

BYDV 侵染对燕麦总酚和渗透调节物质含量的影响

王军,赵桂琴,柴继宽,王苗苗,焦润安,孙雷雷,聂秀美

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:为探究燕麦在蚜虫和大麦黄矮病毒(BYDV)为害后的生理响应,研究了接种蚜虫和 BYDV 后不同时间(0,7,14,21,28,35 d),燕麦叶片的总酚、可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量的变化情况。结果表明:蚜虫为害和 BYDV 侵染对燕麦总酚和渗透调节物质有显著影响。随着胁迫时间的增加,总酚含量呈明显上升趋势,接毒处理(接种携带 BYDV 的蚜虫)在接种 35 d 后较不接毒对照高 38.96%($P < 0.05$);可溶性糖含量先上升后下降,接种后 21 d,接毒处理的可溶性糖含量显著高于接虫处理,且较对照高 41.59%.;可溶性蛋白含量显著下降,接种后 28 d 和 35 d,接毒处理的可溶性蛋白含量较接虫处理分别降低了 20.40%和 15.81%;脯氨酸含量总体逐渐升高,接种后 14~21 d,接毒处理脯氨酸含量持续升高并达到最大值,较接虫处理高 27.02%($P < 0.05$)。

关键词:燕麦;BYDV;蚜虫;总酚;渗透调节物质

中图分类号:S544 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)05-0029-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.05.005

燕麦(*Avena sativa*)为禾本科(Gramineae)燕麦属(*Avena*)一年生草本植物^[1],其叶片多汁柔嫩,适口性好,是农牧区冬春补饲和抗灾保畜的优良饲草料,在畜牧业发展中具有举足轻重的地位^[2]。燕麦性喜冷凉,适应性强,具有耐寒、耐旱、耐贫瘠等特点,可粮草兼用,已成为牧区和半农半牧区不可替代的特色粮饲兼用作物^[3-4]。国家“粮改饲”、发展草牧业的重大战略调整^[5]使燕麦迎来了前所未有的发展机遇,集约化的种植面积逐年增加。但受全球气候变暖和干旱年份频繁出现的影响,近年来燕麦病虫害的发生面积不断增加,暴发频率逐渐提高,造成损失逐渐加重^[6]。蚜虫及其传播的大麦黄矮病毒(Barley yellow dwarf virus,

BYDV)成为燕麦生产上的主要害虫和病原,严重影响燕麦的产量和品质,可造成 30%~50%的产量损失^[7]。大麦黄矮病毒主要通过蚜虫传播,被公认为系统感染禾谷类作物黄矮病毒组(Luteovirus genus)最严重的病毒病原体之一^[8]。BYDV 以持续、循环和非繁殖的方式传播,当蚜虫以受感染的植物韧皮部为食,将唾液中的病毒传到健康的植物就会发生感染^[9]。

植物的防御体系是一个多重因素相互作用的复杂体系,许多植物防御途径可以通过病毒感染被激活或抑制^[10]。病毒侵染寄主植物后,寄主体内会发生一系列的生理响应,例如抗氧化酶活性、抗氧化物质和渗透调节物质含量的变化等,其中可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸是典型的渗透调节物质。病毒侵染后,这些物质含量的变化使植物外观和组织呈现不正常症状^[11],表现出花叶褪绿、皱缩或肿突等,阻碍寄主的正常生长发育,并进一步影响其产量和品质^[12]。

我国目前关于侵染燕麦的大麦黄矮病毒的报道多集中在田间抗性鉴定、利用分子生物学手段对 BYDV 基因组结构与功能和致病相关性方面的探讨^[13-14]。鉴于此,本研究拟对燕麦被 BYDV 感染后总酚和渗透

收稿日期:2019-11-08; 修回日期:2020-01-08

基金项目:甘肃省科技计划(19ZD2NA002);国家燕麦荞麦产业体系(CARS-7-C)

