

## 聚天门冬氨酸对白皮松生长和氮代谢 关键酶活性的影响

曹宇谦,赵 杰,史睿堃,胡文玉

(山西省吕梁山国有林管理局林木良种培育中心,山西 临汾 041500)

**摘要:**研究聚天门冬氨酸(PASP)不同施用量对白皮松生长和氮代谢的影响规律,为白皮松育苗中科学应用 PASP 提供理论依据。在盆栽条件下,设置不施肥和施尿素 2 个对照,在施氮量相同的条件下 PASP 施用量分别设置为 1.25,2.51,3.76 g/株,共计 5 个处理,每个处理 3 次重复。结果表明:2.51 g/株的 PASP 处理与不施肥对照和施尿素相比显著提高了白皮松株高和地径,1.25 g/株 PASP 处理与施尿素对照相比,显著提高了白皮松的株高。2.51 g/株 PASP 处理与施尿素对照相比,提高了白皮松硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性;3.76 g/株 PASP 处理在 7 月和 8 月这 2 种酶活性均低于 2.51 g/株 PASP 处理;2.51 g/株 PASP 处理与空白对照和施尿素对照相比,均显著提高了谷氨酸草酰乙酸转氨酶和谷丙转氨酶活性;3.76 g/株与 2.51 g/株 PASP 处理对这 2 种酶活性的影响处于同一水平。施用 2.51 g/株的 PASP,可显著提高白皮松苗木游离氨基酸总量。综合分析认为,白皮松育苗中 PASP 的施用量以 2.51 g/株为宜。

**关键词:**聚天门冬氨酸;白皮松;氮代谢酶;游离氨基酸

中图分类号:Q945.13;S791.243

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2023.04.001

## Effects of polyaspartic acid on growth and nitrogen metabolism of *Pinus bungeana*

Cao Yuqian, Zhao Jie, Shi Ruikun, Hu Wenyu

(Forest Seed Cultivation Center, State-Owned Forest Management Bureau, Lyuliangshan, Shanxi Province, Linfen 041500, China)

**Abstract:** The effects of different level of polyaspartic acid (PASP) on the growth and nitrogen metabolism of *Pinus bungeana* were studied in order to provide a theoretical basis for the scientific application in the seedlings. The experiment was conducted under potted conditions, five treatments were set with controls including no fertilization, chemical fertilizer, and the PASP application as 1.25, 2.51, and 3.76 g per plant on the premise of the same nitrogen application. The results showed that for each plant, the height and diameter of 2.51 g PASP treatment were significantly higher than those of no fertilization and chemical fertilizer controls, the 1.25 g treatment could significantly increase the height compared to the control of chemical fertilizers; the 2.51 g treatment increased the plant nitrate reductase and glutamine synthetase activities compared with the chemical fertilizer control, and the two enzymes activity in the 3.76 g treatment was lower than that in the 2.51 g treatment in July and August; the 2.51 g treatment significantly increased the activities of glutamic acid oxaloacetic acid transaminase and glutamic acid transaminase compared with the blank control and the chemical fertilizer control, and the effects of 3.76 g and 2.51 g treatments on the two enzyme activities were at the same level; the total amount of free amino acids in the were significantly increased in 2.51 g PASP treatment. Comprehensive analysis showed that the appropriate application of PASP in *P. bungeana* seedling cultivation was 2.51 g per plant.

