

不同铵硝配比对甜瓜叶片生理特性及产量、品质的影响

康利允, 李晓慧, 高宁宁, 梁慎, 常高正, 李海伦, 王慧颖, 徐小利, 赵卫星*

(河南省农业科学院园艺研究所, 郑州 450002)

摘要:【目的】探究不同铵硝配比对甜瓜叶片生理特性及产量、品质的影响,以期为获得优质高产为目的的合理施用氮肥提供理论依据。【方法】试验设5个水平的铵硝配比($\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{NO}_3^- \text{-N}$),依次为0:100、25:75、50:50、75:25、100:0。【结果】2 a(年)试验结果表明,随铵硝比例的升高,甜瓜叶片可溶性蛋白质(SP)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性均呈先增加后降低的趋势,其中铵硝配比为25:75时SP含量最高,铵硝配比为50:50时SOD、CAT活性最高;MDA、SP含量以及SOD、CAT活性变化趋势相反,随铵硝比例的升高呈先下降后升高的趋势,铵硝配比为50:50时MDA含量最低;铵硝配比为50:50时,甜瓜产量最高;甜瓜中心、边部可溶性固形物含量及固酸比、维生素C和可溶性蛋白质含量随铵硝比例的增加呈先增加后降低的趋势,其中,中心、边部可溶性固形物含量表现为铵硝配比25:75时最高,固酸比以及维生素C、可溶性蛋白质含量则为铵硝配比50:50时最高,而可滴定酸含量变化趋势与上述营养品质指标相反,随着铵硝比例的增加呈先降低后升高的趋势,铵硝配比50:50时最低。【结论】铵硝配比为50:50或25:75较为适宜,有利于提高甜瓜叶片内源保护酶活性,降低膜脂过氧化产物含量,甜瓜产量和品质最好。

关键词:甜瓜;铵硝配比;生理特性;产量;品质

中图分类号:S652

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2021)05-0760-11

Effects of different ammonium/nitrate ratios on leaf physiological characteristics, yield and quality in muskmelon

KANG Liyun, LI Xiaohui, GAO Ningning, LIANG Shen, CHANG Gaozheng, LI Hailun, WANG Huizing, XU Xiaoli, ZHAO Weixing*

(Institute of Horticulture, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract:【Objective】Muskmelon belongs to *Cucumis* in the Cucurbitaceae family. It is an annual vine herb with rich nutrition and aroma, sweet and of refreshing taste. In order to provide theoretical basis for high yield and quality cultivation of muskmelon, the effects of ammonium/nitrate ratios on leaf physiological characteristics, yield and quality were studied under the multi span shed and plastic film mulching conditions. Nitrogen is an important component of protein, nucleic acid, hormone and other important organic compounds in plants. It plays an extremely important role in the formation of crop yield and quality, and is closely related to its physiological metabolic activities. The main forms of inorganic nitrogen absorbed by plants are nitrate nitrogen and ammonium nitrogen. Different forms of nitrogen affect the physiological metabolism of crops, and ultimately affect the yield and quality. Under single nitrate nitrogen nutrition, the growth of underground and aboveground parts of crops is unbalanced, the root system is long and thin, and the aboveground growth is slender. Under the single ammonium nitrogen applying conditions, the crop leaf area is smaller, the leaf proportion is larger, and the crop growth is inhibited. Moreover, the higher ammonium nitrogen concentration would cause the crop to show green deficiency symptoms, resulting in ammonium toxicity. However, proper application of am-

收稿日期:2020-11-26 接受日期:2021-01-26

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-25);河南省农业科学院自主创新专项基金(2021ZC19)

作者简介:康利允,女,在读博士研究生,主要从事西甜瓜土壤、营养生理研究。Tel:15890676887,E-mail:kangliyun2004@126.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:wxzhao2008@163.com

monium nitrogen fertilizer could improve the crop growth. Simultaneously, it could significantly reduce the nitrate content in the crop. 【Methods】The experiment was carried out in a multi-span shed in the Modern Experimental Base of Henan Academy of Agricultural Sciences (Yuanyang) in 2016 and 2017. The tested muskmelon variety was Zhongyun 20, which was selected by the Institute of Horticulture, Henan Academy of Agricultural Sciences. Under the condition of the same nitrogen supply level ($200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), five different levels of ammonium/nitrate ratios ($\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{NO}_3^- \text{-N}$) were set up, which were 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 and 100:0. In the early stage of muskmelon fruit setting, the leaves of 3 representative muskmelon plants were selected from each plot to determine the soluble protein content, malondialdehyde content, superoxide dismutase activity and catalase activity. After the fruit ripened, the yield was calculated according to the plot area. Five representative fruits were selected from each plot, and the weight, vertical and transverse diameters and flesh thickness of each fruit were measured, and the soluble solids contents in center and edge as well as titratable acid, vitamin C and soluble protein contents were measured. The solids-acid ratio and fruit shape index were calculated. 【Results】The results from two-year experiments showed that the variation trend of soluble protein content (SP), superoxide dissolving enzyme (SOD) and catalase (CAT) activities in muskmelon leaves after fruit setting was similar among different ammonium/nitrate ratios. The results showed that the activities of SP, SOD and CAT increased first and then decreased with the increasing application of $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{NO}_3^- \text{-N}$ ratio. The content of SP was the highest when the ammonium/nitrate ratio was 25:75, while the content of SOD and CAT was the highest when the ammonium/nitrate ratio was 50:50. The effects of different ammonium/nitrate ratios on MDA content were opposite to those of SP, SOD and CAT. The results showed the MDA content decreased first and then increased with the increase of $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{NO}_3^- \text{-N}$ ratio. When the ammonium/nitrate ratio was 50:50, the MDA content was the lowest, and the pure ammonium treatment was the largest, which indicated that the higher proportion of ammonium/nitrate might inhibit the activity of related enzymes in plant nitrogen metabolism, resulting in ammonium toxicity and destroying the membrane system. When the ratio of ammonium to nitrate was 50:50, the yield of muskmelon was the highest. The soluble solid contents in the center and edge as well as solid/acid ratio, vitamin C and soluble protein contents increased first and then decreased with the increase of ammonium/nitrate ratio. While the contents of soluble solid in the center and edge were the highest when the ratio of ammonium/nitrate was 25:75, and the lowest was in the pure nitrate treatment. The solid/acid ratio, vitamin C and soluble protein contents were the highest when the ratio of ammonium nitrate to nitrate was 50:50, the lowest was pure nitrate treatment, and the titratable acid content was the lowest with the increase of the ratio of ammonium to nitrate, the changing trend was opposite to the above nutritional quality indicators, which showed the trend of first decreasing and then increasing with the increase of ammonium/nitrate ratio. 【Conclusion】Through comprehensive analysis of effects of different ammonium/nitrate ratios on leaf physiological characteristics, yield and quality of muskmelon, it was determined that the yield and quality increased by applying reasonable ratio of ammonium/nitrate under the condition of high yield and quality cultivation with plastic film mulching. The optimum ratio of ammonium to nitrate was 50:50 or 25:75. The ratio of ammonium/nitrate that was too high or too low would reduce the activities of antioxidant protective enzymes and osmotic adjustment substances in the leaves during its reproductive growth of muskmelon, increase the membrane lipid peroxidation products, and aggravate the senescence of membrane lipid peroxidation in leaves, which was not conducive to the improvement of yield and quality.

