

引用格式:

娄慧敏, 郑玺, 王平平, 张明诚, 王艳阳, 胡鑫, 穆耀辉, 黄金辉, 艾绥龙, 张立新. 水氮耦合对陕南烤烟渗透调节物质及抗逆生理特性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(2): 30–35.

LOU H M, ZHENG X, WANG P P, ZHANG M C, WANG Y Y, HU X, MU Y H, HUANG J H, AI S L, ZHANG L X. Effects of water and nitrogen coupling on osmotic regulators and stress resistance physiological characteristics of flue-cured tobacco in Southern Shaanxi[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(2): 30–35.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



水氮耦合对陕南烤烟渗透调节物质及抗逆生理特性的影响

娄慧敏¹, 郑玺¹, 王平平², 张明诚¹, 王艳阳¹, 胡鑫¹, 穆耀辉³, 黄金辉³, 艾绥龙², 张立新^{1*}

(1.西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100; 2.陕西省烟草科学研究所, 陕西 西安 710000; 3.陕西省烟草公司商洛市公司, 陕西 商洛 726000)

摘要:以云烟99为材料,采用双因素完全组合法,设置W1(土壤相对含水量75%~85%)、W2(土壤相对含水量55%~65%)、W3(土壤相对含水量35%~45%)3个土壤水分条件和N1(4g)、N2(5g)、N3(6g)3个单株施氮量,共9个处理,进行盆栽试验,旺长期控水15d后测定烟叶过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性及可溶性蛋白、可溶性糖、脯氨酸(Pro)、还原型谷胱甘肽(GSH)、抗坏血酸(AsA)、丙二醛(MDA)、超氧阴离子自由基(O₂⁻)含量,分析水氮耦合对烤烟渗透调节物质及抗逆生理特性的影响。结果表明:在W3条件下,增施氮可提高可溶性蛋白含量,与W3N1处理相比,W3N2、W3N3分别提高25.36%和42.86%,能降低可溶性糖含量,分别降低3.85%和12.32%;W2N2、W2N3与W2N1处理相比,SOD活性分别提高20.29%和31.19%,POD活性分别提高24.60%和44.89%;N2条件下,与W1N1处理相比,W1N2和W2N2处理的CAT活性分别提高40.26%、43.58%;W3处理增加了烟叶Pro、GSH、MDA及O₂⁻含量,与W1N1处理相比,增幅分别达69.69%~222.49%、15.2%~89.36%、155.15%~162.37%、24.89%~72.34%。分析互作效应发现,土壤相对含水量对SOD、POD活性及Pro、GSH、MDA、O₂⁻、可溶性糖含量的影响较大;而施氮量对可溶性蛋白含量、CAT活性的影响较大;二者的互作效应对AsA含量的影响较大。综合来看,轻度缺水时株施氮量6g的处理对烤烟抗氧化酶活性的提升效果较好,而重度缺水时株施氮量为5g的处理对烤烟渗透调节物质和抗氧化物质含量的提升效果较好。

关键词:烤烟;水氮耦合;渗透调节物质

中图分类号: S572.01

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)02-0030-06

Effects of water and nitrogen coupling on osmotic regulators and stress resistance physiological characteristics of flue-cured tobacco in Southern Shaanxi

LOU Huimin¹, ZHENG Xi¹, WANG Pingping², ZHANG Mingcheng¹, WANG Yanyang¹,
HU Xin¹, MU Yaohui³, HUANG Jinhui³, AI Suilong², ZHANG Lixin^{1*}

(1.College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.Institute of Tobacco Science of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710000, China; 3.Shangluo Tobacco Company of Shaanxi Province, Shangluo, Shaanxi 726000, China)

Abstract: Taking Yunyan99 as the material, the two-factor complete combination method was used to set up 3 soil

收稿日期: 2023-03-28

修回日期: 2024-01-09

基金项目: 中国烟草总公司陕西省公司重大科技项目(SXYC-2020-KJ-02、SXYC-2021-KJ-01)