作者简介:王军(1993-),男,甘肃庆阳人,硕士研究生。

E-mail:1396708336@qq.com

赵桂琴为通讯作者。

E-mail:zhaogq@gsau.edu.cn

调节物质含量等变化进行研究,探讨燕麦感染 BYDV 后生理生化指标的变化规律,为揭示燕麦对 BYDV 侵染的生理反应机制和燕麦抗 BYDV 育种提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 供试燕麦材料 供试燕麦品种为陇燕 1 号。根据本课题组多年田间抗病性鉴定,表明该品种为 BYDV 易感品种^[15]。

1.1.2 供试虫源 甘肃农业大学草业学院草地农学实验室长期饲养的无毒及高带毒率的麦二叉蚜 (*Schizaphis graminum*) 种群。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 将供试燕麦种子播种在花盆(直径 20 cm、高 15 cm)中,培养基质营养土、蛭石按 2:1(体积比)的比例混合。每盆播种 9 粒种子,覆土约 3 cm,轻微镇压,出苗后进行间苗,每盆留大小一致的苗 5 株。放置于智能光照培养箱中(光照/黑暗:22℃/18℃),定期浇水。待燕麦苗长至三叶一心期,将本实验室饲养的无毒麦二叉蚜和经过人工饲毒处理后携带 BYDV 的带毒蚜虫用毛笔轻轻地接到植株第 2、3 片(自上而下数)真叶背面,每株接种 10 头带毒无翅成蚜,接种完成后立即分单株罩上自制防虫网,以不接虫植株作为对照组。传毒 7 d 后通过喷洒等量杀虫剂进行灭蚜。

于接种后 0、7、14、21、28 和 35 d,从对照(不接种蚜虫)、接虫处理(接种无毒蚜虫)和接毒处理(接种携带 BYDV 蚜虫)植株上取等量完全展开的第 2、3 片真叶混合,重复取样 3 次,清水洗净、沥干,液氮速冻后放入超低温冰箱保存备用,进行总酚含量,可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量的测定。

1.2.2 测定方法 可溶性糖含量测定采用蒽酮法(mg/g);可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝法(mg/g);脯氨酸含量测定采用茚三酮比色法($\mu\text{g/g}$);总酚含量测定采用福林酚法(mg/g);

1.3 数据统计分析

采用 Microsoft excel 2016 进行数据整理,并使用 SPSS 19.0 专业版数据分析软件进行单因素方差分析及相关处理。

2 结果与分析

2.1 不同处理下总酚含量的变化

燕麦叶片总酚含量随着试验时间的延长逐渐增加,但同一时间点对照和处理的增加幅度有显著差异(图 1)。受蚜虫和 BYDV 胁迫后,燕麦叶片中总酚含量呈上升趋势。接种 0~7 d,与对照相比,接毒处理与接虫处理无显著差异($P>0.05$)。接种 14 d,接毒处理和接虫处理总酚含量急剧升高,与对照差异显著($P<0.05$),分别较对照高出 57.35%和 40.19%,且接毒处理总酚含量较接虫处理高 12.24%,二者差异显著($P<0.05$)。随后,总酚含量缓慢升高,仍然表现为接虫处理显著高于对照,且接毒处理显著高于接虫处理($P<0.05$)。接种 35 d,接毒处理较对照的总酚含量高 38.96%。

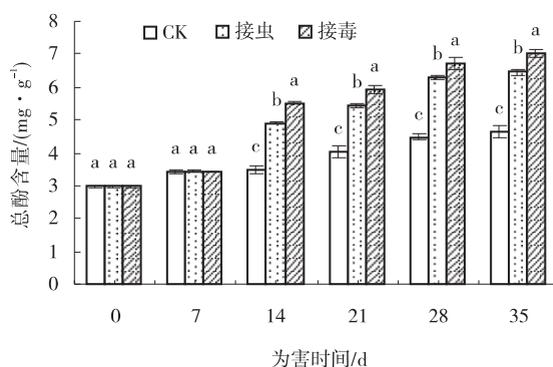


图 1 燕麦的总酚含量

Fig. 1 Total phenol content in oat

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同

2.2 不同处理下可溶性糖含量的变化

接种蚜虫和 BYDV 显著影响了燕麦叶片的可溶性糖含量(图 2),接种后随着时间的推移,可溶性糖含量总体呈先升高后降低的趋势,接种 21 d 达到峰值,随后下降。接种 0~14 d,可溶性糖含量呈现逐渐增加的趋势,但与对照无显著差异($P>0.05$);接种 21 d,接毒处理的可溶性糖含量较接虫处理高 14.44%,较对照高 41.59%。接种 28 d 有明显下降,但处理的可溶性糖含量仍显著高于对照,随后进一步降至与对照接近。