Key words: Muskmelon; Ammonium/nitrate ratios; Physiological characteristics; Yield; Quality

氮素是植物体内蛋白质、核酸、激素等重要有机化合物的组成成分,在作物产量和品质形成中具有极其重要的作用^[1-2],与其生理代谢活动关系密切^[3]。植物可吸收的无机氮素形态主要有硝态氮和铵态氮。不同氮素形态通过影响作物的生理代谢活动,最终影响其产量和品质。单一硝态氮营养会导致作物地下部和地上部生长不均衡,根系长而稀,地上部生长细长;单一铵态氮营养会抑制作物生长,导致叶面积较小,叶比重较大,且较高的铵态氮含量还会使作物表现出缺绿症状,产生铵盐毒害现象^[4],但适当增施铵态氮肥可以在提高作物产量的同时显著降低作物体内硝酸盐含量^[5]。胡琳莉等^[6]研究发现,与纯硝处理相比,铵硝配比为10:90处理大白菜植株叶面积、生物量显著提高,且叶片可溶性蛋白质(SP)含量及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性显著增加,丙二醛(MDA)含量显著降低,有效地抑制膜脂过氧化。张淑英等^[7]采用营养液水培法发现,随营养液中铵营养比例的增加棉花幼苗MDA含量呈先降低后升高的趋势,铵硝配比为50:50处理时最小,纯铵营养处理最大。隋利等^[8]在紫苏的栽培生产中发现,与其他处理相比,铵硝比为25:75时紫苏叶片中可溶性糖、维生素C、总黄酮、挥发油含量等营养品质和药用品质最高,且亚硝酸盐含量最低。已有研究表明,作物产量、品质与其叶片SOD、过氧化物酶(POD)和CAT活性呈显著正相关,而与MDA含量呈显著负相关^[9-10]。

甜瓜(*Cucumis melo* L.)属于葫芦科(Cucurbitaceae)甜瓜属(*Cucumis*)一年生蔓性草本植物,果实营养丰富,香气浓郁,甘甜爽口。我国是甜瓜栽培面积最大、产量最高的国家,根据联合国粮食及农业组织(FAO)2019年统计,我国甜瓜年种植面积 $3.80 \times 10^5 \text{ hm}^2$,年总产量 $3.55 \times 10^5 \text{ t}$,在种植业生产中对增加农民经济收入发挥着重要作用。近年来,关于不同铵硝配比对作物生理特性、产量及品质调控作用方面的研究已有不少,在小麦^[11]、棉花^[7]、马铃薯^[12]、刺梨^[13]等作物上均有报道,且大都集中在水培条件下及苗期试验,对于田间条件下甜瓜对不同铵硝配比响应方面的研究尚未见报道。因此,笔者在连栋棚加地膜覆盖栽培条件下,探讨不同铵硝配比对甜瓜生育后期叶片生理特性及产量、品质的影响,以期为实现甜瓜的高产优质栽培提供科学依据。

1 材料和方法

试验于2016—2017年在河南省农业科学院现代试验基地(原阳)连栋棚内进行。

1.1 试验材料

供试甜瓜品种为河南省农业科学院园艺研究所选育的众云20。2016年播前0~20 cm土层土壤基本理化性质为pH 7.83、有机质含量(w,后同)为19.3 g·kg⁻¹、全氮0.99 g·kg⁻¹、碱解氮20.8 mg·kg⁻¹、速效磷11.6 mg·kg⁻¹、速效钾182.0 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

在供氮水平一致(200 kg·hm⁻²)的情况下,设5个不同水平的铵硝配比(NH₄⁺-N/NO₃⁻-N),依次为0:100、25:75、50:50、75:25、100:0,每个处理3次重复,完全随机排列。小区面积为11.0 m×2.4 m。定植行、株距为1.1 m×0.4 m,设于棚内中段,两头留有4 m长的缓冲带,以避免因棚口温度和湿度差异较大而引起的误差。于2016年3月12日采用基质穴盘育苗,3~4叶一心时(4月23日)定植,7月7日收获;采用相同方法于2017年3月15日再次育苗,4月24日定植,7月7日收获。每个处理硝态氮以NaNO₃作为氮源,铵态氮以NH₄HCO₃作为氮源。每个处理均基施有机肥750 kg·hm⁻²(含N 0.8%、P₂O₅ 0.4%、K₂O 0.4%),磷肥105 kg·hm⁻²(过磷酸钙,含P₂O₅ 16%),钾肥300 kg·hm⁻²硫酸钾(K₂O 51%)。氮肥40%做基肥于播前瓜行条施,分别追施30%于伸蔓期、膨果期,结合灌水进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 可溶性蛋白质、丙二醛含量及超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性测定 由于甜瓜坐果初期是叶片生理活性高峰期^[14],故在甜瓜坐果初期每个小区选取3株有代表性甜瓜的坐果节位叶片,采用考马斯亮蓝G-250法测定可溶性蛋白质(SP)含量^[15];采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定丙二醛(MDA)含量^[15];采用氮蓝四唑(NBT)光化学还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性^[15];采用过氧化氢紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)活性^[15]。

1.3.2 产量及品质 果实成熟后,根据小区面积计算产量。每个小区选取有代表性果实5个,称其单瓜质量,然后用刀纵向切开果实,用游标卡尺测量果实纵径、横径、肉厚,并计算果形指数(果实纵径与横径的比值),并用手持测糖仪测定中心和边部可溶性

固形物含量;可滴定酸含量采用NaOH滴定法测定^[15];维生素C含量采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定^[15];可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定^[15]。

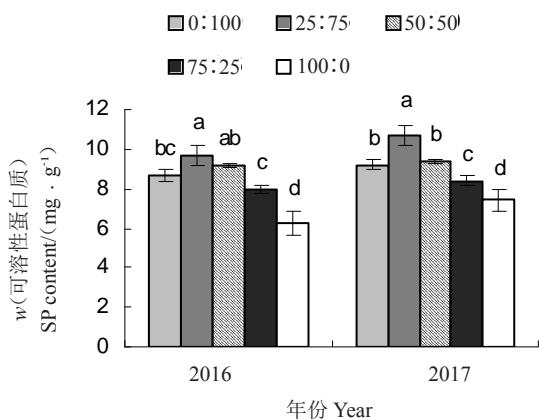
1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2003处理数据及制图;用SPSS 13.0进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同铵硝配比对甜瓜叶片生理特性的影响

2.1.1 不同铵硝配比对甜瓜叶片可溶性蛋白质(SP)含量的影响 由图1可见,不同铵硝配比处理对甜瓜叶片SP含量影响差异显著,2 a试验结果变化趋势一致,均表现为随着铵硝比例的增加SP含量呈先增加后降低的趋势,其中,铵硝配比25:75处理显著高于其他处理($p < 0.05$),纯铵处理最低。2016年和2017年铵硝配比25:75处理分别高达9.64和10.67 mg·g⁻¹,较纯铵处理(6.26和7.42 mg·g⁻¹)分别显著增加54.0%和43.8%($p < 0.05$)。



不同字母表示同一年份不同处理之间有显著差异($p < 0.05$)。

Different letters indicate that there are significant differences between different treatments in the same year ($p < 0.05$). The same below.