作者简介: 娄慧敏(1996—),女,河南周口人,硕士研究生,主要从事植物逆境生理学研究,2807317169@qq.com; *通信作者,张立新,教授,主要从事植物营养与逆境生理学研究,zhanglixin@nwafu.edu.cn

moisture conditions including W1(soil relative water content 75%-85%), W2(soil relative water content 55%-65%), W3(soil relative water content 35%-45%); and 3 nitrogen application rates as N1(4 g), N2(5 g), N3(6 g), and a total of 9 treatments was set in pot experiments. After 15 days of vigorous growing stage of water control, catalase(CAT), peroxidase(POD), superoxide dismutase(SOD) activities and soluble protein, soluble sugar, proline(Pro), reduced glutathione(GSH), ascorbic acid(AsA), malondialdehyde(MDA), and superoxide anion radical(O_2^-) content were measured to explore the effect of water and nitrogen coupling on the osmotic regulators and stress resistance physiological characteristics of flue-cured tobacco. The results showed that under W3 conditions, nitrogen application could increase the soluble protein content by 42.86% and decrease the soluble sugar content by 12.32% compared with W3N1 treatment. Under W2 conditions, nitrogen application increased the activities of SOD and POD enzymes, which were 31.19% and 44.89% higher than those of W2N1 treatment, respectively. Under medium nitrogen conditions(N2), enzyme promotion effect exhibited, CAT activity in W1 or W2 treatment increased by 40.26% and 43.58% respectively, compared with W1N1 treatment. Compared with W1N1 treatment, the contents of Pro, GSH, MDA and O_2^- in tobacco leaves in W3 treatment were increased by 69.69%-222.49%, 15.2%-89.36%, 155.15%-162.37% and 24.89%-72.34%, respectively. The interaction analysis showed that the relative water content of soil had a greater effect on the activities of SOD and POD, and the contents of Pro, GSH, MDA, O_2^- and soluble sugar, while the nitrogen application rate had a greater effect on the content of soluble protein and CAT activity. The interaction effect of the relative water content and nitrogen application rate had a greater effect on the content of AsA. In general, the treatment with 6 g of nitrogen application had a better effect in promotion of antioxidant enzyme activity in flue-cured tobacco under mild water shortage, while the treatment with 5 g of nitrogen application had a better effect in increasing the content of osmotic regulators and antioxidant substances in flue-cured tobacco under severe water shortage.

Keywords: flue-cured tobacco; water-nitrogen coupling; osmotic regulatory substances

陕南烟区是陕西省烟草主要种植区, 种植面积约 17 720 km², 约占全省烟草种植面积的 79.9%^[1]。陕南烟区多丘陵山地, 降水量分布不均。在生产上, 为了追求烟叶产量, 化肥施用量较高, 水肥比例失衡, 造成水分与养分的大量流失, 水氮利用效率大幅下降。深入研究科学的水肥协调投入及其对烤烟渗透调节和生理特性的影响机制, 对烤烟提质增产具有重要意义。

有研究表明, 烟株在不同生育期对水分的需求不同, 还苗期需水量约为最大田间持水量的 70%~80%, 伸根期约为 60%, 旺长期约为 80%, 成熟期约为 60%~70%^[2]。满足烟株不同生育期的水分要求, 提高水分利用率, 可以促进烟株生长, 改善烟叶品质。在烟草生长发育过程中适当追施氮肥能够提高烟叶产量, 改善烤烟农艺性状及烟叶品质, 促进烟叶干物质积累^[3]。汤宏等^[4]研究表明, 在旺长期和成熟期, 相同施氮量条件下, 随土壤含水量增加, 烤烟的株高、最大叶叶面积、节距均增大; 在一定土壤含水量条件下, 随施氮量增加, 烤烟的株高、最大叶叶面积、叶片数、茎围、节距均增大, 农艺性状得到改善。

关于水氮耦合对植物光合特性、叶绿素荧光的

影响多集中在石榴^[5]、小麦^[6]、水稻^[7]等作物上。赵金科等^[8]对冬小麦保护酶活性的研究表明, 随灌水次数增加, CAT、POD、SOD 活性随之增强, 而施氮水平对其影响不大。马新超等^[9]在对沙培黄瓜叶片抗氧化酶的影响因素的研究中, 发现中水、中氮、中水高氮处理能提高黄瓜叶片的抗氧化酶活性。李旭峰等^[10]对番茄的研究中, 发现减少灌水量能降低 MDA 含量, 提高番茄 SOD、POD 活性, 苗期减少 50%灌水量, 施氮水平为 300 kg/hm² 时, SOD 和 POD 活性较 CK 分别提高 25.90%和 71.74%。

