

张 涵,祖庆学,聂忠扬,等. 铵态氮/硝态氮配比对烤烟生长以及碳氮代谢和水溶性氮的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(7):73-77.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.07.010

铵态氮/硝态氮配比对烤烟生长以及碳氮代谢和水溶性氮含量的影响

张 涵¹,祖庆学²,聂忠扬²,成志军³,刘晓云¹,李国明¹,陆引罡¹

(1. 贵州大学,贵州贵阳 550025; 2. 贵州省烟草公司开阳分公司,贵州贵阳 550300;

3. 湖南中烟工业有限责任公司,湖南长沙 410014)

摘要:采用水培法,研究不同铵态氮/硝态氮配比营养液(100:0、75:25、50:50、25:75、0:100)对烤烟各处理的烟叶生长以及碳氮代谢酶活性、水溶性铵态和硝态氮含量变化的影响。结果表明,处理周期内,叶片干物质量均表现为 T4>T5>T3>T2>T1。硝酸还原酶活性呈先增加后降低的趋势,谷氨酰胺合成酶、蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶活性、水溶性硝态氮含量整体呈上升趋势,可溶性蛋白含量除 T1 处理外先降低后增加,水溶性铵态氮含量整体变化不大。移栽 25、65d,硝酸还原酶活性和可溶性蛋白质含量在 T5 处理下最高,各生育期 T1 处理谷氨酰胺合成酶活性均大于其他处理。与其他处理相比,T4、T5 处理下的蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶活性均处于较高水平。硝态氮比例的增加有利于促进水溶性硝态氮的吸收,水溶性硝态氮则相反,且烟叶水溶性硝态氮含量始终大于水溶性铵态氮,说明烟株主要利用的氮形态为硝态氮。综上,含硝态氮比例较高的处理有利于烤烟的生长以及碳氮代谢的协调进行。

关键词:烤烟;生长;铵态氮;硝态氮;碳氮代谢;水溶性氮

中图分类号:S572.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)07-0073-05

碳氮代谢是烤烟生长发育、产量与品质形成过程中最重要的代谢过程,其强度、协调程度直接或间接影响烟叶各类化学成分的含量和组成比例,对烟叶品质及产量有着重大影响^[1]。因此,碳氮代谢的平衡协调是高质量烟叶生产的关键因素之一。氮素是植物体内最重要的元素,植物可直接吸收的无机氮素主要为硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)和铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)^[2]。有研究表明,氮素形态对植物的碳氮代谢影响显著^[3-5]。孙敏红等的研究表明,枳橙幼苗叶片谷氨酰胺合成酶(GS)活性均随着培养时间的延长而增加,其中全铵处理下 GS 活性最小^[6]。宋文静等研究发现,铵硝比为 50:50 处理下烤烟生物量和氮素积累量最大,纯硝态氮处理下 GS 和谷氨酸脱氢酶(GDH)活性最低^[7]。宋科等的研究表

明,铵硝混合营养有利于烤烟对氮磷钾元素的吸收^[8]。因此,研究不同氮形态对烤烟碳氮代谢的影响对烟叶品质的提升和产量的提高有着重大的意义。本试验采用水培法,以云烟 87 为材料,研究不同铵硝比对烤烟生长、碳氮代谢及水溶性氮的影响,以期对烤烟大田栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及地点

试验于 2019 年 2 月在贵州大学南校区盆栽场进行,试验品种为云烟 87。

1.2 试验设计

在等氮量前提下,设 5 个不同铵态氮/硝态氮配比处理,即 T1(100:0)、T2(75:25)、T3(50:50)、T4(25:75)、T5(0:100),每个处理重复 4 次,每盆植烟 1 株,共 60 盆。依据水培地点光照、通风等环境差异,采用随机区组排列。采用漂浮育苗的方式培育壮苗,苗龄为 45 d 左右时选择长势一致的烟苗移栽,洗净根部沙粒,移栽于 1.5 L 的塑料容器中(容器深 12 cm),塑料容器上覆盖具孔盖板,植株根茎结合部位用海绵包裹,固定在盖板上,烤烟移栽的前 3 d 用 1/2 Hoagland's(霍格兰氏)营养液培养;