图1 不同铵硝配比对甜瓜叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 1 Effects of different ammonium/nitrate ratios on soluble protein content of muskmelon

2.1.2 不同铵硝配比对甜瓜叶片丙二醛(MDA)含量的影响 由图2可以看出,不同铵硝配比处理对甜瓜叶片MDA含量影响的变化趋势,与甜瓜叶片SP含量的变化趋势相反,2 a试验均表现为随着铵硝比例的增加MDA含量呈先降低后增加的趋势,其中,铵硝配比50:50处理显著低于其他处理($p <$

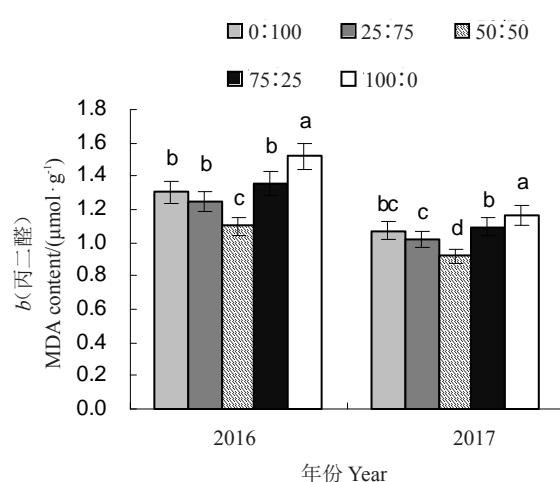


图2 不同铵硝配比对甜瓜叶片丙二醛含量的影响

Fig. 2 Effects of different ammonium/nitrate ratios on malondialdehyde content of muskmelon

0.05),纯铵处理最高。2016年和2017年铵硝配比50:50处理分别为1.10和0.92 μmol·g⁻¹,较纯铵处理(1.52和1.16 μmol·g⁻¹)分别显著降低27.6%和20.9%($p < 0.05$)。

2.1.3 不同铵硝配比对甜瓜叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响 由图3可知,2 a的试验结果表明,甜瓜叶片SOD活性随着施入铵硝比例的增加呈先增加后降低的趋势,其中,铵硝配比50:50处理显著高于其他处理($p < 0.05$),纯硝处理最低。2016年和2017年铵硝配比50:50处理分别高达25.42和34.73 U·g⁻¹,较纯硝处理(18.13和24.95 U·g⁻¹)平均分别增加40.2%和39.2%。

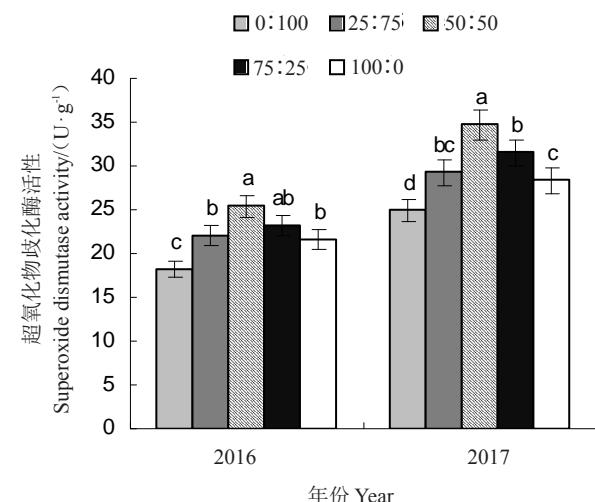


图3 不同铵硝配比对甜瓜叶片超氧化物歧化酶活性的影响

Fig. 3 Effects of different ammonium/nitrate ratios on the superoxide dismutase activity of muskmelon

2.1.4 不同铵硝配比对甜瓜叶片过氧化氢酶(CAT)活性的影响

由图4可知,不同铵硝配比对甜瓜叶

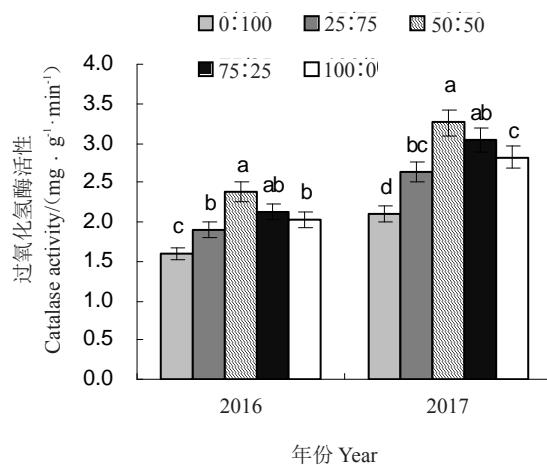


图4 不同铵硝配比对甜瓜叶片过氧化氢酶活性的影响
Fig. 4 Effects of different ammonium/nitrate ratios on the Catalase activity of muskmelon

片CAT活性的影响与SOD活性变化趋势相似,表现为随着铵硝比例的增加呈先增加后降低的趋势,其中,铵硝配比50:50处理显著高于其他处理($p < 0.05$),纯硝处理最低。2016年和2017年铵硝配比50:50处理分别高达2.38和3.26 mg·g⁻¹·min⁻¹,较纯硝处理(1.60和2.10 mg·g⁻¹·min⁻¹)分别显著增加48.5%和55.0%($p < 0.05$)。

2.2 不同铵硝配比对甜瓜产量的影响

由表1可知,2年试验均表明不同铵硝配比对甜瓜果实形态的影响差异明显,主要表现在不同处理对果实纵径、横径的影响差异显著,对果形指数、肉厚差异未达5%显著水平。铵硝配比50:50处理的果实纵径、横径均最大,纯铵处理果实纵径、横径最小,2016年铵硝配比50:50较纯铵处理纵径、横径分别显著增加11.4%、7.42%($p < 0.05$),2017年分别显著增加13.9%、11.8%($p < 0.05$)。

表1 不同铵硝配比对甜瓜产量的影响

Table 1 Impacts of different ammonium/nitrate ratios on yield of muskmelon

年份 Year	NH₄⁺-N/NO₃⁻-N	纵径 Vertical diameter/cm	横径 Transverse diameter/cm	果形指数 Shape index	肉厚 Flesh thickness/cm	单瓜质量 Average mass/kg	产量 Yield/(t·hm⁻²)
2016	0:100	17.9 bc	16.3 ab	1.10 a	4.68 a	2.01 bc	47.83 bc
	25:75	18.7 ab	17.0 ab	1.10 a	5.02 a	2.20 a	50.49 ab
	50:50	19.3 a	17.2 a	1.12 a	5.10 a	2.27 a	52.13 a
	75:25	18.0 bc	16.9 ab	1.07 a	5.02 a	2.10 b	49.34 abc
	100:0	17.3 c	16.0 b	1.08 a	4.52 a	1.94 c	46.67 c
2017	0:100	17.8 cd	15.6 cd	1.14 a	4.79 a	2.14 c	52.00 c
	25:75	19.1 ab	16.5 ab	1.16 a	4.95 a	2.39 ab	54.40 b
	50:50	19.6 a	17.0 a	1.15 a	5.02 a	2.49 a	57.10 a
	75:25	18.4 bc	16.2 bc	1.14 a	4.92 a	2.26 bc	53.20 bc
	100:0	17.2 d	15.2 d	1.13 a	4.60 a	2.08 c	49.60 d

注:不同字母表示同一年份不同处理之间有显著差异($p < 0.05$)。下同。

Note: Different letters indicate that there are significant differences between different treatments in the same year ($p < 0.05$). The same below.