笔者以云烟 99 为材料, 采用双因素完全组合法开展盆栽试验, 研究水氮耦合对烤烟叶片抗氧化酶活性及抗氧化物质含量的影响, 以期筛选出较适宜的水氮配比, 提高烤烟抗逆生理特性, 改善烤烟品质。

1 材料与方法

1.1 材料

烤烟品种云烟 99, 由陕西省烟草科学研究所提供。

1.2 试验设计

盆栽试验在陕西省咸阳市杨陵区曹新庄试验

站日光大棚进行。植烟土壤为黄棕壤土,田间最大持水量为 27.31%,速效氮含量 30.25 mg/kg,有效磷含量 34.25 mg/kg,速效钾含量 127.48 mg/kg,有机质含量 10.25 g/kg, pH 为 7.22。氮肥选用硝酸铵,磷肥选用过磷酸钙,钾肥选用硫酸钾。花盆上端直径 30 cm、下端直径 23 cm、高 28 cm,底部无孔,每盆装土 13 kg。设置 W1(土壤相对含水量 75%~85%)、W2(土壤相对含水量 55%~65%)、W3(土壤相对含水量 35%~45%) 3 个土壤水分条件和 N1(4 g)、N2(5 g)、N3(6 g) 3 个株施氮量,共 9 个处理。育苗完成后移栽于盆中,每盆定植 1 株,每处理 10 盆。所有肥料均在移栽前混施于盆中,每株施用磷肥 4.7 g,钾肥 8.8 g。旺长期每处理按相应土壤含水量控水 15 d,使每个处理保持相应的土壤含水量。

1.3 测定项目及方法

于烟苗旺长期取从下向上数的第 8 片叶^[11],去除叶脉,迅速放入液氮中,冻存于-80℃冰箱。参照高俊凤^[12]的方法,测定烟叶的可溶性蛋白、可溶性糖、丙二醛含量、过氧化氢酶(CAT)活性、还原型谷胱甘肽(GSH)、抗坏血酸(AsA)、超氧阴离子自由基(O₂⁻)。磺基水杨酸法^[13]测定脯氨酸含量。参照文献^[14]的方法,测定过氧化物酶(POD)活性。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定参照 biosharp 的超氧化物歧化酶总 SOD 活性检测试剂盒(WST-8)使用说明进行。

1.4 数据分析

采用 Excel 2021 和 DPS 数据处理系统进行数据整理和分析,运用 IBM SPSS Statistics 26.0 对数据进行 *F* 检验。

2 结果与分析

2.1 水氮耦合对烤烟叶片渗透调节物质含量的影响

水氮耦合处理的烤烟叶片渗透调节物质含量列于表 1。3 种水分处理下烟叶可溶性蛋白含量随施氮量增加而增加,W3 的可溶性蛋白的增加效应最为明显。与 W3N1 相比,W3N2、W3N3 的可溶性蛋白含量分别升高了 25.36%、42.86%。说明重度缺水时,提高施氮量可提高烤烟可溶性蛋白含量。

表 1 水氮耦合处理的烤烟叶片渗透调节物质含量

Table 1 Contents of osmotic regulating substances in flue-cured tobacco leaves treated with water and nitrogen

处理	可溶性蛋白含量/ (mg g ⁻¹)	可溶性糖含量/ (mg g ⁻¹)	脯氨酸含量/ (μg g ⁻¹)
W1N1	(3.48±0.01)d	(46.01±1.22)f	(9.47±0.59)h
W1N2	(3.65±0.08)d	(51.17±0.16)de	(10.65±0.29)g
W1N3	(4.02±0.06)c	(49.67±0.06)e	(17.10±0.49)e
W2N1	(3.45±0.06)d	(45.66±0.80)f	(22.26±0.20)d
W2N2	(3.50±0.01)d	(52.72±1.60)d	(36.30±0.57)a
W2N3	(3.89±0.02)c	(58.67±0.40)c	(28.62±0.65)c
W3N1	(3.43±0.38)d	(65.40±1.50)a	(21.90±0.57)d
W3N2	(4.30±0.01)b	(62.88±0.43)b	(30.54±0.48)b
W3N3	(4.90±0.02)a	(57.34±1.11)c	(16.07±0.39)f

