

霍永昌, 晁瑞强, 仇力平, 等. α -萘乙酸钠和覆土对榛子萌蘖糖代谢的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(1): 129-136.

HUO Y C, CHAO R Q, QIU L P, et al. Effects of sodium α -naphthylacetate and soil covering on sugar metabolism of hazelnut sprout tillers[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(1): 129-136.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.01.14

α -萘乙酸钠和覆土对榛子萌蘖糖代谢的影响

霍永昌, 晁瑞强, 仇力平, 梁晋军, 张鹏飞, 温鹏飞

(山西农业大学 园艺学院, 山西 晋中 030801)

摘要:榛子是重要的经济树种, 萌蘖过多严重制约着榛子产业的发展, 通过喷施外源激素或覆土处理, 探究其对榛子萌蘖生长的影响以及糖类物质变化。以平欧杂种榛品种魁香为试验材料, 设置4个处理: 喷施 α -萘乙酸钠(N); 覆土+喷施清水(M); 覆土+喷施 α -萘乙酸钠(M+N)以及喷施清水为对照(CK)。结果表明, 在35 d的试验周期下, 相较于CK, N和M处理有效降低了萌蘖枝条的高度和粗度, 高度分别降低了70.50%和44.64%, 粗度分别降低了48.71%和2.58%。在萌蘖萌发时(处理10 d后), M+N处理的萌蘖枝条中可溶性糖、果糖和蔗糖的含量分别显著降低22.39%、4.39%和29.63%; M+N处理的萌蘖枝条中蔗糖磷酸合成酶、蔗糖合成酶和中性转化酶活性分别显著降低12.16%、24.26%和58.24%; M+N处理的酸性转化酶活性显著升高49.93%。综上, 通过覆土+喷施 α -萘乙酸钠能够降低蔗糖磷酸合成酶、蔗糖合成酶和中性转化酶活性以及可溶性糖、果糖和蔗糖含量, 有效抑制糖代谢的进程, 显著抑制榛子萌蘖的生长。

关键词: 榛子; 萌蘖; 糖代谢; α -萘乙酸钠

中图分类号: S664.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2025)01-0129-08

Effects of Sodium α -Naphthylacetate and Soil Covering on Sugar Metabolism of Hazelnut Sprout Tillers

HUO Yongchang, CHAO Ruiqiang, QIU Liping, LIANG Jinjun,
ZHANG Pengfei, WEN Pengfei

(College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China)

Abstract: Hazelnut is an important economic tree species. Too many sprout tillers seriously restrict the development of hazelnut industry. In this study, by spraying exogenous hormones or covering the soil, the effects of the treatments on the growth of hazelnut sprout tillers and the changes of sugar substances were explored. A flat-European hybrid hazelnut variety Kuixiang was used as the experimental material, and four treatments were set up in the experiment, namely spraying α -naphthylacetate sodium(N), covering soil+spraying clear water(M), covering soil+spraying sodium α -naphthylacetate(M+N), and spraying clear water as control(CK). Under the test period of 35 d, compared with CK treatment, N and M treatments effectively reduced the height and thickness of sprouting branches, the height decreased by 70.50% and 44.64%, and the thickness decreased by 48.71% and 2.58%, respectively. At the time of sprouting(10 th day after treatment), the contents of soluble sugar, fructose, and sucrose in sprouting branches treated with M+N decreased significantly, by 22.39%, 4.39% and 29.63% respectively. The activities of sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and neutral invertase in sprouting branches treated with M+N decreased significantly, by 12.16%, 24.26% and 58.24% respectively. The activity of acid invertase treated with M+N increased significantly, by 49.93%. In conclusion, by covering soil+spraying sodium α -naphthylacetate, the activities of sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and neutral invertase were reduced, the contents of soluble sugar, fructose, and sucrose were decreased, the process of sugar metabolism was effectively inhibited, and the growth of hazelnut sprout tillers was significantly inhibited.

收稿日期: 2024-02-05

基金项目: 山西农业大学生物育种工程项目(YZGC 111)

作者简介: 霍永昌, 在读硕士, 研究方向: 栽培生理与品质调控, E-mail: 1332147670@qq.com

通信作者: 温鹏飞, 教授, 博士, 主要从事葡萄逆境生理与分子生物学研究, E-mail: wenpengfei@126.com

Keywords: hazelnut; sprout tillers; sugar metabolism; α -Naphthylacetate

榛子为榛属(*Corylus* L.)植物,在我国北方有着广泛的栽植^[1]。截至2020年,我国大果榛子栽培面积在9.67万hm²左右,同时山西省大规模引进榛树进行栽植,栽培面积已达1333.3hm²,榛子产业具有十分良好的发展前景^[2]。目前,榛子生产中存在萌蘖多的问题,榛子的萌蘖能力非常强,太多的萌蘖会消耗大量的树体营养,因此,必须采取及时有效的措施进行控制,否则会导致树势衰弱,病虫害增多,严重影响坚果产量和品质^[3]。生产上,一般每年进行4~5次人工除萌,大大增加了人工成本,严重影响着榛子产业的发展。