甜瓜单瓜质量、产量与纵径、横径有关。不同铵硝配比处理对甜瓜单瓜质量和产量影响差异显著,均表现为铵硝配施处理高于纯铵或纯硝处理,其中,铵硝配比50:50和25:75处理单瓜质量和产量均较高,且二者间差异除2017年产量外均未达5%显著水平,纯铵营养处理均最低。铵硝配比50:50处理的单瓜质量和产量比纯铵处理均显著增加($p < 0.05$),2016年分别增加了16.8%和11.7%,2017年分别增加了19.6%和15.1%。

2.3 不同铵硝配比对甜瓜营养品质的影响

2.3.1 不同铵硝配比对甜瓜糖度和酸度的影响 糖度和酸度是衡量甜瓜感官鉴定的重要指标之一,直

接影响甜瓜品质。由表2可知,2年试验均表明不同铵硝配比对甜瓜的糖度和酸度的影响差异明显,甜瓜中心、边部可溶性固形物含量随着铵态氮比例的增加呈先升高后下降的趋势,在铵硝配比为25:75时达到最高,纯硝处理最低。中心可溶性固形物含量2016年和2017年铵硝配比25:75处理较纯硝处理分别显著增加18.7%和17.7%($p < 0.05$),边部可溶性固形物含量2016年和2017年分别显著增加15.1%和20.6%($p < 0.05$)。

可滴定酸含量随着铵态氮含量的增加呈先下降后升高的趋势,其中,铵硝配比50:50处理可滴定酸含量最低,纯硝处理最高。铵硝配比50:50处理可

滴定酸含量比纯硝处理显著下降($p < 0.05$)，2016年降低22.8%，2017年降低24.1%。固酸比的变化趋势与可滴定酸含量相反，表现为随着铵态氮含量的增加呈先升高后下降的趋势，其中，铵硝配比50:50处理固酸比最高，纯硝处理最低。与纯硝处理相比，2016年和2017年铵硝配比50:50处理固酸比分别显著增加50.9%和50.6%($p < 0.05$)。

表2 不同铵硝配比对甜瓜糖度和酸度的影响

Table 2 Impacts of different ammonium/nitrate ratios on sugar and acidity of muskmelon

年份 Year	NH ₄ ⁺ -N/ NO ₃ ⁻ -N ⁻	w(中心可 溶性固体物) Center soluble solid content/%	w(边部可 溶性固体物) Marginal soluble solid content/%	w(可滴定酸) Titratable acidity content/%	固酸比 Soluble/ acidity ratio
2016	0:100	15.3 d	8.40 b	25.2 a	0.61 c
	25:75	18.2 a	9.67 a	22.5 b	0.81 b
	50:50	17.8 ab	9.33 ab	19.5 d	0.92 a
	75:25	17.5 b	9.03 ab	21.1 c	0.83 b
	100:0	16.2 c	8.60 ab	24.4 a	0.66 c
2017	0:100	15.7 d	8.43 d	26.7 a	0.59 d
	25:75	18.4 a	10.2 a	23.7 c	0.78 b
	50:50	17.9 ab	9.77 ab	20.3 e	0.88 a
	75:25	17.3 b	9.27 bc	22.3 d	0.78 b
	100:0	16.5 c	8.93 cd	25.6 b	0.65 c

2.3.2 不同铵硝配比对甜瓜维生素C含量的影响
由图5可知，不同铵硝配比对甜瓜维生素C含量影响显著，随着铵态氮比例的增加，甜瓜维生素C含量呈先升高后下降的趋势，在铵硝配比为50:50时均达到最大，纯硝处理含量最低。维生素C含量(w)2016年和2017年铵硝配比50:50处理分别高达

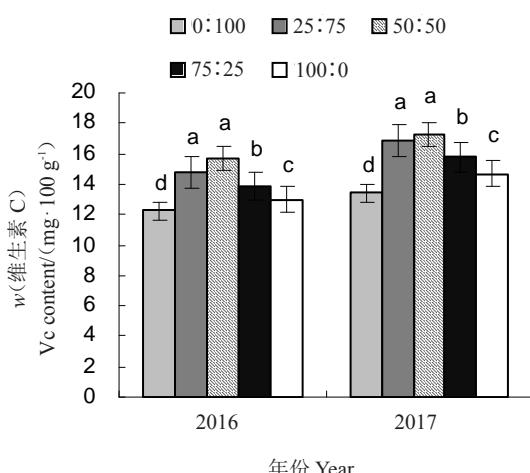


图5 不同铵硝配比对甜瓜维生素C含量的影响

Fig. 5 Impacts of different ammonium/nitrate ratios on Vc content of muskmelon

15.71和17.26 mg·100 g⁻¹，较纯硝处理(12.23和13.40 mg·100 g⁻¹)分别显著增加28.4%和28.8%($p < 0.05$)。

2.3.3 不同铵硝配比对甜瓜可溶性蛋白质含量的影响
由图6可知，不同铵硝配比对甜瓜可溶性蛋白质含量影响显著，随着铵硝比例的增加，甜瓜可溶性蛋白质含量呈先升高后下降的趋势。可溶性蛋白质含量(w)2016年和2017年在铵硝配比为50:50时达到最大，分别高达1.52和1.66 mg·g⁻¹，较纯硝处理(0.99和1.05 mg·g⁻¹)，分别显著增加52.4%和58.6%。

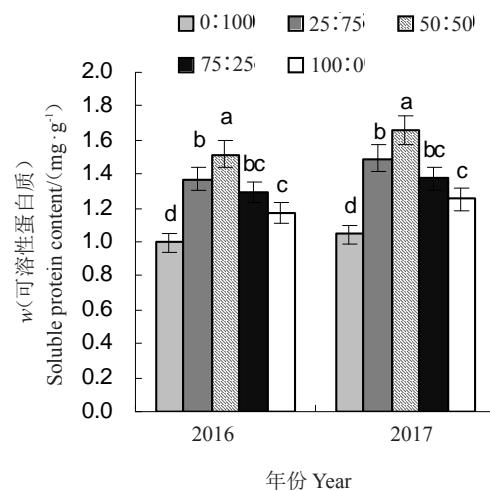


图6 不同铵硝配比对甜瓜可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 6 Impacts of different ammonium/nitrate ratios on soluble protein content of muskmelon