收稿日期:2021-07-26

基金项目:贵州省烟草公司贵阳市公司科技项目(编号:筑烟科技{2019}2号);湖南中烟工业有限公司基金(编号:202043000934131)。

作者简介:张 涵(1997—),男,贵州遵义人,硕士研究生,主要从事植物营养研究。E-mail:2812090234@qq.com。

通信作者:陆引罡,博士,教授,研究生导师,主要从事植物营养研究。

E-mail:agr.yglu@gzu.edu.cn。

烤烟生长每 7 d 更换 1 次营养液,每隔 2 d 用稀硫酸或稀氢氧化钠溶液来调节 pH 值,确保水培期间 pH 值为 6.0。全生育期每天定期加入 1~3 mL 3% 过氧化氢溶液。烤烟生长过程中,加强病虫害防治。采用改良 Hoagland 营养液配方,N 含量为 140 mg/L, P 含量为 40 mg/L, K 含量为 200 mg/L, Ca 含量为 200 mg/L, Mg 含量为 40 mg/L, Mn 含量为 0.5 mg/L,

Cu 含量为 0.02 mg/L, Zn 含量为 0.05 mg/L, Mo 含量为 0.05 mg/L, B 含量为 0.5 mg/L。1 L 培养液中加入 1 mL Fe-EDTA(乙二胺四乙酸铁钠,制法:将 5.57 g FeSO₄·7H₂O 和 7.45 g Na₂EDTA 分别溶于 200 mL 蒸馏水中,加热混合待冷却后定容至 1 L 后做母液)。各处理培养液配制见表 1。

表 1 不同铵硝配比营养液的配制表

试剂	不同铵硝配比下的浓度(mg/L)				
	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75	0 : 100
(NH ₄) ₂ SO ₄	660	495	330	165	0
CaCl ₂	555	416.3	278	139	0
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0	295	590	885	1 180
其他试剂	KH ₂ PO ₄ :175.48, MgSO ₄ ·7H ₂ O:410, ZnSO ₄ ·7H ₂ O:0.22, CuSO ₄ ·5H ₂ O:0.08, MnSO ₄ ·H ₂ O:1.54, K ₂ SO ₄ :333.9, NaB ₄ O ₇ ·10H ₂ O:3.96, (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ :0.09, FeSO ₄ ·7H ₂ O:5.57, Na ₂ EDTA:7.45				

1.3 测定时期及方法

1.3.1 取样时期 分别取移栽 25、35、65 d 烟株的第 6 张叶测定硝酸还原酶(NR)、GS、蔗糖合成酶(SS)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性,和可溶性蛋白、水溶性铵态氮与硝态氮含量,并分别测定 3 个时期烟株叶片的干物质积累量。

1.3.2 测定方法 NR 活性采用磺胺比色法测定^[9];GS、SS 与 SPS 的活性采用紫外分光光度法测定^[10];可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 法测定^[11];铵态氮含量采用靛酚蓝比色法测定;硝态氮含量采用紫外分光光度法测定。

1.4 统计分析

用 Excel 2003 进行数据整理,用 DPS 7.05(LSD 法)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同铵硝比对烤烟叶片干物质积累的影响

由表 2 可知,同一处理时间内,烤烟叶片干物质质量随着硝态氮比例的增加均呈先升高后降低的趋势,表现为 T4>T5>T3>T2>T1 处理,说明纯铵条件下不利于烤烟叶片的生长。移栽 25、65 d, T4 处理的烤烟叶片干物质积累显著高于其他处理(P<0.05),较 T1 处理分别增加了 9.1、14.3 倍。移栽 35 d, T4 处理虽然高于其他处理,但与 T3、T5 处理差异不显著。说明硝态氮在一定程度上会促进烟株对叶片干物质的积累。

2.2 不同铵硝比对烤烟氮代谢关键酶活性的影响

2.2.1 不同铵硝比对烤烟硝酸还原酶活性的影

表 2 不同铵硝配比下烟叶干物质积累量

处理	干物质积累量(g/株)		
	移栽 25 d	移栽 35 d	移栽 65 d
T1	1.03d	1.32c	1.91d
T2	6.68c	8.87b	16.99c
T3	8.49b	14.12a	22.96b
T4	10.45a	16.31a	29.19a
T5	9.02b	15.27a	26.98b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。表 3 至表 8 同。

