]。ABA处理可以提高草莓幼苗抗氧化酶活性减轻冷害损伤(见表3),由表3看出,各处理的草莓幼苗抗氧化酶的活性均高于对照,ABA浓度为50~150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,随ABA浓度的增加三项指标逐渐增高,当ABA浓度为150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,浸根处理的常温苗与对照比较SOD活性提高9.9%,POD活性提高21.1%,CAT活性提高6.1%,

浸根处理的低温胁迫苗与对照比较SOD活性提高12.9%,POD活性提高30.1%,CAT活性提高8.5%,;叶面喷施处理的常温苗与对照比较SOD活性提高10.6%,POD活性提高23.0%,CAT活性提高7.1%,叶面喷施处理的低温胁迫苗与对照比较SOD活性提高14.2%,POD活性提高33.0%,CAT活性提高8.9%,;当ABA浓度增加至200 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,三项指标均下降。由数据分析结果表明,ABA处理对提高低温胁迫苗的抗氧化酶活性比常温苗更明显,浸根处理和叶面喷施处理对于提高抗氧化酶活性的变化差异不明显。

表3 ABA处理对低温胁迫下草莓幼苗抗氧化酶活性的影响

浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	SOD 活性($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)				POD 活性($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)				CAT 活性($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
CK	78.6	76.7	78.6	76.7	30.4	28.2	30.4	28.2	224.3	192.5	224.3	192.5
50	80.7	79.1	80.9	79.4	31.9	30.4	32.1	30.7	228.5	197.3	229.1	197.6
100	83.3	82.6	83.7	83.2	34.0	33.3	34.4	33.8	232.7	202.7	234.4	203.3
150	86.4	86.6	86.9	87.6	36.8	36.7	37.4	37.5	238.0	208.9	240.3	209.7
200	82.5	82.4	83.2	83.1	33.9	33.1	34.1	33.6	232.5	202.1	234.0	202.9

2.4 ABA处理对低温胁迫下草莓幼苗MDA含量及电导率的影响

低温胁迫对植物生物膜系统造成损伤,引起细胞膜透性的变化,表现为电解质外渗,电导率升高;低温胁迫时细胞内的活性氧代谢平衡被破坏,导致膜质过氧化和不饱和脂肪酸降解产生MDA,即MDA含量升高^[18]。ABA处理可以降低MDA含量及电导率(见表4),由表4看出,ABA浓度为50~150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,随着ABA浓度的增加其MDA含量和电导率逐渐降低,当ABA浓度达到150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,浸根处理的常温苗与对照比较

MDA含量降低3.6%,电导率降低5.2%;浸根处理的低温胁迫苗与对照比较MDA含量降低15.5%,电导率降低19.0%;叶面喷施处理的常温苗与对照比较MDA含量降低3.7%,电导率降低5.3%;叶面喷施处理的低温胁迫苗与对照比较MDA含量降低16.5%,电导率降低20.3%;随着ABA浓度继续增加到200 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,MDA含量及电导率上升。由数据分析结果表明,ABA处理对常温苗MDA含量及电导率无明显的影响,但对低温胁迫苗的影响比较明显;ABA的两种处理方式对于MDA含量及电导率的变化无明显差异。

表4 ABA处理对低温胁迫下草莓幼苗MDA含量及电导率的影响

浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	MDA 含量($\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)				电导率(%)			
	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
CK	20.49	23.55	20.49	23.55	19.94	21.11	19.94	21.11
50	20.26	22.84	20.35	22.73	19.87	20.27	19.84	20.16
100	20.08	21.75	20.19	21.16	19.54	19.15	19.47	18.95
150	19.76	19.89	19.74	19.66	18.91	17.10	18.89	16.83
200	20.12	21.23	20.11	21.11	19.47	18.97	19.38	18.77

3 结论与讨论

3.1 ABA处理提高草莓幼苗抗冷性的生理基础

本试验研究结果表明,适当浓度的ABA处理可增强低温胁迫下草莓幼苗的呼吸速率和根活力,增加叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白及游离脯氨酸含量,提高抗氧化酶活性,降低电导率和MDA含量,从而提高草莓幼苗的抗冷性,所以低温胁迫下,草莓幼苗植株高呼吸速率和根活力,高SOD、POD、CAT活性,高叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白及Pro含量,低MDA含量和电导率是草莓抗冷性的重要生理基础。

3.2 ABA处理提高草莓幼苗抗冷性可能的作用机制

外施ABA可提高细胞的主动吸收能力^[19],即

可激发根活力,增强根对矿质元素的吸收及向上部的运输,利于植物的生长和发育,因此提高植株的呼吸速率,增加植物光合色素含量,促进植物的可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸等合成的代谢作用,其含量的增加可以提高细胞液浓度,降低水势,防止细胞过度失水而保护细胞,质膜稳定性可以增强,使细胞液的渗透势和细胞膜透性降低,电解质外渗减少,电导率降低;外施ABA还可降低植物的活性氧的含量^[19],这样避免引发质膜过氧化和不饱和脂肪酸降解产生丙二醛。MDA含量下降。

3.3 ABA处理提高草莓幼苗抗冷性的最佳处理浓度和处理方式

本试验数据分析结果显示,最适宜的处理浓度为150 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。两种处理方式比较,浸根处理有