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

与 W1N1 相比,W1N2、W1N3 的可溶性糖含量分别提高了 11.21%、7.95%;W2N2、W2N3 的可溶性糖含量分别提高了 14.58%、27.52%;W3 水分条件下,可溶性糖含量随施氮量的增加而减小。W3 条件下,烟叶可溶性糖含量均较高,说明缺水条件对可溶性糖含量的提升作用较大,且以 W3N1 的最为明显。轻度缺水与重度缺水条件下,可溶性糖含量均有升高,但轻度缺水时,随施氮量增加,可溶性糖含量也增加;而重度缺水时,随施氮量增加,可溶性糖含量降低,可能是在轻度缺水时,随施氮量增加烤烟通过增加可溶性糖含量来抵御胁迫,维持烤烟正常生长。到重度缺水时,烤烟仍能通过提高可溶性糖含量来抵御胁迫,但增加施氮量的作用效果却降低了。

在 W1 条件下,脯氨酸含量随施氮量增加而增加;在 W2、W3 条件下,N2 的脯氨酸含量最高。N1、N2 条件下,W2 的脯氨酸含量最高,W2N1 和 W2N2 与 W1N1 相比,分别提高了 135.06% 和 283.32%。总体来看,W2N2 的脯氨酸含量提升效果最好,说明轻度缺水和中氮条件下,烟叶脯氨酸含量较高,提升效果最为明显。可能是轻度缺水时,适宜的施氮量能缓解因干旱胁迫带来的损伤,使烟株通过增加脯氨酸含量来抵御干旱胁迫。

2.2 水氮耦合对烤烟叶片抗氧化特性的影响

2.2.1 对叶片抗氧化酶活性的影响

水氮耦合处理的烤烟叶片的抗氧化酶活性列于表 2。

表 2 水氮耦合处理的烤烟叶片的抗氧化酶活性

Table 2 Antioxidant enzyme activity of flue-cured tobacco leaves

处理	treated with water and nitrogen		
	SOD 活性	POD 活性	CAT 活性
W1N1	(243.68±4.63)f	(271.81±10.30)f	(248.43±5.21)c
W1N2	(253.22±3.57)e	(299.28±8.09)e	(348.46±10.12)a
W1N3	(269.00±9.13)cd	(369.93±11.10)d	(237.71±4.56)c
W2N1	(262.34±7.55)de	(376.23±8.43)d	(270.80±7.74)b
W2N2	(315.57±4.56)b	(468.80±16.29)c	(356.69±6.53)a
W2N3	(344.16±3.31)a	(545.11±15.71)a	(282.78±4.90)b
W3N1	(213.09±6.09)h	(545.95±13.86)a	(234.51±6.86)c
W3N2	(232.49±3.31)g	(550.65±13.11)a	(209.08±15.71)d
W3N3	(274.49±3.90)c	(514.00±19.13)b	(140.50±7.12)e

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

由表 2 可知,不同水分条件下,烤烟叶片 SOD 活性均随施氮量增加而升高, W2 条件下, SOD 活性的提升效果较好。说明轻度缺水时,烤烟会通过提高 SOD 活性来缓解因干旱胁迫所带来的损伤,且这种缓解效应随施氮量的增加而增加。在 W3 条件下,虽然随施氮量的增加, SOD 活性也增加,但这种缓解效应明显小于因干旱胁迫所带来的损伤,所以, W3 条件下的 SOD 活性显著低于 W2 的。3 种水分条件下,与 W1N1 相比, W2N1、W2N2、W2N3 的 SOD 活性分别提高了 7.66%、29.50%、41.23%。综合来看, W2N3 的 SOD 活性提升效果最好,说明轻度缺水条件下,提高施氮量能明显提高 SOD 活性。

W1、W2 的 POD 活性均随施氮量增加而增加。

W3 条件下, N2 的 POD 活性最高,说明干旱胁迫能明显提高烤烟 POD 活性,但在轻度缺水及重度缺水时,随施氮量增加, POD 活性表现不同。轻度缺水时, POD 活性随施氮量增加而增加;重度缺水时, N2 的 POD 活性最高,说明 POD 活性随施氮量增加而增加,使烟株缓解干旱胁迫所带来的损伤。N1、N2 条件下,与 W1N1 相比, W3N1 和 W3N2 POD 活性分别提高了 100.86%、102.59%; N3 条件下, W2 的 POD 活性最高,与 W1N1 相比, W2N3 和 W3N3 POD 活性分别提高了 100.55%、89.10%。综合来看, W2N3、W3N1、W3N2 的 POD 活性提升效果较好。说明轻度缺水时,提高施氮量可以提高 POD 活性,在重度缺水时,施氮量对 POD 活性的提升效应较小。