响 NR 存在于高等植物细胞的细胞质中,是植物氮代谢中重要的限速酶与调节酶,参与植株体内硝态氮还原成氨的第 1 个反应,其活性会影响植株的总氮和蛋白质水平^[12]。由表 3 可知,各处理的烟叶 NR 活性随处理时间的增加而先增加后降低,生育期内 T1 处理的活性均为最低。移栽 25 d, T5 处理的活性显著高于其他处理;移栽 35 d,各处理活性达到最高,以 T4 处理最高,但与 T3、T5 处理无显著差异;移栽 65 d,各处理的活性开始整体降低,以 T5 处理最高。说明在烤烟的生长发育过程中,硝态氮有利于提高烟株体内硝酸还原酶活性。

2.2.2 不同铵硝比对烤烟谷氨酰胺合成酶活性的影响 谷氨酰胺合成酶对氨的亲合力很高,可以保证叶绿体中的 NH₃ 维持在很低的水平,避免 NH₃ 的积累引起光合磷酸化解偶联,对缓解氨毒有一定的促进作用^[13]。由表 4 可知,在生育期内, T1 处理的烟株叶片谷氨酰胺合成酶活性先增加后略微降低, T2、T4 处理活性呈上升趋势, T3 处理先下降后

表 3 不同铵硝配比下烟叶硝酸还原酶活性

处理	硝酸还原酶活性[$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]		
	移栽 25 d	移栽 35 d	移栽 65 d
T1	1.35c	2.62c	2.17b
T2	2.61b	4.60b	2.18b
T3	2.66b	5.77ab	3.27a
T4	2.94b	6.70a	2.82ab
T5	3.70a	5.95a	3.32a

表 4 不同铵硝配比下烟叶谷氨酰胺合成酶活性

处理	谷氨酰胺合成酶活性[$\mu\text{mol}/(\text{mg}\cdot\text{h})$]		
	移栽 25 d	移栽 35 d	移栽 65 d
T1	0.072a	0.099a	0.095a
T2	0.062b	0.075b	0.087a
T3	0.062b	0.056c	0.092a
T4	0.058b	0.060c	0.080a
T5	0.060b	0.057c	0.062a

上升,T5 处理整体变化不大。移栽 25 d 和 35 d,T1 处理的活性显著大于其他处理;移栽 65 d,T1 处理活性最高,但各处理间无显著差异,说明烤烟后期不同氮形态比对谷氨酰胺合成酶活性影响较小。整体来看,T1 处理最有利于增强烟叶谷氨酰胺合成酶的活性。

2.2.3 不同铵硝比对烤烟可溶性蛋白含量的影响 可溶性蛋白含量对细胞膜具有保护作用,同时也是植物体维持正常生命活动的物质基础^[14]。由表 5 可知,生育期内,T1 处理可溶性蛋白含量逐渐增加,其他处理呈先降低后增加的趋势,但整体呈下降趋势。除移栽 65 d T2 处理外,其他处理的可溶性蛋白含量较 T1 处理均有不同程度的提升,说明在烤烟生长期,硝态氮在一定程度会促进可溶性蛋白含量的增加。移栽 25 d,T5 处理含量最高,表现为 T5>T4>T3>T2>T1 处理;移栽 35 d,以 T2 处理含量最高,与 T3、T4、T5 处理无显著差异;移栽 65 d,各处理间无显著性差异,T5 处理含量最高。说明在烤烟后期不同氮形态对烟株叶片可溶性蛋白质含量的积累影响较小。

2.3 不同铵硝比对烤烟碳代谢关键酶活性的影响

2.3.1 不同铵硝比对烤烟蔗糖合成酶活性的影响 SS 是可溶性酶,主要作用于细胞壁及淀粉的合成过程,其催化过程是可逆的,但大部分研究认为其主要功能体现在降解蔗糖上^[15]。从表 6 可以看

表 5 不同铵硝配比下烟叶可溶性蛋白含量

处理	可溶性蛋白含量(mg/g)		
	移栽 25 d	移栽 35 d	移栽 65 d
T1	4.12c	4.76b	8.02a
T2	9.54b	6.44a	7.90a
T3	12.62a	6.36a	9.75a
T4	13.18a	5.79ab	8.07a
T5	14.30a	5.94ab	9.79a

出,随着生育期的延长,各处理的 SS 活性逐渐增强。移栽 25 d,T4 处理活性高于其他处理,但差异不显著;移栽 35 d 和 65 d,分别以 T5 处理和 T3 处理活性最高。综上,烟叶的蔗糖酶活性在铵硝配比为 25:75(T4)、0:100(T5)处理下有利于促进蔗糖的降解,避免蔗糖在植株体内堆积,从而有利于光合作用的进行。