2.4 甜瓜产量、营养品质与叶片生理指标的相关性

对甜瓜坐果初期坐果节位叶片中4种抗氧化酶活性与甜瓜产量、营养品质进行相关性分析，结果如表3所示。2016年和2017年产量与SP含量、SOD活性、CAT活性均呈显著正相关($p < 0.05$)，且2016年产量与SP含量呈极显著正相关($p < 0.01$)，与MDA含量呈极显著负相关($p < 0.01$)。2 a试验甜瓜中心可溶性固体物含量与CAT活性均呈显著正相关($p < 0.05$)，2016年中心可溶性固体物含量与SOD活性呈极显著正相关($p < 0.01$)，2017年中心可溶性固体物含量与SP含量、SOD活性、CAT活性均呈显著正相关($p < 0.05$)。2 a试验边部可溶性固体物含量与SOD活性均呈显著正相关($p < 0.05$)，且2017年边部可溶性固体物含量与SP含量呈显著正相关($p < 0.05$)，与MDA含量呈显著负相关($p < 0.05$)。2 a试验可滴定酸含量与SOD活性、CAT活性均呈极显著负相关($p < 0.01$)，2016年可滴定酸

表3 甜瓜产量、营养品质与叶片生理指标的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of yield, nutritional quality and leaf physiological index on muskmelon

年份 Year	指标 Index	SP 含量 SP content	MDA 含量 MDA content	SOD 活性 SOD activity	CAT 活性 CAT activity
2016	产量 Yield	0.656**	-0.809**	0.534*	0.549*
	中心可溶性固体含量 Center soluble solid content	0.439	-0.436	0.743**	0.602*
	边部可溶性固体含量 Marginal soluble solid content	0.474	-0.254	0.566*	0.238
	可滴定酸含量 Titratable acidity content	-0.379	0.657**	-0.744**	-0.762**
	固酸比 Soluble/acidity	0.431	-0.629**	0.790**	0.755**
	维生素C含量 Vitamin C content	0.571*	-0.663**	0.658**	0.571*
	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	0.365	-0.581**	0.836**	0.763**
2017	产量 Yield	0.598*	-0.829**	0.565*	0.656*
	中心可溶性固体含量 Center soluble solid content	0.521*	-0.508	0.695*	0.534*
	边部可溶性固体含量 Marginal soluble solid content	0.522*	-0.572*	0.583*	0.445
	可滴定酸含量 Titratable acidity content	-0.193	0.578*	-0.898**	-0.794**
	固酸比 Soluble/acidity	0.340	-0.640*	0.891**	0.744**
	维生素C含量 Vitamin C content	0.535*	-0.562*	0.782**	0.626*
	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	0.396	-0.674**	0.788**	0.762**

注: *为显著相关($p < 0.05$), **为极显著相关($p < 0.01$)。

Note: * means correlation is significant at $p < 0.05$, and ** means correlation is very significant at $p < 0.01$.

含量与MDA含量呈极显著正相关($p < 0.01$), 2017年呈显著正相关($p < 0.05$)。2 a 试验固酸比与SOD活性、CAT活性均呈极显著正相关($p < 0.01$), 2016年固酸比与MDA含量呈极显著负相关($p < 0.01$), 2017年呈显著负相关($p < 0.05$)。2 a 试验维生素C含量与SP含量、SOD活性、CAT活性均呈显著相关($p < 0.05$), 且SOD活性达到了1%显著水平, 2016年维生素C含量与MDA含量呈极显著负相关($p < 0.01$), 2017年呈显著负相关($p < 0.05$)。2 a 试验可溶性蛋白质含量与SOD活性、CAT活性均呈极显著正相关($p < 0.01$), 与MDA含量呈极显著负相关($p < 0.01$)。

3 讨 论

可溶性蛋白质是植物体内重要的渗透调节物质, 也是重要的含氮有机化合物, 氮素形态及其配比对其影响差异明显。胡喜巧等^[16]研究发现, 硝态氮的增加有利于红花幼苗SP的合成; 吕婷婷等^[17]研究指出, 铵硝混合营养较纯硝或纯铵处理显著增加3个种源菘蓝根中SP含量, 在 $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{NO}_3^- \text{-N}$ 为75:25时均呈最高; 许如意等^[18]研究表明, 甜瓜果实成熟期叶片中SP含量随着氮素形态中氨态氮比例的增加呈先升高后降低的趋势, 铵硝配比为25:75时达到最高。本试验研究结果表明, 坐果初期, 2016年和2017年甜瓜叶片SP含量均随施入 $\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{NO}_3^- \text{-N}$ 比

例的增加呈先增加后降低的趋势, 铵硝配比为25:75时最大, 表明铵硝配施能够稳定和增加甜瓜叶片SP含量, 增强细胞的亲水性, 提高作物渗透调节能力, 延缓生育后期叶片衰老, 这与前人研究结果基本一致。

在正常情况下, 植物体内的活性氧的产生与清除能达到动态平衡, 活性氧处于较低水平, 不会对植物产生伤害, 但在生育后期, 体内活性氧代谢失调^[19], 活性氧过多积累会引发或加剧膜脂过氧化作用, 膜结构被破坏, 导致植物衰老加剧^[20]。生殖生长阶段作物叶片衰老会使有效光合作用持续期缩短从而导致减产^[21], 而光合作用与活性氧代谢有极显著的相关关系^[22], 抗氧化酶系统在缓解活性氧对细胞的伤害中扮演着重要的角色^[23-25]。因此, 延缓生殖生长阶段叶片的衰老, 是使作物增产优质的有效方法。MDA是膜脂过氧化最终分解的主要产物之一^[26], 其含量已成为判断膜系统受损程度的重要指标^[27]; SOD和CAT可通过催化活性氧降解防止自由基的伤害, 减少膜脂过氧化作用, 延长有效光合作用维持期, 从而延缓叶片的衰老^[28-29]。王晋等^[30]在营养液培养条件下研究发现, 随着 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比例的增加, 油菜地上部和根系中SOD活性呈先升高后下降的趋势, 分别在铵硝比为50:50和75:25时最高, 而地上部和根系中MDA含量则相反, 呈先降低后升高的趋势; 张朋等^[31]研究表明, 合理的铵硝配比能降低作物体