糖和芽体的形成有着密切的联系^[4-7],糖在芽萌发和萌蘖形成过程中起到了重要的作用。糖可以促进不同物种的芽体生长^[8-9]。杨文钰等^[10]研究表明,小麦分蘖节中较高的可溶性糖能够促进分蘖的生长发育,从而提高小麦的成穗率。张军^[11]研究表明,小麦分蘖节内的糖氮代谢与小麦分蘖的发生、生长及衰亡有着密切关系。FRANK等^[12]研究指出,小麦茎中的可溶性糖含量显著影响分蘖数目和成活率。赵会杰等^[13]研究表明,小麦分蘖中旺盛的糖代谢以及较高的同化物含量是分蘖成穗的代谢基础。蔗糖可以作为植物体内碳水化合物运输和暂时贮藏的形式,满足植物生长发育的需求^[14-16]。蔗糖的摄入对于芽体的发育起着至关重要的作用,当去除茎的顶部时,芽中糖含量也将迅速增加,从而促进芽体萌发^[17-19]。接受光照的不同也会影响到植物萌蘖的发生,CRUZ等^[18]研究发现,光照的强弱影响植物体内碳水化合物合成,对植物萌生能力有较大的影响,接受光照少的植株,其萌生能力相对较弱,由于弱光下碳水化合物合成减弱则无法供应萌生茎干的生长发育。因此,萌蘖的形成发育往往与糖代谢有着密切的联系。

张吉玲等^[19]研究表明,随着埋土深度的增加,不同埋土深度杉木无性系苗萌蘖能力均呈降低的趋势。另有研究表明,对豌豆进行减叶处理能抑制植物侧芽的生长^[20-21],但减叶处理工作量大,增加了劳动成本。在大田生产中,为了减少无效分蘖数量,WOODWARD等^[22]通过施用外源NAA可以显著降低大麦的无效分蘖数量,从而增加大麦产量。但利用外源激素调控果树,尤其是榛子

的萌蘖研究较少。

α -萘乙酸钠具有与NAA相似的作用,同时具有高效、快速、低毒的特点。为此,本研究以外源 α -萘乙酸钠及覆土处理,分析不同处理对榛子萌蘖能力及糖代谢的影响,旨在为今后解决萌蘖问题提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于山西省晋中市太谷区山西农业大学园艺站榛种质资源圃(37°12'N,112°28'E),海拔为800m,年平均温度9.8℃,年平均风速1.8m/s。土壤为沙壤土,pH值为7.54,灌溉条件良好^[2]。

1.2 试验材料

以生长健壮、长势基本一致的易萌蘖的8年生平欧杂种榛魁香为材料,于2022年6月进行处理。 α -萘乙酸钠(有效成分98%,郑州中科化工产品有限公司)。

1.3 试验方法

试验设置4个处理,分别为 α -萘乙酸钠(N);覆土+清水(M);覆土+ α -萘乙酸钠(M+N);清水对照(CK)。 α -萘乙酸钠的质量浓度为200mg/L。 α -萘乙酸钠喷施处理:将当年半木质化的萌蘖剪至距地面10cm左右的高度并去除叶片,喷施时用挡板隔开,对1株树的1/2萌蘖喷施 α -萘乙酸钠,另1/2清水处理。覆土处理:同 α -萘乙酸钠喷施处理一样,最后进行覆土,土层厚度为15cm。试验采用随机区组设计,每个处理2棵榛子树,3次重复。试验期间每隔5d取一次样,共取8次,第1次取样为未处理的萌蘖枝,取样部位为带芽的萌蘖枝。取样时小心拨开土层,沿萌蘖底部剪取萌蘖枝,并用蒸馏水冲洗样品,滤纸吸干水分后于-80℃冰箱保存,用于后续指标的测定。

1.4 测定项目及方法

直尺测定萌蘖的高度,游标卡尺测定萌蘖粗度,拍照箱内使用相机对萌蘖拍照。样品含量测定于最后一次取样后统一测定,可溶性糖含量和淀粉含量的测定采用蒽酮比色法,参考高俊凤^[23]的方法进行;DNS法测定蔗糖含量,间苯二酚法测定果糖含量,参考张志良等^[24]的方法进行。蔗糖磷酸合成酶和蔗糖合成酶活性测定参考高俊凤^[23]的方

法,酸性转化酶和中性转化酶活性测定参考牛冬青^[25]的方法。

1.5 数据分析

使用Microsoft Excel 2021进行数据整理,利用SPSS 25.0软件进行数据分析,使用OriginPro 2019进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同处理榛子萌蘖形成的表型变化

不同处理的萌蘖表型如图1所示,高度和粗度变化如表1所示。结合图1和表1可知,各个处理

在0~10 d均未有萌蘖的出现。CK和M处理均在第15天出现萌蘖,但仅有CK萌蘖芽出现生长;N处理在第25天出现萌蘖,M处理在第30天出现萌蘖。CK、N和M处理的萌蘖高度依次为51.97、15.33、28.77 cm,其中CK最高,分别高出N和M处理239.01%和80.64%;而各个处理的萌蘖粗度同高度情况相似,均以CK最粗。表明喷施α-萘乙酸钠相比清水或覆土,对萌蘖的生长抑制效果较好,而通过喷施α-萘乙酸钠+覆土能够有效地抑制萌蘖的发生。