W1、W2 条件下,随施氮量的增加, N2 的 CAT 活性最高,与 W1N1 相比, W1N2 和 W2N2 分别提高了 40.26%、43.58%; W3 条件下, CAT 活性随施氮量增加而降低。从施氮量来看, W2 的 CAT 活性均最高。总的来看, W1N2、W2N2 的 CAT 活性提升效果较好。说明中等施氮量的情况下,正常或轻度缺水对提高 CAT 活性的效果较好,对烟株缓解因干旱胁迫所带来的氧化损伤具有较大作用。

2.2.2 对非酶抗氧化物质含量的影响

水氮耦合处理的烤烟叶片的非酶抗氧化物质含量列于表 3。

表 3 水氮耦合处理烤烟叶片的非酶抗氧化物质含量

Table 3 Contents of non-enzymatic antioxidant substances in flue-cured tobacco leaves treated with water and nitrogen

处理	GSH 含量/($\mu\text{g g}^{-1}$)	AsA 含量/($\mu\text{g g}^{-1}$)	MDA 含量/(mmol g^{-1})	O_2^- 含量/($\mu\text{mol g}^{-1}$)
W1N1	(34.96±0.95)g	(137.46±4.05)ef	(1.94±0.06)d	(22.74±2.83)c
W1N2	(41.96±1.79)e	(145.40±1.99)de	(1.69±0.05)d	(21.88±0.71)c
W1N3	(45.74±1.96)d	(171.44±2.44)b	(1.56±0.13)d	(15.72±1.75)e
W2N1	(38.13±0.53)f	(152.40±3.49)cd	(3.75±0.20)b	(26.39±0.36)b
W2N2	(48.51±1.70)c	(171.94±8.63)b	(3.33±0.32)c	(21.82±0.61)c
W2N3	(55.05±0.44)b	(182.14±4.56)a	(3.07±0.10)c	(19.04±0.64)d
W3N1	(57.12±1.38)b	(159.55±4.25)c	(5.09±0.24)a	(39.19±0.84)a
W3N2	(66.20±2.24)a	(174.03±6.02)ab	(4.98±0.42)a	(37.21±0.53)a
W3N3	(50.16±1.41)c	(134.68±3.65)f	(4.95±0.27)a	(28.40±1.05)b

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

由表 3 可知, W1、W2 条件下, GSH 含量均随施氮量的增加而增加。W3 条件下, N2 的 GSH 含量最高。N1、N2 条件下, W3 的 GSH 含量均最高; N3 条件下, W2 的 GSH 含量最高。综合来看, W3N2 的 GSH 含量提升最为明显,与 W1N1 相比,提高了

89.36%,说明轻度缺水时,烟叶中的 GSH 含量随施氮量增加而增加,但重度缺水时,施氮量过高或过低对 GSH 含量的提升效果均不如中氮水平。

W1、W2 条件下, AsA 含量均随施氮量的增加而增加, W2N3 的 AsA 含量最高,与 W1N1 相比,

提高了32.5%；W3条件下，N2的AsA含量最高。N1、N2条件下，W3的AsA含量均最高，与W1N1相比，分别提高了16.07%、26.6%；N3条件下，W2N3的AsA含量最高。总体来看，W2N3的表现最好。与W1条件相比，轻度缺水时，施氮量对AsA含量的影响不大。重度缺水时，高氮条件下的AsA含量显著降低。说明轻度缺水时，提高施氮量对AsA含量的提升效果较好，但随缺水程度的加重，AsA含量反而降低了。

3种水分条件下，MDA含量均随施氮量增加而下降，同一水分条件下，施氮量对MDA含量的影响较小。从施氮量来看，同一施氮量水平下，W3的MDA含量均最高。W3条件下，丙二醛含量随施氮量增加升高较明显。说明缺水使烤烟叶片受到氧化损伤，且随缺水程度的增加，MDA含量增加，叶片的氧化损伤也更大。