**Key words:** Polyaspartic acid; *Pinus bungeana*; Nitrogen metabolism enzyme; Free amino acid

收稿日期:2023-04-07;修回日期:2023-05-10

作者简介:曹宇谦(1994-),男,山西长治人,助理工程师,学士学位。研究方向:白皮松培育。

聚天门冬氨酸(PASP)是一种可以生物降解的水溶性仿生高分子材料,因其分子结构中含有肽键和羧基等,具有很好的生物相容性<sup>[1]</sup>。目前在林业生产中,常作为肥料增效剂与氮、磷、钾肥混合施用,在一定程度上可提高土壤养分的有效性<sup>[2]</sup>。林木育苗实践中发现,适宜的 PASP 施用量除了能够显著提高树木移栽成活率外,还能显著促进树木生长,对提高苗木质量具有重要的作用<sup>[3]</sup>。李梦露等<sup>[4]</sup>研究表明,施用 36.4 g/kg 的 PASP 能显著促进番茄生长,提高干物质积累量,同时提高叶片叶绿素含量和净光合速率,对培育优质壮苗具有重要作用;方小婷等<sup>[3]</sup>研究认为,施用 PASP 会促进马铃薯根系生长,降低地上部生长量,有利于光合产物向地下部分分配;汪秋云等<sup>[5]</sup>研究结果表明,玉米栽培中施用一定比例的 PASP 有利于显著提高玉米根系表面积和根质量,同时提高茎粗和植株生物量,对促进玉米生长具有显著作用;Wang 等<sup>[6]</sup>研究认为,外源 PASP 可以显著促进玉米生长,提高植株生物量,可以显著提高与氮代谢相关的谷氨酰胺合成酶(GS)、天冬氨酸转氨酶(AspAT)和丙氨酸转氨酶(AlaAT)活性的提高,有利于玉米氮代谢能力的增强;杨启航等<sup>[7]</sup>研究认为,施用 PASP 可以显著提高减氮条件下烤烟的光合速率,提高烤烟硝酸还原酶(NR)、GS 等氮代谢相关酶活性,从而有利于烤烟生长发育;张琳等<sup>[8]</sup>研究认为,油菜栽培中施用一定量的 PASP 可以显著提高油菜叶绿素含量,促进油菜生长和提高干物质积累量,有效降低叶片内硝酸盐含量。从前人的相关研究来看,PASP 对促进植物生长和氮代谢具有一定的作用,但其是否会对白皮松生长和氮代谢关键酶活性产生影响目前仍然不清楚,且在白皮松育苗中的应用效果也不清楚。本文通过分析 PASP 不同施用量对白皮松幼苗生长的影响规律,以期为其在白皮松育苗中科学施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2022 年 3—9 月在吕梁山国有林管理局林木良种培育中心苗圃进行,试验所用白皮松幼苗为 1 年生实生苗。该实生苗于 2021 年 3 月采用容器育苗的方式繁育。2022 年 3 月 4 日,选择生长一致的白皮松幼苗 60 盆,移栽至 15 cm×20 cm×20 cm

的塑料栽植盆内。盆内所用为苗圃表层 0—20 cm 的土壤,养分含量分别为有机质 13.56 g/kg,碱解氮 16.73 mg/kg,有效磷 13.58 mg/kg,速效钾 92.87 mg/kg,pH 8.02。试验所用 PASP 含氮量为 11%,尿素为商品尿素,含氮量 46%。

1.2 试验设计

试验共设置处理 5 个,其中 P1 为空白对照,不施肥,P2 为单纯施用尿素对照,P2—P5 处理用量参考刘丽娜<sup>[9]</sup>前期研究结果:尿素施用纯氮量+PASP 施用纯氮量总计为 4.6 g/株,其中 P2 为单纯施用尿素处理,P3—P5 分别尿素配施低、中、高含量 3 个 PASP 处理,具体施肥量见表 1。试验所施用尿素在苗木移栽时均匀混入移栽盆土中,3 月 4 日装盆后再进行白皮松幼苗的移栽。同时,将 PASP 与水按照体积比 1:600 的比例混合,3 月 4 日和 3 月 11 日各施试验设计施用总量的一半。每个处理 12 盆,共计 60 盆,随机排列。

表 1 各处理尿素和 PASP 施用量 g/株

处理	尿素	PASP	尿素纯氮用量	PASP 纯氮用量	尿素+PASP 纯氮总用量
P1	0	0	0	0	0
P2	10	0	4.6	0	4.6
P3	9.7	1.25	4.462	0.138	4.6
P4	9.4	2.51	4.324	0.276	4.6
P5	9.1	3.76	4.186	0.414	4.6

1.3 测定方法

在白皮松幼苗移栽后第 2 天测定株高和地径,在试验结束的 9 月再次测定株高和地径,2 者相减得到株高和地径的增长量。分别于 6,7,8,9 月每月的 2 日田间取样,摘取白皮松生长成熟的叶片,带回实验室进行氮代谢相关指标的测定。NR 活性采用活体法测定<sup>[10]</sup>;GS 活性测定采用比色法<sup>[10]</sup>;谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GOT)和谷丙转氨酶(GPT)活性测定参考吴良欢等<sup>[11]</sup>所报道的活度比色法,氨基酸含量采用茚三酮法测定<sup>[10]</sup>。