2.3 不同处理下可溶性蛋白含量的变化

与可溶性糖的变化趋势不同,燕麦的可溶性蛋白含量随接种后时间的延长呈下降趋势(图 3)。接种后

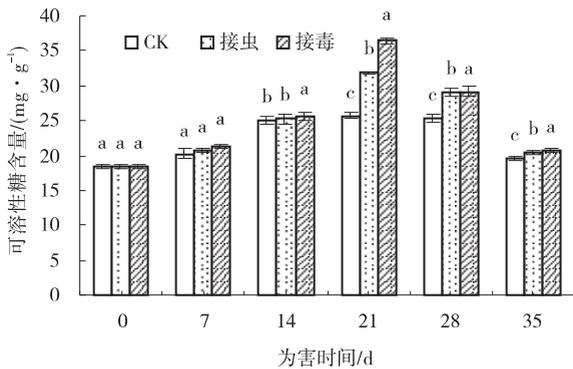


图2 燕麦的可溶性糖含量

Fig. 2 Soluble sugar content in oat

0~7 d, 处理与对照间差异不显著。蚜虫和 BYDV 为害 14~21 d 时, 接虫处理和接毒处理的可溶性蛋白含量显著低于对照, 但接毒和接虫处理之间无明显差异 ($P>0.05$)。28~35 d, 处理组的可溶性蛋白含量均显著低于对照, 且接毒处理与接虫处理间差异显著, 接毒处理下的可溶性蛋白含量较接虫处理分别低 20.40% 和 15.81%。

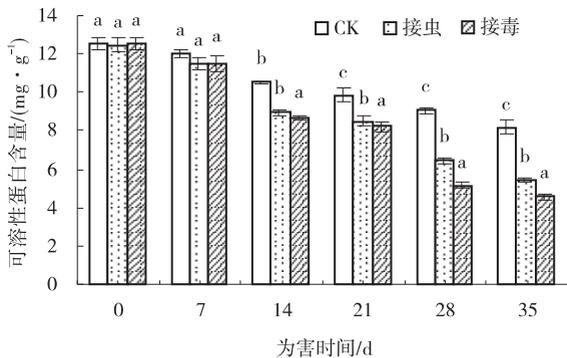


图3 燕麦可溶性蛋白含量

Fig. 3 Soluble protein content in oat

2.4 不同处理下脯氨酸含量的变化

燕麦叶片在被蚜虫及 BYDV 为害后, 其脯氨酸含量随受害时间的延长呈逐渐升高, 随后趋于稳定 (图 4)。接种 7 d, 与对照相比, 接毒处理和接虫处理的脯氨酸含量略有升高, 但差异不显著。接种 14 d, 接毒处理脯氨酸含量迅速升高, 分别较接虫处理和对照增加了 35.33% 和 37.25% ($P<0.05$)。接种 21 d, 接毒处理下的脯氨酸含量持续升高并达到最大值, 较接虫处理高 27.02% ($P<0.05$)。随后各个处理下的脯氨酸含量趋于稳定。