内 MDA、超氧阴离子(O_2^-)含量,当铵硝配比为 50:50 时 MDA 含量最低,25:75 时 O_2^- 含量最低;田亚男等^[32]研究表明,随着 $NH_4^+·N$ 含量的增加,杜梨幼苗 SOD 活性呈先增加后降低的趋势,MDA 含量则为先降低后增加的变化特征;曹翠玲等^[33]研究认为,铵硝配比为 50:50 时,小麦生长中后期叶片 SOD、CAT 活性及 MDA 含量最高,较单独供应铵或硝态氮时明显增加。本试验 2 a 结果表明,随着铵硝比例的增加 MDA 含量呈先降低后增加的趋势,铵硝配比 50:50 处理显著低于其他处理,纯铵处理最高,表明铵态氮比例较高可能会抑制植物氮代谢中有关酶类的活性,产生铵毒害,损害膜系统,铵硝合理配比能显著降低 MDA 含量,降低膜脂过氧化程度;SOD、CAT 活性则表现为随着铵硝比例的增加均呈先升高后降低的趋势,其中铵硝配比 50:50 处理显著高于其他处理,纯硝处理最低,表明铵硝配施能显著增加抗氧化酶活性,减少细胞膜损害,这与前人研究结果一致。而张淑英等^[7]研究认为随着氮素形态中 $NH_4^+·N/NO_3^-·N$ 比例的增加,棉花幼苗 SOD、CAT 含量均显著升高,纯硝处理最低,纯铵处理最高;马晓霞^[34]研究表明,随着 $NH_4^+·N$ 含量的增加,浮萍体内 SOD 活性、MDA 含量则呈先下降后上升的趋势。由此可见,不同铵硝比例配施对植物 SOD、CAT 活性及 MDA 含量的影响因植物种类不同而异。

植物生长环境中合理的铵硝配比可以降低 NH_4^+ 对植物的毒害程度,有利于植株生长^[35],进而影响作物产量和品质^[36]。刘赵帆等^[37]研究表明,与纯硝、纯铵处理相比,铵硝配施更能促进花椰菜产量的提高,随着 $NH_4^+·N/NO_3^-·N$ 比例的增加,增产效果呈先增加后降低的趋势;周簪涵等^[38]研究发现, NH_4^+/NO_3^- 配比为 5:5 时娃娃菜产量最高,且增施铵态氮肥可显著增加果实中可溶性糖、可溶性固形物及可溶性蛋白质含量;徐新娟等^[39]研究不同形态氮素及配比对樱桃番茄果实生长、发育过程的动态变化发现,开花 14 d 后的生育时期,果实可溶性糖含量均表现为全铵>铵硝配施>全硝处理,表明不同氮素形态显著影响作物果实的糖代谢。本研究结果表明,铵硝配比为 50:50 时,甜瓜单瓜质量和产量均最高,纯铵营养均最低,铵硝配比 50:50 较纯铵处理显著增加,2016 年分别增加 16.8% 和 11.7%,2017 年分别增加 19.6% 和 15.1%;2016 年和 2017 年 2 a 试验均表现为随着 $NH_4^+·N/NO_3^-·N$ 比例的增加,甜瓜中心、边部

可溶性固形物含量、固酸比、维生素 C 和可溶性蛋白质含量随铵硝比例的增加呈先增加后降低的趋势,其中,中心、边部可溶性固形物含量表现为铵硝配比 25:75 时最高,纯硝处理最低,固酸比、维生素 C 和可溶性蛋白质含量则均表现为铵硝配比 50:50 时最高,纯硝处理最低,而可滴定酸含量随着铵硝比例增加的变化趋势与上述营养品质指标相反,表现为随着铵硝比例的增加呈先降低后升高的趋势,其中铵硝配比 50:50 时最低,纯硝处理最高,表明合理的铵硝配比可改善甜瓜产量和品质。本试验 2 a 结果均表明,产量与其结果初期坐果节位叶片 SP 含量、SOD 活性、CAT 活性均呈显著正相关($p < 0.05$),与 MDA 含量呈极显著负相关($p < 0.01$),表明甜瓜叶片的产量随铵硝配比的变化趋势与 SP 含量、SOD 活性、CAT 活性变化趋势基本一致。与 MDA 含量变化趋势相反,与孙佳尧等^[40]研究结果基本一致,因此,通过施用合理的铵硝配比可提升叶片 SP 含量、SOD 活性、CAT 活性,降低 MDA 含量,间接提高产量;甜瓜叶片 SP 含量与维生素 C 含量均呈显著正相关,且 2017 年与中心、边部可溶性固形物含量亦呈显著正相关;叶片 MDA 含量与固酸比、维生素 C 含量、可溶性蛋白质含量均呈显著正相关,与可滴定酸含量呈显著负相关;叶片 SOD 活性与中心、边部可溶性固形物含量和固酸比、维生素 C 含量、可溶性蛋白质含量呈显著正相关,与 MDA 含量呈显著负相关;叶片 CAT 活性与中心可溶性固形物含量、固酸比、维生素 C 含量、可溶性蛋白质含量呈显著正相关,与 MDA 含量呈显著负相关,表明不同铵硝配比处理下,叶片 SOD 活性、CAT 活性存在协同增长,且与上述营养品质指标变化趋势基本一致,而 MDA 含量变化趋势则相反,可能是因为不同铵硝配比通过调节甜瓜叶片各项生理指标及代谢过程,从而影响甜瓜有关营养品质物质的合成,这与隋利等^[41]报道的结果相似。因此,通过施用合理的硝态氮和铵态氮比例,使铵硝配比为 50:50 或 25:75 时,可在提高甜瓜产量的同时改善其品质。

4 结 论

本试验条件下,铵硝配比以 50:50 或 25:75 为宜,可使甜瓜坐果初期坐果节位叶片内源保护酶保持较高的活性,减弱膜脂过氧化作用,获得较高的产量和营养品质,是兼顾优质高产的施肥方式。

参考文献 References:

- [1] AMEEN A, YANG X L, CHEN F, TANG C C, DU F, FAHAD S, XIE G H. Biomass yield and nutrient uptake of energy sorghum in response to nitrogen fertilizer rate on marginal land in a Semi-arid region[J]. *Bioenergy Research*, 2017, 10(2): 363-376.
- [2] 袁晶晶, 同延安, 卢绍辉, 袁国军. 生物炭与氮肥配施对土壤肥力及红枣产量、品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(2): 468-475.
YUAN Jingjing, TONG Yan'an, LU Shaojun, YUAN Guojun. Effects of biochar and nitrogen fertilizer application on soil fertility and jujube yield and quality[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(2): 468-475.
- [3] 鱼欢, 冯佰利, 邓文明, 高金锋, 李生秀. 施氮量和栽培模式对旱地冬小麦旗叶衰老及其活性氧代谢的影响[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(10): 2065-2071.
YU Huan, FENG Baili, DENG Wenming, GAO Jinfeng, LI Shengxiu. Winter wheat flag leaf aging and reactive oxygen species metabolism under different nitrogen and cultivation modes in dryland[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(10): 2065-2071.
- [4] ZEBARTH B J, TAI H, LUO S, MILLARD P, KOEYER D D, Li X Q, XIONG X Y. Effect of nitrogen form on gene expression in leaf tissue of greenhouse grown potatoes during three stages of growth[J]. *American Journal of Potato Research*, 2012, 89(4): 315-327.
- [5] DIER M, MEINEN R, ERBS M, KOLLHORST L, BAILLIE C K, KAUFHOLDT D, KÜCKE M, WEIGEL H J, ZÖRB C, HÄNSCH R, MANDERSCHEID R. Effects of free air carbon dioxide enrichment (FACE) on nitrogen assimilation and growth of winter wheat under nitrate and ammonium fertilization[J]. *Global Change Biology*, 2018, 24(1): 40-54.
- [6] 胡琳莉, 廖伟彪, 马彦霞, 王丽梅, 郁继华. 弱光下不同铵硝配比氮素对大白菜幼苗生长和抗氧化的影响[J]. *园艺学报*, 2016, 43(5): 897-906.
HU Linli, LIAO Weibiao, MA Yanxia, WANG Limei, YU Jihua. Effects of ammonium: nitrate ratios on growth and antioxidant enzyme activities of chinese cabbage seedling under low light intensity[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(5): 897-906.
- [7] 张淑英, 褚革新, 梁永超. 不同铵硝配比对低温胁迫棉花幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(3): 721-729.
ZHANG Shuying, CHU Guixin, LIANG Yongchao. Impacts of different ammonium/nitrate ratios on the growth and antioxidant defense enzyme activities in cotton seedlings exposed to low-temperature stress[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(3): 721-729.
- [8] 隋利, 易家宁, 王康才, 薛启, 梁永富. 不同氮素形态及其配比对紫苏品质及矿质元素累积的影响[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(7): 1325-1331.
SUI Li, YI Jianing, WANG Kangcai, XUE Qi, LIANG Yongfu. Effect of different nitrogen forms and ratios on quality and the contents of trace elements of *Perilla frutescens* (L.) britt[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, 38(7): 1325-1331.
- [9] 李松雪. 不同绿豆品种叶片净光合速率、抗氧化酶活性及其与产量关系[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
LI Songxue. Netphotosynthetic rate and antioxidant enzyme activity and its relationship with yield of different mung bean varieties[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2019.
- [10] 金晓蕾. 气象因子及几种抗氧化酶对胡麻品质影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
JIN Xiaolei. Effects of meteorological factors and antioxidant enzymes on the quality of Linseed[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014.
- [11] 李友军, 郭娟娟, 牛凯丽, 黄明, 赵文峰. 不同水分和氮素形态对郑麦9023花后旗叶衰老及产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(4): 251-256.
LI Youjun, ZHI Juanjuan, NIU Kaili, HUANG Ming, ZHAO Wenfeng. Effect of different irrigation times and nitrogen forms on flag leaf senescence and yield of winter wheat Zhengmai 9023[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(4): 251-256.
- [12] 唐铭霞, 王克秀, 胡建军, 贾巍巍, 何卫. 不同氮素形态比对薯马铃薯生长和原原种产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2018, (3): 20-25.
TANG Mingxia, WANG Kexiu, HU Jianjun, JIA Weiwai, HE Wei. Effect of different ammonium/nitrate ratios on potato growth and pre-basic seed production[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2018(3): 20-25.
- [13] 王梦柳, 樊卫国. 刺梨实生苗对硝态氮、铵态氮的吸收与利用差异分析[J]. *果树学报*, 2017, 34(6): 682-691.
WANG Mengliu, FAN Weiguo. Differences in absorption and utilization of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in the seedling of *Rosa roxburghii*[J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(6): 682-691.
- [14] 康利允, 常高正, 马政华, 李晓慧, 高宁宁, 梁慎, 徐小利, 李海伦, 赵卫星. 不同氮钾肥用量对甜瓜坐果节位叶片生理特性的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(4): 96-104.
KANG Liyun, CHANG Gaozheng, MA Zhenghua, LI Xiaohui, GAO Ningning, LIANG Shen, XU Xiaoli, LI Hailun, ZHAO Weixing. Effects of different nitrogen and potassium application amounts on physiological characteristics of fruiting node leaf of melon[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(4): 96-104.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 119-261.
LI Hesheng. The experiment principle and technique on plant physiology and biochemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 119-261.
- [16] 胡喜巧, 杨文平, 黄玲, 陈翠玲, 孟丽. 氮素形态及配比对红花苗菜产量和品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2016, 25(7): 1041-

- 1049.
- HU Xiqiao, YANG Wenping, HUANG Ling, CHEN Cuiling, MENG Li. Effects of nitrogen forms and proportion on yield and quality of safflower seedling[J]. *Acta Agriculturae Borealioccidentalis Sinica*, 2016, 25(7): 1041-1049.
- [17] 吕婷婷,施晟璐,唐晓清,赵雪玲,王康才.不同氮素形态和配比对菘蓝根的生长及含氮成分含量和总量的影响[J].植物资源与环境学报,2016,25(1): 62-70.
- LÜ Tingting, SHI Shenglu, TANG Xiaoqing, ZHAO Xueling, WANG Kangcai. Effect of nitrogen with different forms and ratios on growth, and content and total amount of nitrogen component in root of *Isatis indigotica*[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2016, 25(1): 62-70.
- [18] 许如意,别之龙,黄丹枫.不同氮素形态配比对网纹甜瓜干物质分配和氮代谢的影响[J].农业工程学报,2005,21(S2): 147-150.
- XU Ruyi, BIE Zhilong, HUANG Danfeng. Effects of different nitrogen forms on the dry matter accumulation and leaf nitrogen metabolism of muskmelon[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(S2): 147-150.
- [19] KARUPPANAPANDIAN T, MOON J C, KIM C, MANOHARAN K, KIM W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms[J]. *Australia Journal of Crop Science*, 2011, 5(6): 709-725.
- O'BRIEN J A, DAUDI A, BUTT V S, BOLWELL G P. Reactive oxygen species and their role in plant defence and cell wall metabolism[J]. *Planta*, 2012, 236(3): 765-779.
- [21] 丁锦峰,成亚梅,黄正金,李春燕,郭文善,朱新开.稻茬小麦不同氮效率群体花后物质生产与衰老特性差异分析[J].中国农业科学,2015,48(6): 1063-1073.
- DING Jinfeng, CHENG Yamei, HUANG Zhengjin, LI Chunyan, GUO Wenshan, ZHU Xinkai. Difference analysis of post-anthesis matter production and senescence characteristics among different nitrogen efficiency populations in wheat following rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(6): 1063-1073.
- [22] 井大炜,邢尚军,杜振宇,刘方春.干旱胁迫对杨树幼苗生长、光合特性及活性氧代谢的影响[J].应用生态学报,2013,24(7): 1809-1816.
- JING Dawei, XING Shangjun, DU Zhenyu, LIU Fangchun. Effects of drought stress on the growth, photosynthetic characteristics, and active oxygen metabolism of poplar seedlings[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(7): 1809-1816.
- [23] POURGHAYOUMI M, RAHEMI M, BAKHSHI D, AALAMI A, KAMGAR-HAGHIGHI A A. Responses of pomegranate cultivars to severe water stress and recovery: changes on antioxidant enzyme activities, gene expression patterns and water stress responsive metabolites[J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2017, 23(2): 321-330.
- [24] IMAHORI Y, TAKEMURA M, BAI J. Chilling-induced oxidative stress and antioxidant responses in mume (*Prunus mume*) fruit during low temperature storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 49(1): 54-60.
- [25] ASHRAF M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers[J]. *Biotechnology Advances*, 2008, 27(1): 84-93.
- [26] 成波,连海峰,刘世琦,郭会平,于新会,孙亚丽.硫硒配施对衰老期大蒜生长、品质及抗氧化能力的影响[J].植物生理学报,2015,51(1): 44-50.
- CHENG Bo, LIAN Haifeng, LIU Shiqi, GUO Huiping, YU Xinhui, SUN Yali. Effects of sulfur and selenium combination fertilizing on the growth, quality and antioxidant ability of allium sativum during senescence[J]. *Plant Physiology Journal*, 2015, 51 (1): 44-50.
- [27] 张利云,刘海河,张彦萍,朱立保.硝酸钙对厚皮甜瓜坐果节位叶片衰老及果实产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(2): 490-495.
- ZHANG Liyun, LIU Haihe, ZHANG Yanping, ZHU Libao. Effects of calcium nitrate on leaf senescence in fruiting nodes and yield and quality of fruits of muskmelon[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(2): 490-495.
- [28] GULER N S, PEHLIVAN N. Exogenous low-dose hydrogen peroxide enhances drought tolerance of soybean (*Glycine max L.*) through inducing antioxidant system[J]. *Acta Biologica Hungarica*, 2016, 67(2): 169-183.
- [29] 张树杰,廖星,胡小加,谢立华,余常兵,李银水,车志,廖祥生.渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响[J].生态学报,2013,33(23): 7382-7389.
- ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, XIE Lihua, YU Changbing, LI Yinshui, CHE Zhi, LIAO Xiangsheng. Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(23):7382-7389.
- [30] 王晋,周相助,胡海非,占丽英,张巧柔,钟凤林,林义章.硝态和铵态氮配比对水培油麦菜苗期生长及生理特性的影响[J].西北植物学报,2016,36(3): 542-550..
- WANG Jin, ZHOU Xiangzhu, HU Haifei, ZHAN Liying, ZHANG Qiaorou, ZHONG Fenglin, LIN Yizhang. Effect of nitrogen forms on the growth and physiological characteristics of *Lactuca sativa L.* seedlings[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, 36(3): 0524-0550..
- [31] 张朋,王康才,赵杰,赵秀梅,郭庆海,陈志祥.不同铵硝比例对杭白菊次生代谢及抗病性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6): 1488-1496.
- ZHANG Peng, WANG Kangcai, ZHAO Jie, ZHAO Xiumei, GUO Qinghai, CHEN Zhixiang. Effects of $\text{NH}_4^+ \text{-N} / \text{NO}_3^- \text{-N}$ ratio on secondary metabolism and disease resistance of *Chrysanthemum morifolium*[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(6): 1488-1496.
- [32] 田亚男,陈国栋,吴潇,黄智,王鹏,张绍铃,吴巨友.不同硝铵配比对杜梨幼苗生长和生理特性的影响[J].中国南方果树,