1.4 数据处理

数据处理及图表制作使用 Excel2010 版软件,方差分析使用 DPS7.05 版软件。

2 结果与分析

2.1 PASP 对白皮松生长的影响

由表 2 可知,施氮促进了白皮松生长,但是施用

PASP 后白皮松株高和地径增长量均高于单纯施用尿素处理,不同 PASP 施用量对白皮松生长的影响不同。P2 株高增长量显著高于 P1;P3,P4,P5 较 P2 分别提高了 11.31%,28.05%,30.09%,且差异显著,这表明在相同施氮量下添加 PASP 会显著促进白皮松株高生长;P4 显著高于 P3,P5 与 P4 之间无显著差异,说明 PASP 施用量从 1.25 g/株提高至 2.51 g/株会显著提高白皮松株高增长量,但当施用量从 2.51 g/株提高至 3.76 g/株,虽然提高了株高增长量,但并未达到显著水平。对于地径增长量,P2 与 P1 之间无显著差异,表明单纯施用尿素不会对地径产生显著影响;P3 与 P2 之间无显著差异,表明 1.25g/株的 PASP 不会显著促进白皮松地径生长;P4,P5 分别较 P2 提高了 24.14%,31.03%,且差异显著,表明 2.51,3.76 g/株的 PASP 均可以显著提高白皮松地径增长量;P3,P4,P5 处理的地径无显著差异,表明不同 PASP 施用量不会对地径生长产生显著影响。

表2 PASP 对白皮松生长的影响

cm

处理	株高增长量	地径增长量
P1	8.66±0.60 d	0.23±0.02 c
P2	13.26±0.48 c	0.29±0.03 bc
P3	14.76±1.01 b	0.31±0.01 ab
P4	16.98±1.44 a	0.36±0.04 a
P5	17.25±1.24 a	0.38±0.06 a

注:表内数值为平均值±标准差,同数据后不同小写字母表示存在显著差异( $P<0.05$ )

## 2.2 PASP 对白皮松 NR 活性的影响

施用氮肥与不施肥处理相比可以显著提高白皮松 NR 活性(如图1),其中6—9月,P2 分别比 P1 提高了 59.71%,114.28%,130.03%,74.58%,且差异显著;施用 PASP 与单纯施用尿素相比,提高了白皮松的 NR 活性,6 月和 9 月表现为随着 PASP 施用量增加而升高的变化,7 月和 8 月总体表现为先升高后降低的变化。P4 与 P2 相比,NR 活性分别提高了 22.95%,35.30%,33.43%,38.98%,且差异显著。这表明添加 2.51 g/株的 PASP 与单纯施用尿素相比,可以显著提高白皮松 NR 活性;6 月,P4 与 P3 之间无显著差异,7 月至 9 月 P4 显著高于 P3,表明 PASP 施用量从 1.25 g/株提高至 2.51 g/株在 7 月至 9 月会显著提高白皮松 NR 活性;6 月至 9 月,P3 与 P2 之间无显著差异,表明添加 1.25 g/株的 PASP 与单纯施用尿素相比,不会显著提高白皮松

NR 活性;P5 与 P4 之间无显著差异,P5 显著高于 P1 和 P2,表明添加 3.76 g/株的 PASP 也可以显著提高白皮松 NR 活性,但与其 2.51 g/株的施用量处于同一水平。