W1、W2、W3条件下，O₂⁻含量均随施氮量增加而下降。在W1、W3条件下，与N1相比，N2的O₂⁻含量降低幅度较小，分别为3.78%、5.05%；N3与N2相比，O₂⁻含量降低幅度分别为28.15%、23.68%，即施氮量增加的情况下，其对O₂⁻的降低效应与土壤水分条件有关。3种施氮量条件下，W3的O₂⁻含量均最高，与W1N1相比，分别提高了72.34%、63.63%、24.89%。总体来看，施氮量的增加虽然一定程度上降低了烤烟叶片中O₂⁻的含量，

但降低的幅度仍然不及因土壤相对含水量降低导致的O₂⁻含量升高。说明在细胞受到干旱胁迫时，O₂⁻含量升高，且随干旱程度的增加，O₂⁻含量也明显升高，对烟叶的氧化损伤也更大。此时，通过增加施氮量能够降低烟叶中的O₂⁻含量，说明增加施氮量能缓解因干旱对细胞膜损伤带来的O₂⁻的升高，且随施氮量增加，这种效果越明显。

2.3 水氮耦合对渗透调节物质及抗逆生理特性的影响

土壤水分条件和施氮量及其互作对渗透调节物质及抗逆生理特性的影响列于表4。由表4可知，土壤水分条件与施氮量及其互作效应对烤烟的氧化损伤及抗氧化防御系统有显著影响。土壤水分条件、施氮量及其交互效应的作用效果不同。土壤相对含水量对脯氨酸含量、超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性、还原型谷胱甘肽、丙二醛、超氧阴离子自由基含量等的影响最大，土壤含水量与施氮量的互作效应的影响最小；施氮量对可溶性蛋白含量、过氧化氢酶活性的影响最大，土壤相对含水量与施氮量的互作效应的影响最小；土壤相对含水量对可溶性糖含量的影响最大，施氮量对可溶性糖含量的影响最小；土壤相对含水量与施氮量的互作效应对抗坏血酸含量的影响最大，土壤相对含水量对抗坏血酸含量的影响最小。

表4 水氮耦合与烟草渗透调节物质及抗逆生理特性的F值

Table 4 Nitrogen coupling on osmotic regulators and stress resistance physiological characteristics indicated by F value

处理	F值									
	可溶性蛋白	可溶性糖	超氧阴离子 自由基	超氧化物 歧化酶	过氧化物酶	过氧化氢酶	还原型谷 胱甘肽	抗坏血酸	脯氨酸	丙二醛
土壤相对含水量	52.004**	427.340**	353.909**	400.672**	613.860**	293.758**	292.559**	32.615**	2 644.080**	448.046**
施氮量	85.125**	28.271**	103.275**	337.173**	75.819**	533.194**	86.070**	24.446**	619.190**	6.742*
土壤相对含水量× 施氮量	15.240**	85.547**	5.295*	12.636**	39.722**	102.632**	68.433**	50.851**	437.403**	0.999

、*、****分别表示显著、极显著。

3 结论与讨论

本试验结果表明，水分胁迫程度加剧后，烟叶中的可溶性糖、可溶性蛋白含量均升高，轻度缺水时脯氨酸含量较高，重度缺水时降低。重度缺水时，增施氮肥增加了可溶性蛋白含量，降低了可溶性糖含量，可能是由于不同的渗透调节物质对胁迫响应的表现不同。轻度缺水时，渗透调节物质含量均升

高，表现出了一定的渗透调节能力。然而，随着氮肥施用量的增加，可溶性糖、可溶性蛋白含量均升高，脯氨酸含量升高后又降低，这与周萍等^[15]对小麦的研究结果不一致，可能是由于研究材料不同或胁迫强度不同所致。正常供水条件下，增施氮肥使得渗透调节物质含量增加比较缓慢。

丁艳芳等^[16]研究发现，干旱胁迫下中烟100烤烟SOD、POD活性现蕾期较团棵期均有明显增加。

本研究结果表明,水、氮因素对烤烟的抗氧化酶活性有显著影响。在土壤相对含水量 55%~65%的条件下,烤烟叶片的 SOD 和 POD 活性均随施氮量的提高而显著升高,这与胡梦芸等^[17]对小麦的研究结果有部分类似,可能是水氮比例及不同作物缓解干旱胁迫的机制相似所致。本研究中, W3(土壤相对含水量 35%~45%)下叶片 POD 活性随施氮量增加升高后又降低,说明供氮促进烟株利用 POD 缓解胁迫损伤受到限制,这与李美如等^[18]对小麦的研究结果一致。