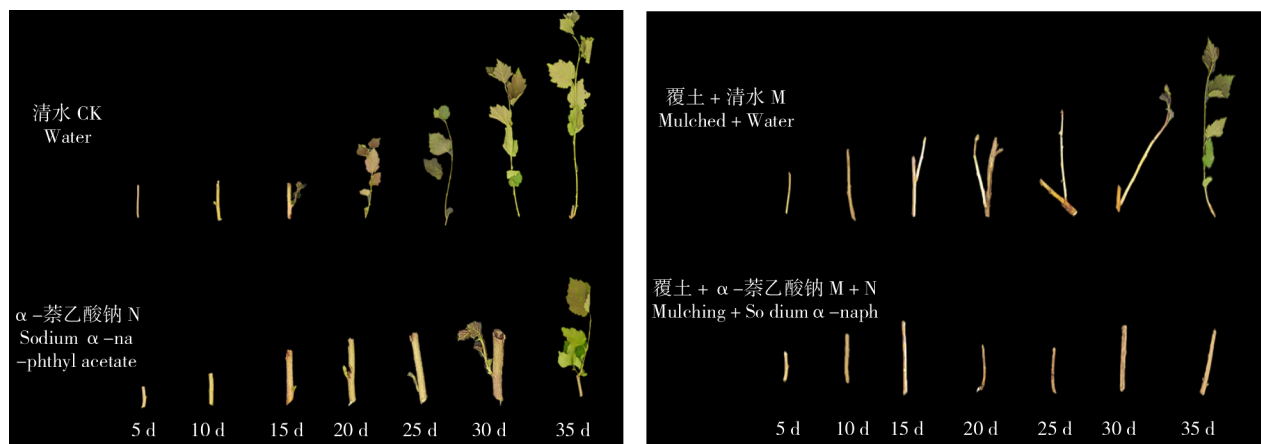


图1 榛子各个处理下萌蘖萌发的形态变化

Fig.1 Morphological changes in sprouting hazelnut tillers in each treatment

表1 不同处理榛子萌蘖的高度和粗度变化

Tab.1 Changes in height and thickness of sprout tillers in different treatments

指标 Index	处理 Treatment	时间/d Time					
		0~10	15	20	25	30	35
高度/cm Height	清水(CK)	0	4.69±0.64a	20.4±1.38a	34.19±4.55a	42.74±4.04a	51.97±6.64a
	α-萘乙酸钠(N)	0	0	0	2.86±0.65c	5.68±0.35c	15.33±1.2c
	覆土+清水(M)	0	5.61±0.94a	7.19±1.17b	12.81±2.16b	22.19±2.09b	28.77±2.68b
	覆土+α-萘乙酸钠(M+N)	0	0	0	0	0	0
粗度/mm Thickness	清水(CK)	0	1.09±0.06b	2.10±0.14a	2.36±0.25a	2.72±0.29a	3.10±0.55a
	α-萘乙酸钠(N)	0	0	0	1.15±0.11c	1.28±0.05c	1.59±0.08b
	覆土+清水(M)	0	1.79±0.16a	2.06±0.08a	2.16±0.11b	2.39±0.18b	3.02±0.31a
	覆土+α-萘乙酸钠(M+N)	0	0	0	0	0	0

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences among the treatments($P<0.05$).

2.2 不同处理对榛子萌蘖糖含量的影响

从图2可以看出,不同处理的可溶性糖含量变化基本呈山峰状,各处理均出现1个峰值,其中CK于第15天最早出现,可溶性糖含量最高,为

17.46 mg/g,分别比N、M和M+N处理增加91.45%、97.29%和85.55%;N和M+N处理的最高峰值均出现在第20天,2个处理的可溶性糖含量低于其他2个处理;M处理的最高峰值出现在第30天,

为 22.61 mg/g, 显著高于其他 3 个处理 ($P < 0.05$), 且 CK 的最高峰值低于覆土+清水处理。表明喷施 α -萘乙酸钠能够降低可溶性糖含量, 覆土处理能够抑制萌蘖枝条中可溶性糖向萌蘖芽的供应。各处理的果糖含量和蔗糖含量如图 2 所示, 在整个试验期间, CK 的果糖含量基本呈上升趋势, N 和 M 处理的果糖含量在前 25 d 基本呈下降趋势, 并于 25 d 出现快速上升趋势; M+N 处理在整个试验阶段均呈下降趋势, 且果糖含量最低。在 0~15 d

时, CK 和 M 处理的蔗糖含量呈上升趋势, 之后呈下降趋势; 0~20 d 时, N 处理的蔗糖含量逐渐上升, 之后缓慢下降, 这表明萌蘖芽的发育受到蔗糖和果糖含量的影响, 而配施 α -萘乙酸钠和覆土可能通过抑制果糖的合成抑制萌蘖发生 (表 1)。CK 的淀粉含量在 0~10 d 缓慢下降, 于 10 d 后呈上升趋势; N 和 M+N 处理的淀粉含量在 0~20 d 时下降, 于 20 d 后迅速上升; 而 M 处理的淀粉含量于 25 d 后迅速上升。