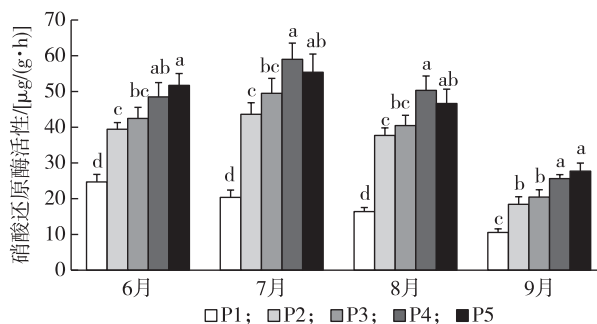


图1 白皮松硝酸还原酶活性变化

## 2.3 PASP 对白皮松 GS 活性的影响

由图2可知,P2 与 P1 相比,GS 活性在整个试验期间分别提高了 29.22%,36.34%,62.92%,17.04%,其中6月至8月2个处理之间存在显著差异,9月无显著差异,表明单纯施用尿素在6月至8月与不施肥处理相比会显著提高白皮松 GS 活性;白皮松添加 PASP 处理与单纯施用尿素相比提高了 GS 活性,其中 P4 与 P2 相比,GS 活性分别提高了 51.89%,42.25%,43.73%,36.48%,且差异显著,表明白皮松施肥中添加 2.51 g/株的 PASP 与单纯施用尿素处理相比,会显著提高白皮松 GS 活性;P3 分别较 P2 提高了 16.68%,8.27%,11.46%,6.43%,无显著差异,表明添加 1.25 g/株的 PASP 与单纯施用尿素对白皮松 GS 活性的影响处于同一水平;P4 显著高于 P3,表明 PASP 施用量从 1.25 g/株提高至 2.51 g/株会显著提高白皮松 GS 活性;6 月和 9 月,P5 的白皮松 GS 活性分别较 P4 提高了 3.75%,11.08%,无显著差异,7 月和 8 月分别降低了 5.66%和 8.48%,无显著差异,表明 P5 和 P4 对白皮松 GS 活性的影响处于同一水平。

## 2.4 PASP 对白皮松 GOT 活性的影响

根据试验结果,P2 与 P1 相比,提高了白皮松 GOT 活性(如图3),但 6,7,9 月 2 个处理之间无显著差异,8 月 P2 显著高于 P1,表明单纯施用尿素仅在 8 月会显著提高白皮松 GOT 活性。施用 PASP 与单纯施用尿素对照相比提高了白皮松 GOT 活性,其中 P3 与 P2 相比 GOT 活性分别提高了 6.33%,8.40%,18.50%和 7.32%,而 6,7,9 月 2 个处理之

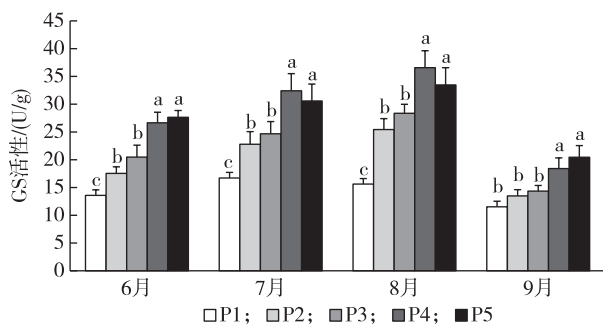


图2 白皮松 GS 活性变化

间无显著差异,8月 P3 显著高于 P2,9月 P3 与 P1 之间无显著差异,表明添加 1.25 g/株的 PASP 仅会在 8 月显著提高白皮松 GOT 活性;6—8 月,P4 显著高于 P3,9 月,P4 与 P3 之间无显著差异;6,7 月,P5 与 P4 相比 GOT 活性分别降低了 5.66% 和 7.50%,无显著差异;8,9 月 P5 较 P4 提高了 4.53%,7.33%,无显著差异,2 个处理均显著高于 P1 和 P2,表明 PASP 施用量从 2.51 g/株提高至 3.76 g/株不会显著提高白皮松 GOT 活性,并且在 6,7 月反而会降低 GOT 活性。

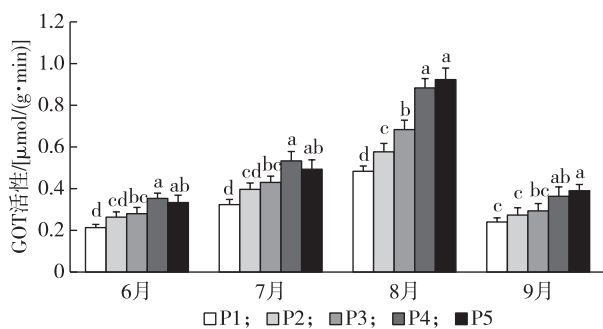


图3 白皮松 GOT 活性变化

## 2.5 PASP 对白皮松 GPT 活性的影响

整个试验期间,P2 与 P1 相比,GPT 活性分别提高了 36.93%,25.13%,12.93% 和 41.89%,无显著差异,表明单纯施用尿素与不施用尿素处理相比不会对白皮松 GPT 活性产生显著影响。施用 PASP 与单纯施用尿素相比提高了白皮松 GPT 活性,其中 P4 与 P2 相比 GPT 活性分别提高了 63.46%,81.68%,45.63%,112.32%,且差异显著,表明施用 2.51 g/株的 PASP 与单纯施用尿素相比可以显著提高白皮松 GPT 活性;P3 与 P2 相比 GPT 活性分别提高了 27.29%,39.04%,16.13%,20.30%,其中 6,8,9 月 2 个处理之间无显著差异,7 月 P3 显著高于