利于提高低温胁迫苗的根活力,叶面喷施处理有利于提高低温胁迫苗的呼吸速率和叶绿素含量;而对可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸含量、抗氧化酶活性、MDA 含量及电导率的影响差异不明显。

参考文献:

- [1] 周清桂,王连君,杨春华. 草莓花芽分化研究[J]. 吉林农业大学学报,1990,12(2):31-36.
- [2] 张茂君,张冰冰,刘东华. 吉林省果树冻害调查报告[J]. 吉林农业科学,2003,28(3):47-51.
- [3] 郑亚杰,陈玉波,姚环宇. 四季草莓露地栽培技术研究[J]. 吉林农业科学,2013,38(3):59-60.
- [4] 陈玉波,郑亚杰,姚环宇. 草莓露地生产技术规程[J]. 吉林农业科学,2009,34(4):51-52,55.
- [5] 于凤玲,支庆祥. 低温对植物的危害以及植物的抗寒性[J]. 畜牧与饲料科学,2009,30(9):190-191.
- [6] 郭凤领,卢育华,李宝光. 外源 ABA 对番茄苗期和开花期抗冷特性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2000,31(4):357-362.
- [7] 黄杏,陈明辉,杨丽涛,等. 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗抗寒性及内源激素的影响[J]. 华中农业大学学报,2013,32(4):6-11.
- [8] 罗立津,徐福乐,翁华钦. 脱落酸对甜椒幼苗抗寒性的诱导效应及其机理研究[J]. 西北植物学报,2011,31(1):94-100.
- [9] 曹永翔,张喜春,高杰. 外源物质处理对番茄抗冷性的影响[J]. 中国农学通报,2009,25(9):131-135.
- [10] 高波,邵永春,徐坤,等. 外源水杨酸对草莓抗冷性的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版),2007,24(2):81-85.
- [11] 樊国华,金芳. 壳聚糖和水杨酸对低温胁迫下草莓抗寒性的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2008,43(2):83-86.
- [12] 孙玉洁,王国槐. 外源生长调节剂对植物抗寒的影响[J]. 作物研究,2011,25(3):287-291.
- [13] 刘红娟,刘洋,刘琳. 脱落酸对植物抗逆性影响的研究进展[J]. 生物技术通报,2008,24(6):7-9.
- [14] 李合生,孙群,赵士杰,等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [15] 朱广廉,钟海文,张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京:北京大学出版社,1990.
- [16] 马媛媛,肖霄,张文娜. 植物低温逆境胁迫研究综述[J]. 安徽农业科学,2012,40(12):7007-7008,7099.
- [17] Scebba F, Sebastiani L, Vitagliano C. Changes in activity of antioxidant enzymes in wheat(*Triticum aestivum* L.) seedlings under cold acclimation[J]. Physiology of Plant, 1998(104): 747-752.
- [18] GUY C L. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1990(41): 187-223.
- [19] 鲁旭东,吴顺. 脱落酸对植物生长发育的调控作用[J]. 孝感学院学报,2004,24(3):10-14.

(责任编辑:王昱)

(上接第 45 页)

- [11] Peng S B, Garcia F V, Laza R C, et al. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high yielding irrigated rice[J]. Field Crops Research, 1996(47): 243-252.
- [12] 刘立军,徐伟,桑大志,等. 实地氮肥管理提高水稻氮肥利用效率[J]. 作物学报,2006,32(7):987-994.
- [13] 李志宏,张云贵,刘宏斌,等. 叶绿素仪在夏玉米氮营养诊断中的应用[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(6):764-768.
- [14] 杨利军,韩晓日,战秀梅,等. 新型缓释尿素对玉米和水稻产量、氮肥利用率及无机氮残留的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2012,43(2):184-188.
- [15] 李敏,叶舒娅,刘枫,等. 施用缓释氮肥对夏玉米产量和氮肥利用率的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(16):8895-8896,8936.
- [16] 高树清,王宝申,韩英群. 腐植酸及不同原料对土壤脲酶活性及氮素的影响研究[J]. 腐植酸,2004(6):32-36.
- [17] 王改玲,郝明德,陈德立. 硝化抑制剂和通气调节对土壤 N₂O 排放的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):32-36.
- [18] 焦晓光,梁文举,陈利军,等. 脲酶/硝化抑制剂对土壤有效态氮、微生物量氮和小麦氮吸收的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1903-1906.
- [19] 李华兴,李长洪,张新明,等. 沸石对土壤养分有效性和土壤化学性质的影响研究[J]. 应用生态学报,2001,12(5):743-745.
- [20] Kithome M, Paul J W, Lavkulich L M, et al. Effect of pH on ammonium adsorption by natural zeolite clinoptilolite, Communsol-sci-plant-anal[J]. Monticello, 1999, 30(9-10): 1417-1430.
- [21] 刘志刚,陈范骏,王庆祥. 密度对不同玉米基因型产量及其构成因素的影响[J]. 吉林农业科学,2014,39(1):10-12.
- [22] 徐艳荣,孙发明,仲义,等. 种植密度对玉米商品品质的影响[J]. 吉林农业科学,2013,38(2):1-3.
- [23] 姜新福,孙向阳,关裕宓. 天然沸石在土壤改良和肥料生产中的应用研究进展[J]. 草业科学,2004,21(4):48-51.

(责任编辑:王昱)