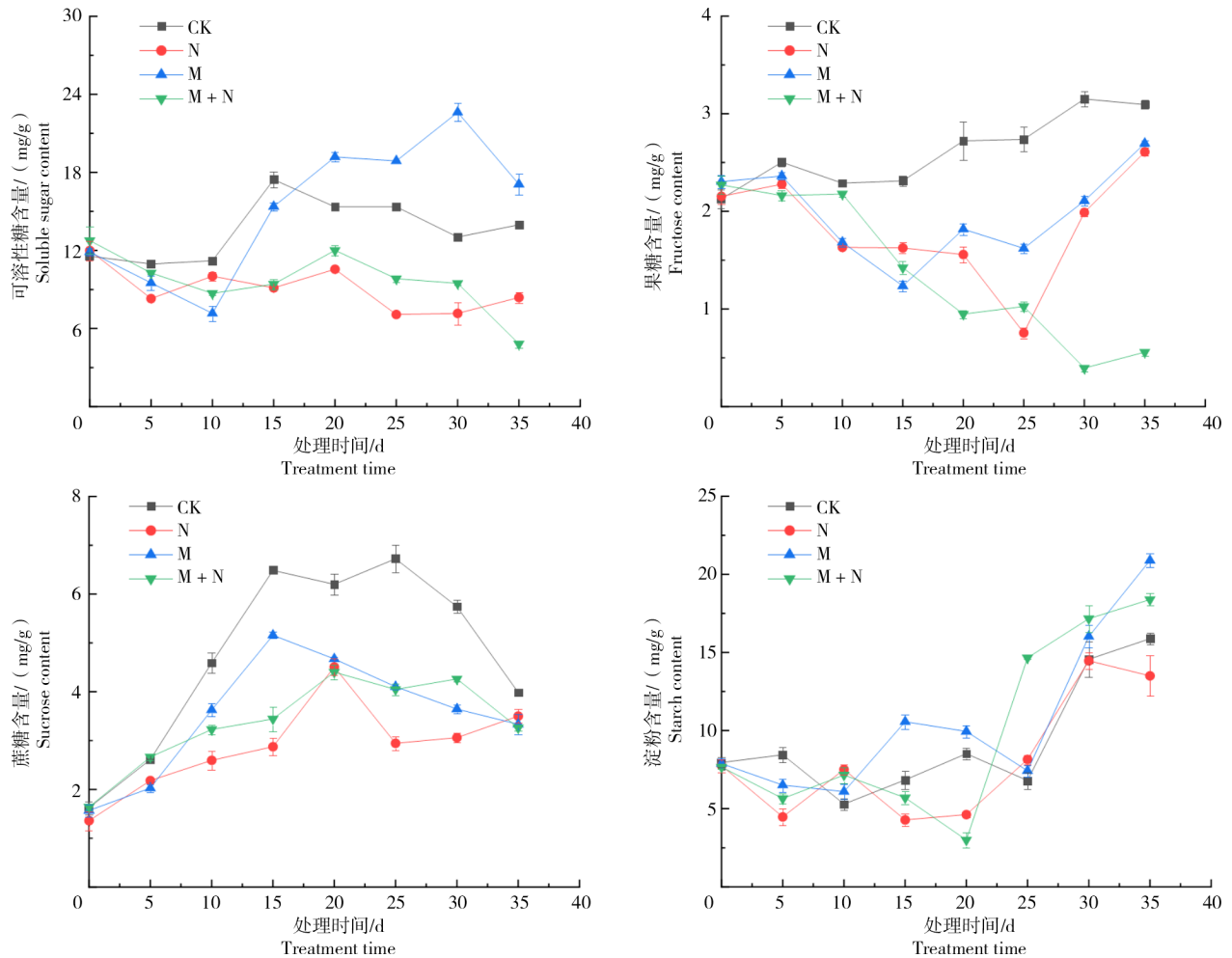


图 2 不同处理对萌蘖糖含量的影响

Fig.2 Effects of different treatments on the sugar content of sprout tillers

2.3 不同处理对榛子萌蘖糖代谢相关酶活性的影响

各个处理对萌蘖蔗糖磷酸合成酶 (Sucrose phosphate synthase, SPS) 活性有一定的影响, 从图 3 可以看出, 在处理 10 d 后, N 处理的蔗糖磷酸合成酶活性 ($79.54 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$) 显著低于 CK ($90.11 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$) ($P < 0.05$), M 处理的蔗糖磷酸合

成酶活性 ($79.28 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$) 显著低于 CK, M+N 处理的蔗糖磷酸合成酶活性 ($79.15 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$) 显著低于 CK ($P < 0.05$), 这表明 M 处理、N 处理和 M+N 处理对蔗糖磷酸合成酶的活性起到了抑制作用; 萌蘖萌发时, CK 的蔗糖磷酸合成酶活性从 $87.45 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 升高到 $90.11 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$, N 处理的蔗糖磷酸合成酶活性从 $73.69 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 降低到