P2;6—9 月,P4 显著高于 P2,表明 PASP 施用量从 1.25 g/株提高至 2.51 g/株会显著提高白皮松 GPT 活性;6,8,9 月,P5 与 P4 相比 GPT 活性分别提高了 11.94%,14.04%,13.15%,差异不显著,7 月 P5 较 P4 降低了 7.67%,无显著差异;P4 与 P5 均显著高于 P1 和 P2。

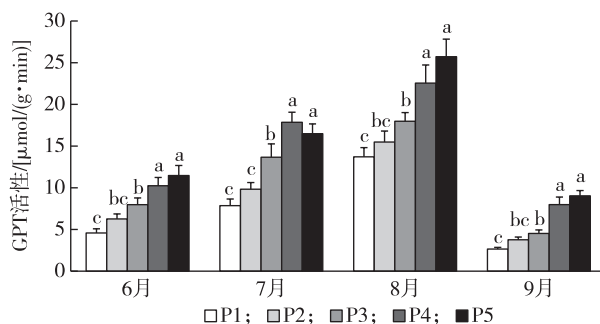


图4 白皮松 GPT 活性变化

## 2.6 PASP 对白皮松游离氨基酸总量的影响

由图 5 可知,施肥与不施肥处理相比显著提高了白皮松叶片内游离氨基酸含量,表明施用氮肥有利于显著提高白皮松游离氨基酸总量;施用 PASP 与单纯施用尿素处理相比,提高了白皮松游离氨基酸总量,其中 P4 与 P2 相比游离总氨基酸含量分别提高了 26.34%,36.09%,14.37%,27.18%,6,8 月处理之间无显著差异,7,9 月 P4 显著高于 P2,表明施用 2.51 g/株的 PASP 与单纯施用尿素处理在 7,9 月会显著提高白皮松游离氨基酸总量;P3 在整个试验期间与 P2 之间无显著差异,表明 1.25 g/株的 PASP 不会对白皮松游离氨基酸总量产生显著影响;6,8,9 月 P5 与 P4 之间无显著差异,7 月 P5 显著低于 P4,P5 与 P2,P3 之间无显著差异,P5,P4 均显著高于 P1 和 P2 处理。

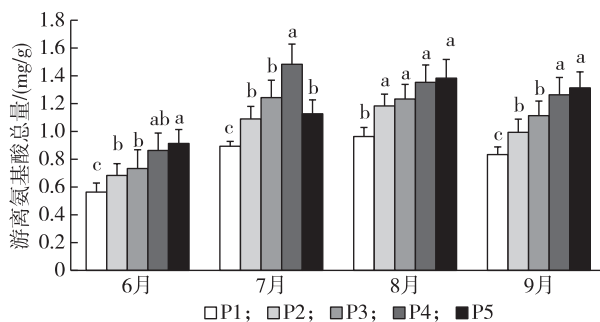


图5 白皮松游离氨基酸总量含量变化



### 3 结论与讨论

施肥是促进植物生长的有效栽培技术措施,本试验结果显示,单纯施用尿素与不施肥处理相比显著提高了白皮松株高,这与施肥对早熟禾<sup>[12]</sup>株高的影响结果一致,但是本试验结果中单纯施用尿素处理与不施肥处理相比并未显著提高白皮松地径,这表明单纯施用尿素更有利于促进白皮松株高生长。施肥中添加 PASP 与单纯施用尿素对照相比提高了白皮松株高和地径生长量,这与程凤娴等<sup>[13]</sup>在玉米上的研究结果相似,分析原因认为这与 PASP 有利于提高施用氮肥的有效性和利用效率有关,从而使得在相同施氮量条件下添加一定量的 PASP 更有利于促进白皮松生长。从不同 PASP 施用量对白皮松生长的影响来看,2.51 g/株处理的株高显著高于 1.25 g/株处理,但是与 3.76 g/株之间无显著差异,这可能与 2.51 g/株接近于 PASP 的最适宜施用量有关。