表 6 不同铵硝配比下各时期烟叶蔗糖合成酶活性

处理	蔗糖合成酶活性[$\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$]		
	移栽 25 d	移栽 35 d	移栽 65 d
T1	5.09a	6.79a	8.92b
T2	4.58a	4.73b	6.33c
T3	4.81a	5.01b	12.63a
T4	6.17a	6.72a	9.31ab
T5	5.92a	6.87a	11.73a

2.3.2 不同铵硝比对烤烟蔗糖磷酸合成酶活性的影响 SPS 不仅是植物调控蔗糖合成的关键酶之一,还是光合产物向蔗糖和淀粉分配的关键调控点,其活性与蔗糖形成呈正相关关系,其进行的催化反应是不可逆的^[16-17]。由表 7 可知,各处理的烟叶蔗糖磷酸合成酶活性随着生育期的延长整体呈上升趋势。移栽 25 d,T1 处理的活性显著高于 T2、T3 处理;移栽 35 d,各处理间未达到显著差异水平,其中 T4 处理活性最高;移栽 65 d,活性整体达到最高,以 T5 处理最高,与 T2、T4 处理无显著差异。综上,烤烟生长前期铵态氮有利于增强蔗糖磷酸合成酶活性,生长后期则是含硝态氮比例较高的处理有利于蔗糖磷酸合成酶活性的提高。

2.4 不同铵硝比对烤烟叶片水溶性铵态氮及硝态氮吸收的影响

2.4.1 不同铵硝比对烤烟叶片水溶性铵态氮吸收的影响 烟叶中水溶态氮浓度可以表示烟株吸收和利用氮素营养的状态,不同形态的氮素浓度可表示烟株主要吸收、利用的氮形态。由表 8 可知,在

表 7 不同铵硝配比下各时期烟叶蔗糖磷酸合成酶活性

处理	蔗糖磷酸合成酶活性[mg/(g · h)]		
	移栽 25 d	移栽 35 d	移栽 65 d
T1	2.28a	2.17a	4.07b
T2	1.24b	3.30a	5.2ab
T3	1.03b	2.97a	3.83b
T4	1.76ab	4.32a	5.41ab
T5	1.65ab	3.42a	6.18a

生育周期内,各处理的水溶性铵态氮含量变化趋势不太一致,但整体来说含量变化不大,且各生育期各处理水溶性铵态氮含量均小于水溶性硝态氮。其中,T1 处理的烟株叶片水溶性铵态氮含量显著高

表 8 不同铵硝配比下各时期烟叶水溶性铵态氮、硝态氮含量

处理	铵态氮含量(mg/g)			硝态氮含量(mg/g)		
	移栽 25 d	移栽 35 d	移栽 65 d	移栽 25 d	移栽 35 d	移栽 65 d
T1	0.72a	0.39a	0.53a	0.78b	2.18c	2.16c
T2	0.14bc	0.23b	0.25b	0.87b	2.16c	3.31bc
T3	0.19b	0.14bc	0.11b	2.77a	3.37b	4.78ab
T4	0.06c	0.08c	0.11b	1.08b	2.96b	5.21a
T5	0.11c	0.09c	0.07b	0.94b	6.15a	3.59bc

3 讨论与结论

3.1 讨论

植物的生长发育受不同形态氮素的调控,越来越多的研究表明,混合氮源比单一形态的硝态氮或铵态氮更有利于植物的生长^[18-21]。本研究结果表明,在生长周期内,烤烟叶片干物质质量均表现为 T4>T5>T3>T2>T1 处理,说明含有硝态氮的处理更适合烤烟的生长,其中铵硝配比最适宜比例为 25:75。这与前人的研究结果^[22]基本一致。

烟叶氮代谢包括无机氮(硝态氮)的还原、同化及有机含氮化合物的转化、合成等代谢过程,其中硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶是这些过程中 2 个最重要的酶,它们分别催化硝酸盐的还原和铵盐的同化^[23],从而影响蛋白质及含氮化合物的合成。郭晓惠等研究发现,适当的硝铵比有利于生长前期烟株维持较高的硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶活性和水溶性蛋白质、游离氨基酸含量,保持较高的氮代谢^[24]。本研究结果表明,随着生育周期的延伸,硝酸还原酶活性呈先增加后降低的趋势,这与樊武广等的研究结果^[25]稍有差别,在移栽 65 d 时整体活性较低,这有利于烟株的正常落黄。谷氨酰胺合成