73.59 mg/(g·h),M处理的蔗糖磷酸合成酶活性从

80.21 mg/(g·h)降低到79.28 mg/(g·h)。

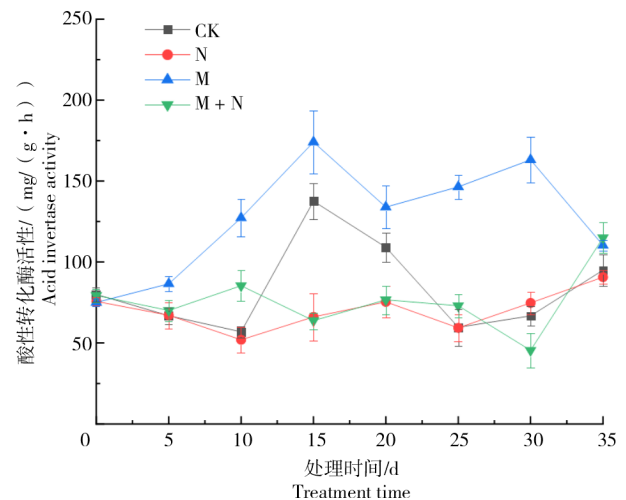
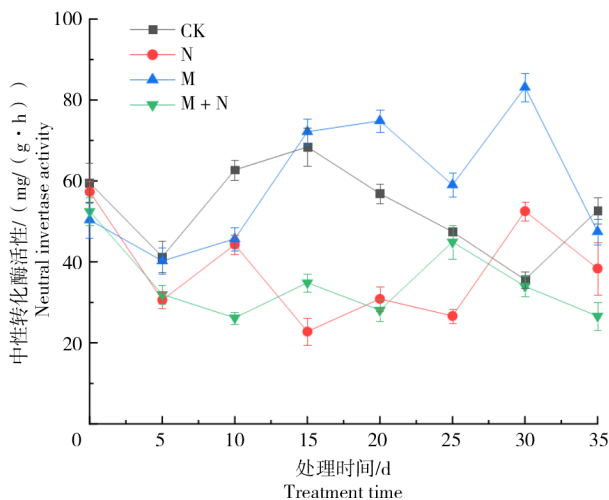
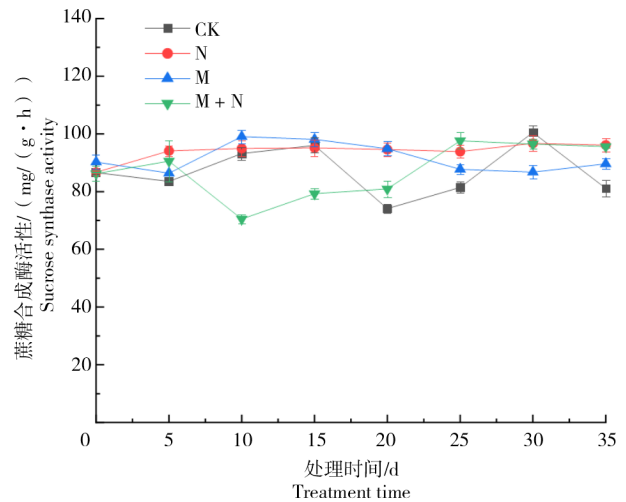
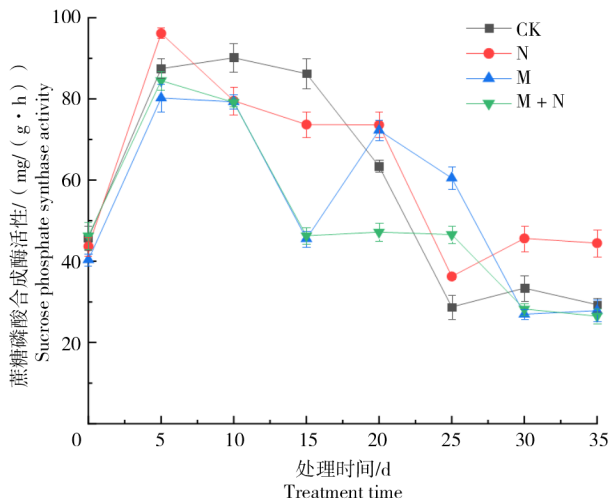


图3 不同处理下相关糖代谢酶变化

Fig.3 Changes in glucose metabolism related enzymes under different treatments

各个处理对萌蘖蔗糖合成酶(Sucrose synthase, SS)活性有一定的影响,由图3可知,在处理10 d后,N处理的蔗糖合成酶活性(94.98 mg/(g·h))与CK(93.21 mg/(g·h))无显著差异,M处理的蔗糖合成酶活性(99.06 m/(g·h))与CK无显著差异,M+N处理的蔗糖合成酶活性(70.50 mg/(g·h))显著低于CK($P<0.05$),这表明M+N处理对蔗糖合成酶的活性起到了抑制作用;萌蘖萌发时,CK的蔗糖合成酶活性从83.55 mg/(g·h)升高到93.21 mg/(g·h),N处理的蔗糖合成酶活性从95.16 mg/(g·h)降低到94.60 mg/(g·h),M处理的蔗糖合成酶活性从86.38 mg/(g·h)升高到99.06 mg/(g·h)。

不同处理对不同时期萌蘖的酸性转化酶(Acid

invertase, AI)活性有一定的影响,由图3可知,在处理10 d后,CK的酸性转化酶活性(56.93 mg/(g·h))与N处理(52.01 mg/(g·h))无显著差异,M+N处理的酶活(85.38 mg/(g·h))显著高于CK(56.93 mg/(g·h))($P<0.05$),CK的酸性转化酶活性显著低于M处理的酶活(127.23 mg/(g·h));在处理15 d后,CK的酸性转化酶活性(137.60 mg/(g·h))显著高于N处理(66.12 mg/(g·h))和M+N处理(63.78 mg/(g·h))($P<0.05$),M处理的酸性转化酶活性(174.12 mg/(g·h))显著高于CK(137.60 mg/(g·h))($P<0.05$),表明M处理在处理过程中对酸性转化酶活性的促进作用比较显著;M处理的酸性转化酶活性在第15天达到第1个高峰(174.12 mg/(g·h)),在第30天达到第2个高