NR,GS,GOT 和 GPT 是植物氮代谢过程中的 4 种关键酶,其活性提高可显著增强植物对氮的吸收、同化能力<sup>[14]</sup>。氮代谢强弱与植物生长发育直接相关,较高的氮代谢能力会增强植物光合能力,促进光合产物的形成,进而会为植物生长发育提供物质基础<sup>[15]</sup>。施用氮肥可以显著提高植物氮代谢能力,促进氮的同化,从而有利于植物生长。本试验结果表明,施用氮肥处理与不施肥处理相比显著提高了白皮松氮代谢酶活性,这与杜建彬<sup>[16]</sup>的研究结果一致,说明施氮是提高植物氮代谢能力有效措施。PASP 可以提高施用氮肥的有效性,因此植物施肥中施用一定量的 PASP 有利于提高植物氮代谢能力,从而促进有机物质的合成,促进植物生长<sup>[7]</sup>。本试验结果表明,施用 PASP 处理与单纯施用尿素处理相比提高了白皮松各氮代谢相关酶活性,从而提高白皮松氮代谢能力,这可能是 PASP 提高氮肥有效性和利用效率的重要原因。

NR 是植物氮同化的起始酶和限速酶,其活性高低与植物氮同化能力呈正相关关系<sup>[17]</sup>。本试验结果表明,PASP 施用量从 2.51 g/株提高至 3.76 g/株,在 7 月和 8 月降低了白皮松 NR 性,从而降低了氮的同化作用,并且在 6 月和 9 月这 2 个处理之间并无显著差异,表明 2.51 g/株的 PASP 施用量对提高硝酸还原酶活性效果优于 3.76 g/株。GS 是将无机氮转化为谷氨酰胺的关键酶,其活性的高低与植

物对氮素的吸收和利用具有直接关系<sup>[18]</sup>。本试验结果表明,2.51 g/株的 PASP 处理与单纯施用尿素处理相比显著提高了白皮松 GS 活性,并且其活性显著高于 1.25 g/株处理,同时 3.76 g/株在 7,8 月 GS 活性均低于 2.51 g/株处理,这表明白皮松施用 2.51 g/株的 PASP 更有利于提高白皮松的氮同化代谢能力,从而促进植株生长。GOT 主要催化谷氨酸与草酰乙酸合成天门冬氨酸,GPT 主要催化谷氨酸与丙酮酸合成丙氨酸,GOT 和 GPT 与植物氮同化和光合作用直接相关,其活性的升高有利于植物对氮的利用,也有利于植物产生更多的光合产物,从而促进植物生长<sup>[19]</sup>。本试验结果表明,2.51 g/株的 PASP 施用量与单纯施用尿素和 1.25 g/株处理相比均提高了白皮松 GOT 和 GPT 活性,这对提高白皮松光合产物具有重要作用;PASP 施用量从 2.51 g/株提高至 3.76 g/株并未显著提高 GOT 和 GPT 活性,这与白皮松株高和地径 2 个处于同一水平的试验结果一致。

氨基酸是植物氮代谢过程中的产物之一,氮代谢相关酶活性的升高有利于氨基酸的合成,从而提高总氨基酸含量<sup>[20]</sup>。本试验结果表明,各施用 PASP 处理与单纯施用尿素对照相比均提高了白皮松游离氨基酸含量,这可能与 PASP 提高了氮代谢相关酶活性有关。从 PASP 不同施用量比较来看,7 月和 9 月 2.51 g/株的施用量与 1.25 g/株相比显著提高了白皮松游离氨基酸总量,表明 PASP 的施用量为 2.51 g/株时优于 1.25 g/株;当 PASP 施用量从 2.51 g/株提高至 3.76 g/株后,除 7 月总氨基酸含量显著降低外,其余月份均无显著差异,表明在 2.51 g/株施用量基础上即使提高 PASP 施用量仍然不能显著提高白皮松叶片内游离氨基酸总量。综上所述,2.51 g/株的 PASP 施用量是促进白皮松幼苗生长和提高氮代谢能力的适宜施用量。

#### 参考文献:

- [1] 程凤娴,官利兰,邓兰生,等.聚天门冬氨酸对玉米生长的影响[J].安徽农业科学,2015,43(4):105-106,139.
- [2] 雷全奎,杨小兰,马雯场,等.聚天门冬氨酸对土壤理化性状的影响[J].陕西农业科学,2007(3):75-76.
- [3] 方小婷,马海艳,郑顺林,等.聚天门冬氨酸功能肥对马铃薯生长发育的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2022,42(3):64-71.
- [4] 李梦露,冯晓洁,王君,等.基质添加聚天门冬氨酸对番茄幼苗生长的影响[J].中国蔬菜,2022(11):65-69.