随土壤相对含水量的降低,烤烟叶片中的 GSH 和 AsA 含量有上升趋势,总体表现为在轻度缺水及正常水分含量条件下,随施氮量的增加,烤烟叶片中 GSH 和 AsA 含量显著增加。说明轻度缺水时,氮肥施用有助于提高烤烟非酶抗氧化物质含量。

本研究中, O_2^- 和 MDA 含量随土壤水分水平的降低呈现显著增加的趋势;氮因素在不同水分水平发挥着相近的作用,随着施氮量的增加,烤烟叶片中的 O_2^- 和 MDA 含量基本呈现下降趋势,说明氮肥施用有助于降低烤烟叶片的活性氧积累,从而减缓对细胞膜的氧化损伤^[19-20]。

总的来看,轻度缺水时,提高施氮量对烤烟抗氧化酶活性的提升效果较好;而重度缺水时,适宜施氮量对烤烟渗透调节物质和抗氧化物质含量的提升效果较好。通过适度调节土壤含水量和施氮量,可以提高烤烟抗氧化防御系统应对胁迫伤害的能力,提高烟株的耐旱能力,从而达到以肥调水、以水促肥的目的。

参考文献:

- [1] 户新冉. 陕南烤烟种植生态适宜性评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023.
- [2] 刘国顺, 王彦亭, 汪耀富, 等. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [3] 王新月, 肖汉乾, 邓小华, 等. 追肥氮量对稻茬烤烟生长和养分积累的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 153-160.
- [4] 汤宏, 王建伟, 李向阳, 等. 水氮耦合对烤烟生长、产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(6): 17-24.
- [5] 柴亚倩, 关思慧, 崔洪鑫, 等. 水氮互作对石榴幼苗光合荧光及生理特性的影响[J]. 果树学报, 2022, 39(12): 2352-2364.
- [6] 刘颖, 顾昀怿, 张伟杨, 等. 水分与氮素及其互作调控小麦产量和水氮利用效率研究进展[J]. 作物杂志, 2023(4): 7-15.
- [7] 张忠学, 郑恩楠, 王长明, 等. 不同水氮处理对水稻荧光参数和光合特性的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 176-183.
- [8] 赵金科, 徐学欣, 曲文凯, 等. 不同时期水氮处理对滴灌冬小麦旗叶光合特性、保护酶活性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(9): 43-51.
- [9] 马新超, 轩正英, 闵昊哲, 等. 水氮耦合对沙培黄瓜叶片抗氧化酶及水氮利用的影响[J]. 节水灌溉, 2022(7): 58-64.
- [10] 李旭峰, 马娟娟, 郑剑剑, 等. 生育期水分亏缺和施氮对设施番茄叶片酶活性和水氮利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(3): 121-128.
- [11] 刘祥. 硼锌钼配施对陕南烤烟多酚代谢、养分利用率及品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [12] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [13] BATES L S, WALDREN R P, TEARE I D. Rapid determination of free proline for water-stress studies[J]. Plant and Soil, 1973, 39(1): 205-207.
- [14] MIKA A, LÜTHJE S. Properties of guaiacol peroxidase activities isolated from corn root plasma membranes[J]. Plant Physiology, 2003, 132(3): 1489-1498.
- [15] 周萍, 陈志国, 庄丽, 等. 水氮互作对滴灌春小麦渗透调节物及产量的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2013, 31(4): 425-429.
- [16] 丁燕芳, 孙计平, 尚晓颖, 等. 干旱对不同烤烟品种叶片细胞膜伤害和保护酶活性的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2746-2749.
- [17] 胡梦芸, 门福圆, 张颖君, 等. 水氮互作对作物生理特性和氮素利用影响的研究进展[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(3): 332-340.
- [18] 李美如, 刘鸿先, 王以柔. 细胞氧化应激机制与植物抗冷性机理的研究[J]. 生命科学, 1996, 8(4): 30-34.
- [19] 李冬, 申洪涛, 王艳芳, 等. 干旱胁迫下外源硫化氢对烤烟幼苗光合荧光参数及抗氧化系统的影响[J]. 西北植物学报, 2019, 39(9): 1609-1617.
- [20] FALLAH M, HADI H, AMIRNIA R, et al. Eco-friendly soil amendments improve growth, antioxidant activities, and root colonization in linum(*Linum Usitatissimum* L.) under drought conditions[J]. PLoS One, 2021, 16(12): e0261225.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维