于其他处理,且随着铵态氮比例的降低水溶性铵态氮含量整体呈下降趋势。说明施用铵态氮肥有利于烟株对水溶性铵态氮的吸收。

2.4.2 不同铵硝比对烤烟叶片水溶性硝态氮吸收的影响 由表 8 可知,随着生育时期的延长,T1、T5 处理的水溶性硝态氮含量先迅速增加随后降低,其他处理一直在增加,各处理整体呈上升趋势。移栽 25 d,T3 处理水溶性硝态氮含量显著高于其他处理;移栽 35 d,各处理水溶性硝态氮含量开始增加,以 T5 处理含量最高;移栽 65 d,T4 处理含量最高,表现为 T4>T3>T5>T2>T1 处理。说明含硝态氮比例较高的处理更有利于烤烟对水溶性硝态氮的吸收。

酶活性整体呈上升趋势,与岳俊芹等的研究结果^[26]一致。可溶性蛋白含量除 T1 处理外其他处理先明显降低后略微增加。硝酸还原酶活性和可溶性蛋白含量在移栽 25、65 d 时以 T5 处理最高,说明硝态氮有利于硝酸还原酶活性的增强和可溶性蛋白含量的积累,这可能与 NO₃⁻ 是 NR 的底物和诱导剂和 NO₃⁻ 还原速率是蛋白质合成的限制因子有关;谷氨酰胺合成酶活性在各生育期均以 T1 处理最高,说明铵态氮有利于增强谷氨酰胺合成酶活性,这可能与氮的同化过程有关或是铵态氮对烟草中谷氨酰胺合成酶的基因表达有一定的诱导作用,其原因有待进一步探究。

碳代谢是无机碳(CO₂)转化为有机碳的光合固定代谢和碳水化合物的运输转化、积累、降解等一系列代谢过程的总称。光合碳代谢形成的磷酸丙糖的去向直接决定了有机碳的分配,最终可能对烟叶产量和质量产生影响^[27]。史宏志等研究指出,在烟叶生长成熟过程中,淀粉酶活性整体呈增加趋势,在烟叶成熟期以前与施氮量呈正相关,转化酶活性在叶片功能盛期后逐渐降低,随着施氮水平的提高而提高^[28]。本研究结果表明,生育期内,蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶整体呈上升趋势,这与前

人的研究结果^[26]不太一致,可能是由于品种的不同以及环境的差异所引起的。不同生育期各处理对碳代谢酶的影响不尽相同,整体上 T4 和 T5 处理的蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶在各生育期均处于较高水平,说明含硝态氮较高的处理有利于碳代谢的进行。

铵态氮和硝态氮是植物主要吸收利用的氮源,研究植株内不同氮含量的变化规律对其生理代谢有着重要的意义。本研究结果表明,在烟草生长发育过程中,叶片内水溶性铵态氮含量整体变化不大,而水溶性硝态氮含量整体随生育期呈上升趋势,且吸收的水溶性铵态氮含量均小于水溶性硝态氮,说明在烤烟生长时期,烟株叶片主要吸收利用的氮素营养为硝态氮。烟株叶片水溶性铵态氮含量随铵态氮比例的降低整体呈下降趋势,水溶性硝态氮含量在各生育期分别以 T3、T4、T5 处理较高,说明铵态氮有利于烟株对水溶性铵态氮的吸收,硝态氮在一定程度上有利于烟株对水溶性硝态氮的吸收,原因可能是当烟苗周围某一种氮素形态含量较高时,会促进烟苗根系对该氮素的吸收,最终增加了该种氮素形态在烤烟组织中的含量。

3.2 结论

在总氮量施入一致的情况下,营养液的氮素形态配比对不同生育时期中烤烟叶片的生长积累、碳氮代谢活性、铵态氮和硝态氮含量均有不同程度的影响。结果表明,烤烟在生育期中主要吸收利用的为硝态氮。整体来看,含硝态氮比例较高的配比有利于烤烟的生长以及碳氮代谢的协调进行。

参考文献:

- [1] 史宏志,韩锦峰. 烤烟碳氮代谢几个问题的探讨[J]. 烟草科技, 1998,31(2):34-36.
- [2] 邢瑶,马兴华. 氮素形态对植物生长影响的研究进展[J]. 中国农业科技导报,2015,17(2):109-117.
- [3] 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.
- [4] 柴小清,印莉萍,刘祥林,等. 不同浓度的 NO_3^- 和 NH_4^+ 对小麦根谷氨酰胺合成酶及其相关酶的影响[J]. 植物学报,1996,38(10):803-808.
- [5] 肖凯,张树华,邹定辉,等. 不同形态氮素营养对小麦光合特性的影响[J]. 作物学报,2000,26(1):53-58.
- [6] 孙敏红,吴炼,谢深喜. 铵硝营养对枳橙幼苗谷氨酰胺合成酶活性及相关基因表达的影响[J]. 植物生理学报,2018,54(11):1703-1710.
- [7] 宋文静,宋科,董建新,等. 铵硝混合营养对烟草苗期氮代谢酶及内源生长素的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(8):100-

- 104.
- [8] 宋科,梁洪波,徐旭光,等. 不同铵硝比对烤烟根系形态及氮磷钾吸收的影响[J]. 中国烟草科学,2017,38(2):8-13.
- [9] 李忠光,龚明. 磺胺比色法测定植物组织硝酸还原酶活性的改进[J]. 植物生理学通讯,2009,45(1):67-68.
- [10] Rao R K, Mannan R M, Gnanam A, et al. Inhibition of nitrate and nitrite reductase induction in wheat by sandox 9785 [J]. Phytochemistry, 1988,27(3):685-688.
- [11] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 梁亮. 硝酸还原酶活性对小白菜硝酸盐积累及相关代谢调节的研究[D]. 南京:南京农业大学,2008.
- [13] Srivastava H S, Singh R P. Role and regulation of L-glutamate dehydrogenase activity in higher plants[J]. Phytochemistry, 1987,26(3):597-610.
- [14] 朱其佳,江英泽,闫中帅,等. 高温对大豆幼苗可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响[J]. 新农业,2018(17):12-14.
- [15] 胡博文. 盐胁迫对水稻碳代谢及产量形成的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [16] 周平,叶冰莹,陈由强,等. 蔗糖磷酸合成酶研究的新进展[J]. 生物技术通讯,2006,17(6):1001-1003.
- [17] 胡瑞芳,姜慧,李玥莹. 蔗糖代谢相关酶的研究进展[J]. 北方园艺,2012(1):167-170.
- [18] 程培军,翟文汇,张翔,等. 不同氮形态和施用空间分布对烤烟效应及土壤氮素的影响[J]. 江西农业学报,2020,32(9):97-101.
- [19] 朱陆伟,周昌敏,白翠华,等. 荔枝在不同温度和氮素形态下的氮、磷吸收动力学特征[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(5):869-878.
- [20] 史婵,杨秀清,闫海冰. 氮素及其不同形态对比对华北落叶松种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2016,36(7):495-499.
- [21] 万淑红,田应兵,许昌雨,等. 氮素调控对水稻黄华占生长发育及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(6):68-72.
- [22] 王蒙,王喜枝,刘世亮,等. 铵态氮/硝态氮对比对豫中烟区烤烟生长及品质调控研究[J]. 河南农业科学,2016,45(4):37-42.
- [23] 韦悦,张翠平,郭双,等. 两种形态氮素及其对比对颠茄生长和氮代谢的影响[J]. 草业科学,2017,34(8):1669-1676.
- [24] 郭晓惠,金亚波,韦建玉,等. 不同形态氮施肥对烤烟碳氮代谢及烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学,2013,41(3):1055-1057.
- [25] 樊武广,王振海,牛书金,等. 不同氮源对烤烟碳氮代谢关键酶和化学成分的影响[J]. 江西农业学报,2012,24(10):50-52,58.
- [26] 岳俊芹,刘健康,刘卫群. 不同氮素形态对烤烟叶片碳氮代谢关键酶活性及化学成分的影响[J]. 河南农业大学学报,2004,38(2):155-158.
- [27] 雷佳,吕永华,李淮源,等. 烤烟碳氮代谢调节机理及其指标研究进展[J]. 广东农业科学,2018,45(12):20-26.
- [28] 史宏志,韩锦峰,赵鹏,等. 不同氮量与氮源下烤烟淀粉酶和转化酶活性动态变化[J]. 中国烟草科学,1999,20(3):5-8.