- [5] 汪秋云,陈 骏,李慧敏,等.含不同分子量改性聚天门冬氨酸复合肥料在玉米上的应用[J].中国盐业,2022(12):47-49.
- [6] WANG Q Y, TANG H H, LI G Y, et al. Polyaspartic acid improves maize (*Zea mays* L.) seedling nitrogen assimilation mainly by enhancing nitrate reductase activity[J]. Agronomy, 2018, 8(9):188.
- [7] 杨启航,陈建军,叶晓青,等.减氮条件下配施聚天门冬氨酸对烤烟氮代谢及氮素吸收利用的影响[J].烟草科技,2021,54(10):1-10.
- [8] 张 琳,左 强,邹国元.施用不同水平聚天门冬氨酸对油菜生长的影响[J].黑龙江农业科学,2013(12):27-29.
- [9] 刘丽娜.氮对侧柏、油松、白皮松根系呼吸的影响[D].北京:北京林业大学,2007.
- [10] 邹 琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [11] 吴良欢,蒋式洪,陶勤南.植物转氨酶(GOT和GPT)活性比色测定方法及其应用[J].土壤通报,1998,29(3):136-138.
- [12] 张吉立.有机肥对早熟禾生长和叶片色素含量的影响[J].廊坊师范学院学报(自然科学版),2022,22(1):60-64.
- [13] 程凤娟,官利兰,邓兰生,等.聚天门冬氨酸对玉米生长的影响[J].安徽农业科学,2015,43(4):105-106,139.
- [14] 武 辉,向 镜,陈惠哲,等.花前氮亏缺对水稻叶片氮代谢酶活性的影响[J].中国稻米,2017,23(4):14-19.
- [15] 任毛飞,毛桂玲,刘善振,等.光质对植物生长发育、光合作用和碳氮代谢的影响研究进展[J].植物生理学报,2023,59(7):1211-1228.
- [16] 杜建彬.不同氮素供给水平对紫丁香氮代谢生理的影响[J].辽宁林业科技,2023(1):17-20,62.
- [17] 吴雅薇,李 强,豆 攀,等.氮肥对不同耐低氮性玉米品种生育后期叶绿素含量和氮代谢酶活性的影响[J].草业学报,2017,26(10):188-197.
- [18] 徐洪超,逢洪波,王兰兰,等.高粱净光合速率和氮代谢关键酶活性对施氮量的响应及相关性分析[J].江苏农业科学,2022,50(17):82-89.
- [19] 王 显,张国良,霍中洋,等.氮硅配施对水稻叶片光合作用和氮代谢酶活性的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2010,31(3):44-49.
- [20] 任开明,杨文俊,王 犇,等.施氮量对稻茬弱筋小麦籽粒氮代谢及灌浆的影响[J].核农学报,2023,37(3):606-616.

## · 征订启事 ·

### 欢迎订阅 2024 年度《江苏林业科技》

《江苏林业科技》为国内外公开发行的综合性林业科学技术刊物。1974 年创刊。为科学引文数据库(SCD)和《中国学术期刊(网络版)》入编期刊、全国优秀期刊、江苏省优秀期刊、全国优秀农业期刊、华东地区优秀期刊。加入“万方数据——数字化期刊群”和中国期刊网等。

《江苏林业科技》主要刊登良种选育、育苗造林、园林绿化、林副特产、森林经营、森林保护、调查设计、野生动物等方面的学术论文、科研报告、经验总结,以及林业新成果、新技术,有较强的指导性、技术性、实用性,是林业科研、教学工作者、管理部门及广大林业生产者不可少的参考资料。欢迎订阅,欢迎投稿,欢迎刊登广告,宣传产品等。

《江苏林业科技》为双月刊,大 16 开本,国内外公开发行。国内统一刊号:CN 32-1236/S,国际标准刊号:ISSN 1001-7380,每期定价 15.00 元,全年订费 90.00 元。全年办理订阅手续,需订阅者请到当地邮局订阅或将订款汇至南京市江宁区东善桥江苏省林业科学研究院本刊编辑部,邮政编码 211153。电话(025) 52745438,83602820,83602060。由银行或邮局汇寄均可。开户银行:中国农业银行南京市金鹰支行,户名:江苏省林业科学研究院,帐号:10105101040000010。邮发代号:28-303。