峰(163.12 mg/(g·h)),此时M处理的萌蘖刚破土,需要大量能量来完成形态发育。N处理的酶活在25 d后开始缓慢上升,可能与萌蘖刚萌发生长有关。

各个处理对萌蘖的中性转化酶(Neutral invertase, NI)活性有一定的影响,由图3可知,在处理10 d, M、N和M+N处理的中性转化酶活(M处理的酶活45.69 mg/(g·h)、N处理的酶活44.28 mg/(g·h), M+N处理的酶活26.19 mg/(g·h))显著低于CK(62.72 mg/(g·h))($P<0.05$);表明M处理、N处理和M+N处理可能对中性转化酶活性产生一定的抑制作用;在处理第25天, N处理的酶活(26.66 mg/(g·h))显著低于CK(47.44 mg/(g·h))($P<0.05$), M处理的酶活(59.03 mg/(g·h))显著高于CK(47.44 mg/(g·h))($P<0.05$);在处理30 d后, M处理的酶活达到第2个高峰(83.09 mg/(g·h)),显著高于其他处理($P<0.05$),表明M处理能够在一定程度上促进中性转化酶活性提高,并且可以持续较长的时间。

3 结论与讨论

目前,国内在榛子萌蘖抑制方面的研究内容较少。前人^[26]研究证实,使用天然油脂和凡士林对嫁接苗砧木萌蘖有一定的抑制作用。方思明等^[27]研究表明,喷施糖类能抑制西瓜嫁接苗砧木萌蘖的发生。本试验在 α -萘乙酸钠处理下同样具有抑制萌蘖的效果,但覆土+ α -萘乙酸钠处理对萌蘖的效果优于单一喷施激素处理,这表明通过结合喷施激素和覆土具有更好的可行性。

果糖主要用于萌蘖膨大过程中细胞的构建,以利于形成新器官^[28]。高博^[29]对葡萄芽的研究表明,芽中较高的果糖含量促进葡萄萌芽。本试验中,在萌蘖萌发时(处理后10 d), α -萘乙酸钠处理和覆土+清水处理均降低了果糖的含量;覆土+ α -萘乙酸钠处理的果糖含量在试验期内呈降低趋势,表明果糖含量降低抑制了萌蘖的萌发。短日照能促进储藏器官发育,能让马铃薯的匍匐茎停止生长,顶端和其下端细胞随即分裂使匍匐茎膨大成为块茎^[30]。有研究表明,极度短日照趋近于暗诱导,影响植物生长发育^[31]。植物激素信号的合成途径又和光暗信号的刺激有密切关系^[32],这进一步说明喷施激素可以配合光暗诱导的线索来深入研究榛子萌蘖芽的萌发。

可溶性糖可以直接提供芽的营养,是芽的生长发育的基础。淀粉是储藏器官的重要成分,它由一系列酶协同催化合成,是莲藕根状茎膨大的一个重要代谢过程^[33]。陈鹏飞等^[34]研究发现,南荻根状茎中的淀粉与可溶性糖含量呈负相关。王慧等^[35]研究发现,碳水化合物影响着桃芽的休眠,尤其是可溶性糖和淀粉含量变化明显。李燕^[36]研究认为,苹果树枝芽内可溶性糖增高和淀粉含量下降时是其打破休眠的标志。在本研究中,通过覆土配施 α -萘乙酸钠能够有效降低可溶性糖含量并提高淀粉含量,以保持榛子萌蘖芽的休眠。

植物组织中的糖类物质含量变化与其相关酶活性高低之间有着密切的联系,酶的活性决定了糖类物质积累量的多少,它们之间存在着正相关关系^[37]。蔗糖可以在储藏器官中形成,土豆培养基中蔗糖浓度的升高可使块茎增多^[38]。KEBROM等^[39]研究表明,抑制小麦芽的生长与芽中糖水平降低有关。MASON等^[40]对豌豆休眠芽施加蔗糖,使休眠芽生长。本研究结果表明,在萌蘖萌发时(处理后10 d), α -萘乙酸钠处理降低了蔗糖磷酸合成酶和中性转化酶的活性;覆土+清水处理降低了蔗糖磷酸合成酶和中性转化酶的活性;覆土+ α -萘乙酸钠处理降低了蔗糖磷酸合成酶、蔗糖合成酶和中性转化酶活性; α -萘乙酸钠处理、覆土+清水处理和覆土+ α -萘乙酸钠处理均显著降低了蔗糖的含量,抑制了萌蘖的生长。

核桃的研究表明^[41],拉枝刻芽等措施通过改变赤霉素、细胞分裂素、生长素、脱落酸等的含量、比例以及分布,影响芽的萌发。目前,关于萌蘖形成的分子水平的研究很有限,而且多集中在特殊蛋白的提取上,越来越多的研究显示,激素并不是控制顶端分生组织和腋芽的发生和发育的唯一重要因素,糖的分配也参与了这些过程,国内对这方面的研究还很欠缺,有待进一步研究。

综上所述,覆土+ α -萘乙酸钠处理能够有效抑制萌蘖的发生,且有效降低萌蘖枝条可溶性糖、蔗糖和果糖含量和蔗糖磷酸合成酶、蔗糖合成酶和中性转化酶活性,抑制了糖代谢的进程,显著抑制榛子萌蘖的生长,为探索激素和覆土抑制榛子萌蘖生长提供了一定的理论依据。

参考文献:

[1] 梁维坚,王贵禧.大果榛子栽培实用技术[M].北京:中国林业

- 出版社, 2015: 1-3.
- LIANG W J, WANG G X. Practical cultivation techniques of *Corylus heterophylla*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015: 1-3.
- [2] 王帆, 张蓓蓓, 畅博奇, 等. 山西太谷杂种榛抽条敏感期的研究[J]. 中国果树, 2022(4): 34-39.
- WANG F, ZHANG B B, CHANG B Q, et al. Study on shoot shrivelling sensitive period of Ping'ou hybrid hazelnut in Taigu Shanxi[J]. China Fruits, 2022(4): 34-39.
- [3] 李金彪. 铁岭市平欧杂种榛高产栽培技术要点分析[J]. 温带林业研究, 2021, 4(3): 57-59.
- LI J B. Analysis on high-yield cultivation technique of *Corylus heterophylla* in Tieling city[J]. Journal of Temperate Forestry Research, 2021, 4(3): 57-59.
- [4] GIRAULT T, ABIDI F, SIGOGNE M, et al. Sugars are under light control during bud burst in *Rosa* sp[J]. Plant, Cell & Environment, 2010, 33(8): 1339-1350.
- [5] CHAO W S, DOĞRAMACI M, HORVATH D P, et al. Phytohormone balance and stress-related cellular responses are involved in the transition from bud to shoot growth in leafy spurge[J]. BMC Plant Biology, 2016, 16: 47.
- [6] ROMAN H, GIRAULT T, BARBIER F, et al. Cytokinins are initial targets of light in the control of bud outgrowth[J]. Plant Physiology, 2016, 172(1): 489-509.
- [7] KEBROM T H, MULLET J E. Transcriptome profiling of tiller buds provides new insights into PhyB regulation of tillering and indeterminate growth in sorghum[J]. Plant Physiology, 2016, 170(4): 2232-2250.
- [8] CHEN F Y, JIANG L R, ZHENG J S, et al. Identification of differentially expressed proteins and phosphorylated proteins in rice seedlings in response to strigolactone treatment[J]. PLoS One, 2014, 9(4): e93947.
- [9] BARBIER F, PÉRON T, LECERF M, et al. Sucrose is an early modulator of the key hormonal mechanisms controlling bud outgrowth in *Rosa hybrida*[J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(9): 2569-2582.
- [10] 杨文钰, 韩惠芳, 任万君, 等. 烯效唑干拌种对小麦分蘖期间内源激素及糖氮比的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(6): 760-765.
- YANG W Y, HAN H F, REN W J, et al. Effects of uniconazole waterless-dressing seed on endogenous hormones and C/N ratio at tillering stage of wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(6): 760-765.
- [11] 张军. 植物激素酶联免疫测定试剂盒的使用[J]. 大学科技, 1992(2): 20-22.
- ZHANG J. Use of enzyme linked immunosorbent assay kit for phytohormone[J]. University Science and Technology, 1992(2): 20-22.
- [12] FRANK A B, BAUER A, BLACK A L. Carbohydrate, nitrogen, and phosphorus concentrations of spring wheat leaves and stems[J]. Agronomy Journal, 1989, 81(3): 524-528.
- [13] 赵会杰, 邹琦, 郭天财, 等. 密度和追肥时期对大穗型小麦¹⁴C-同化作用及其分配的调控效应[J]. 核农学报, 2003, 17(1): 67-72.
- ZHAO H J, ZOU Q, GUO T C, et al. Regulating effect of density and top-dressing time of nitrogen fertilizer on ¹⁴C-assimilation and distribution of assimilate of large-spike cultivar of wheat[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2003, 17(1): 67-72.
- [14] 许乃霞, 杨益花, 苏祖芳. 抽穗后水稻株型与高光效群体形成关系的研究[J]. 耕作与栽培, 2009, 29(5): 17-19.
- XU N X, YANG Y H, SU Z F. Study on the relationship between rice plant type after heading stage and high photosynthetic efficiency population formation[J]. Tillage and Cultivation, 2009, 29(5): 17-19.
- [15] 刘亚军, 王文静, 李敏, 等. 甘薯不同轮作模式对土壤有机碳组分及碳转化酶活性的影响[J]. 河南农业科学, 2024, 53(2): 65-74.
- LIU Y J, WANG W J, LI M, et al. Effects of different rotation modes of sweet potato on soil organic carbon components and carbon conversion enzyme activities[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(2): 65-74.
- [16] 刘娜, 周芹, 于海彬. 不同氮、磷施用量对甜菜叶片中蔗糖代谢有关酶活性的影响[J]. 中国糖料, 2006, 28(1): 30-33.
- LIU N, ZHOU Q, YU H B. Influence of nitrogenous and phosphorus fertilizer on sucrose metabolizing enzyme activities in sugarbeet leaf[J]. Sugar Crops of China, 2006, 28(1): 30-33.
- [17] PHILLIPS I J. Apical dominance[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1975, 26: 341-367.
- [18] CRUZ A, PÉREZ B, MORENO J M. Resprouting of the mediterranean-type shrub *Erica australis* with modified lignotuber carbohydrate content[J]. The Journal of Ecology, 2002, 91: 348-356.
- [19] 张吉玲, 陈钢, 曹光球, 等. 机械损伤及埋土深度对杉木萌蘖及抗氧化酶活性的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(2): 304-310.
- ZHANG J L, CHEN G, CAO G Q, et al. Effects of mechanical damage and deep soil treatment on sprouting and antioxidant enzyme activities of *Cunninghamia lanceolata*[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2021, 38(2): 304-310.
- [20] MASON M G, ROSS J J, BABST B A, et al. Sugar demand, not auxin, is the initial regulator of apical dominance[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(16): 6092-6097.
- [21] FICHTNER F, BARBIER F F, FEIL R, et al. Trehalose 6-phosphate is involved in triggering axillary bud outgrowth in garden pea (*Pisum sativum* L.)[J]. The Plant Journal, 2017, 92(4): 611-623.
- [22] WOODWARD E J, MARSHALL C. Effects of plant growth regulators and nutrient supply on tiller bud outgrowth in barley (*Hordeum distichum* L.)[J]. Annals of Botany, 1988, 61(3): 347-354.
- [23] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 105-107, 144-148.
- GAO J F. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 105-107, 144-148.
- [24] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- ZHANG Z L, QU W J, LI X F. Experimental guidance of plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2009.