- 2017, 46(2): 26-30.
- TIAN Yanan, CHEN Guodong, WU Xiao, HUANG Zhi, WANG Peng, ZHANG Shaoling, WU Juyou. Effect of different ratios of nitrate and ammonium on growth and physiological characteristics of *Pyrus betulaefolia* seedlings[J]. South China Fruits, 2017, 46(2): 26-30.
- [33] 曹翠玲, 李生秀, 张占平. 氮素形态对小麦生长中后期保护酶等生理特性的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(4): 295-298.
- CAO Cuiling, LI Shengxiu, ZHANG Zhanping. Effect of N form on the activity of protectiase and wheat yield at the vegetative and reproductive growth stage[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(4): 295-298.
- [34] 马晓霞. 浮萍对不同氮素形态和水平的代谢响应[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- MA Xiaoxia. Metabolic response of duckweed to different nitrogen forms and levels[D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.
- [35] THOMAS D M, PAPAROZZI E T. Effect of chelates vs. ionic salts of microelements and nitrogen form on hydroponic solution pH[J]. Journal of Plant Nutrition, 2004, 27(6): 1029-1041.
- [36] ZHU Y N, LI G, LIU H C, SUN G W, CHEN R Y, SONG S W. Effects of partial replacement of nitrate with different nitrogen forms on the yield, quality and nitrate content of Chinese kale [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2018, 49(11): 1384-1393.
- [37] 刘赵帆, 张国斌, 郁继华, 杨海兴, 师桂英, 马彦霞, 李杰. 氮肥形态及配比对花椰菜产量、品质和养分吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1923-1930.
- LIU Zhaofan, ZHANG Guobin, YU Jihua, YANG Haixing, SHI Guiying, MA Yanxia, LI Jie. Effects of different nitrogen forms and their ratios on broccoli yield, quality, and nutrient absorption [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(7): 1923-1930.
- [38] 周簪涵, 郁继华, 杨兵丽, 胡琳莉, 李录山, 胡云飞, 张国斌. 不同氮素形态及配比对娃娃菜产量、品质及其养分吸收的影响 [J]. 华北农学报, 2015, 30(3): 216-222.
- ZHOU Ruohan, YU Jihua, YANG Bingli, HU Linli, LI Lushan, HU Yunfei, ZHANG Guobin. Effects of different nitrogen forms and ratios on yield, quality, and nutrient uptake of mini Chinese cabbage[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2015, 30(3): 216-222.
- [39] 徐新娟, 李庆余, 孙瑞, 仲涛, 宋晓晖, 董彩霞, 沈其荣. 不同形态氮素对樱桃番茄果实发育和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6): 1425-1432.
- XU Xinjuan, LI Qingyu, SUN Rui, ZHONG Tao, SONG Xiaohui, DONG Caixia, SHEN Qirong. Effects of nitrogen forms on the development and quality of cherry tomato fruit[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(6): 1425-1432.
- [40] 孙佳尧, 李志刚, 孟祥军, 曹帅, 王晓东, 向殿军, 何德鑫, 阿如汗, 张翠平, 刘鹏. 氮肥处理下油莎豆叶片生理特性和籽粒品质与产量相关研究[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2020, 35(4): 327-332.
- SUN Jiayao, LI Zhigang, MENG Xiangjun, CAO Shuai, WANG Xiaodong, XIANG Dianjun, HE Dexin, A Ruhan, ZHANG Cuiping, LIU Peng. Correlation between leaf physiological characteristics, grain quality and yield of *Cyperus esculentus* under nitrogen treatment[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities(Natural Science Edition), 2020, 35(4): 327-332.
- [41] 隋利, 王康才, 易家宁, 潘汉美, 魏莲, 韦宏杰. 不同氮素形态对紫苏生长及品质的影响[J]. 土壤通报, 2018, 49(3): 667-672.
- SUI Li, WANG Kangcui, YI Jianing, XUAN Hanmei, WEI Lian, WEI Hongjie. Effect of different nitrogen forms on growth and quality of *Perilla frutescens* (L.) Britt[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2018, 49(3): 667-672.