- [25] 牛冬青. 整形方式和砧木对酿酒葡萄果实糖酸代谢及有机酸相关基因表达的影响[D]. 太谷:山西农业大学, 2019.
NIU D Q. Effects of shaping methods and rootstocks on sugar and acid metabolism and expression of organic acid related genes in wine grape fruit[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [26] 缪其松, 黄雯, 徐明喜, 等. 天然油脂和凡士林对西瓜嫁接砧木葫芦顶芽生长点的抑制作用[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(4): 75-79.
MIAO Q S, HUANG W, XU M X, et al. Inhibition effect of natural oil and Vaseline on shoot buds of *Lagenaria rootstock* for grafting watermelon[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(4): 75-79.
- [27] 方思明, 黄雯, 徐明喜, 等. 4 种糖类对西瓜嫁接苗生长及砧木萌蘖的影响[J]. 中国果树, 2024(1): 93-96, 127.
FANG S M, HUANG W, XU M X, et al. Effects of four sugars on the growth of watermelon grafted seedlings and rootstock germination[J]. China Fruits, 2024(1): 93-96, 127.
- [28] 张晓冬. 莲藕根状茎碳水化合物代谢及淀粉特性的初步研究[D]. 扬州:扬州大学, 2005.
ZHANG X D. Preliminary study on carbohydrate metabolism and starch properties of lotus root rhizome[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2005.
- [29] 高博. 外源生长调节剂及抹芽处理对葡萄硬枝嫁接的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2018.
GAO B. Effects of exogenous growth regulators and sprouting treatment on grapevine hardwood grafting[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.
- [30] KONDHARE K R, MALANKAR N N, DEVANI R S, et al. Genome-wide transcriptome analysis reveals small RNA profiles involved in early stages of stolon-to-*Tuber* transitions in potato under photoperiodic conditions[J]. BMC Plant Biology, 2018, 18(1): 284.
- [31] DEEPIKA, ANKIT, SAGAR S, et al. Dark-induced hormonal regulation of plant growth and development[J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 581666.
- [32] LEVERNIER N, POULIQUEN O, FORTERRE Y. An integrative model of plant gravitropism linking statoliths position and auxin transport[J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 651928.
- [33] YANG M, ZHU L P, PAN C, et al. Transcriptomic analysis of the regulation of rhizome formation in temperate and tropical Lotus (*Nelumbo nucifera*) [J]. Scientific Reports, 2015, 5: 13059.
- [34] 陈鹏飞, 张锡亭. 南荻根状茎中可溶性糖、淀粉含量的季节变化[J]. 湘潭师范学院学报(社会科学版), 1994, 16(3): 48-52.
CHEN P F, ZHANG X T. Seasonal changes in the amount of total sugar and starch in the rhizome of *Triarrhena lutarioriparia*[J]. Journal of Xiangtan Normal University (Socim Science Edition), 1994, 16(3): 48-52.
- [35] 王慧, 李玲, 谭钺, 等. 休眠期间油桃花芽碳水化合物代谢及其相关基因的表达变化[J]. 植物生理学报, 2011, 47(6): 595-600.
WANG H, LI L, TAN Y, et al. Changes in carbohydrate metabolism and related gene expression in nectarine floral buds during dormancy[J]. Plant Physiology Journal, 2011, 47(6): 595-600.
- [36] 李燕. 休眠前和萌芽期苹果树枝芽中糖及相关酶活性变化[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2016.
LI Y. Changes of sugar and related enzyme activities in apple branches and buds before dormancy and during germination [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016.
- [37] 李新文. 外源喷施 CEPA 及 1-MCP 对富士苹果花芽分化的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2017.
LI X W. Effects of exogenous spraying CEPA and 1-MCP on flower bud differentiation of fuji apple[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017.
- [38] FERNIE A R, WILLMITZER L. Molecular and biochemical triggers of potato tuber development[J]. Plant Physiology, 2001, 127(4): 1459-1465.
- [39] KEBROM T H, CHANDLER P M, SWAIN S M, et al. Inhibition of tiller bud outgrowth in the tin mutant of wheat is associated with precocious internode development[J]. Plant Physiology, 2012, 160(1): 308-318.
- [40] MASON M G, ROSS J J, BABST B A, et al. Sugar demand, not auxin, is the initial regulator of apical dominance[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(16): 6092-6097.
- [41] 魏常燕, 张雪梅, 齐国辉, 等. 不同时期拉枝刻芽对‘绿岭’核桃萌芽成枝和内源激素含量的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(6): 167-171.
WEI C Y, ZHANG X M, QI G H, et al. Effects of bending branch and notching buds in different periods on endogenous hormone concentrations and shoot growth of ‘luling’ walnut[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(6): 167-171.