3 讨论

3.1 总酚含量变化与 BYDV 侵染的关系

酚类物质的快速合成及其在细胞壁中的聚合被认

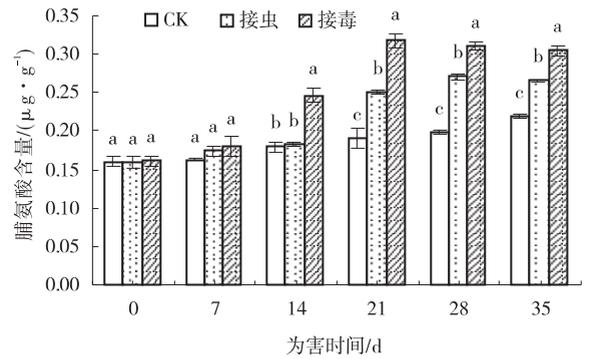


图4 燕麦脯氨酸含量

Fig. 4 Proline content in oat

为是针对病毒感染的植物防御反应^[16-17]。酚类物质是木质素、植保素合成的前体^[18], 而木质素和木栓质的合成有助于增强宿主细胞壁的机械强度, 参与形成可阻断病原体扩散的物理屏障^[19]。植物感病组织中酚类化合物的积累会抑制病原菌的入侵, 是诱导植物发挥抗性的主要物质, 可对一系列生物或非生物胁迫做出响应^[20-22]。余清等^[23]研究发现, 烟草感染黄瓜花叶病毒 (CMV) 后总酚含量增高。辣椒接种胡椒叶卷曲病毒 (PepLCV) 后, 抗性品种的总酚含量增加, 而敏感品种的总酚含量降低^[24]。接种 3 个月后, 在可可中观察到可可肿枝病毒病 (CSSVD) 抗性总酚含量呈正相关^[25]。本研究中, 受蚜虫和 BYDV 胁迫后, 燕麦叶片中总酚含量显著上升。接种 14 d, 接毒和接虫处理的总酚含量分别较对照升高 57.35% 和 40.19%, 且接毒处理显著高于接虫处理。这与 Choudhury 等^[19]在 BYDV 胁迫下小麦和大麦生化反应的研究结果一致, 也与其他植物和病毒相互作用的结果一致, 黄学跃等^[21]在研究烟草抗 CMV 生化结构中, 发现病毒侵染诱导了植物酚类物质的快速合成。Siddique 等^[26]的研究表明棉花在被棉花叶卷曲病毒感染后, 叶片中的总酚含量显著高于未接种的植株。

大量研究表明, 随着生育进程的推进, 植物组织中总酚含量随着叶片的衰老而升高。赵会纳等^[27]研究发现烟草总酚含量总体上随着烟叶叶龄的增加而缓慢上升。赵文峰^[28]在研究玉米次生化合物与抗蚜性关系时发现, 不同抗性自交系在隔离状态下叶片的总酚含量随生育期推移逐步上升。本试验也得到了类似的结果, 未接种蚜虫和 BYDV 的对照组燕麦叶片总酚含量随时间的推移也缓慢上升, 到 35 d 以后, 燕麦生长已进入拔节期, 新的叶片不断长出, 原先接种的叶片长大并开始衰老。

3.2 渗透调节物质含量变化与 BYDV 侵染的关系

植物在遭受逆境胁迫时能够通过代谢调控主动积累一些小分子物质进行渗透调节、缓解渗透胁迫,维持渗透压,使细胞内各种生理活动能够正常进行,因此渗透调节物质的积累是植物在逆境条件下得以生存的重要机制之一^[18]。本研究结果表明,蚜虫和 BYDV 胁迫下燕麦叶片中可溶性糖含量先升高后降低,可溶性蛋白含量下降,脯氨酸含量上升。

3.2.1 可溶性糖含量变化与 BYDV 侵染的关系 糖类作为植物代谢的基础物质,不仅是植物本身各类代谢的物质、能量来源,而且是病原菌的营养来源^[27]。一般植物体内糖的含量越高,新陈代谢越旺盛,其生命力就越强,抵抗病原菌的能力也越强。植物与病原菌互作会引起寄主体内糖代谢的变化,而糖是植物感病后启动或加强的磷酸戊糖途径的底物,磷酸戊糖途径的产物和中间产物是合成某些与抗病性有关的次生代谢产物的前体,因此含糖量的增加会对植物的抗病性起积极作用^[28-29]。宋海超^[30]研究发现,可溶性糖含量在稻瘟病的病程早期与抗病性呈正相关关系,并认为糖类物质含量高有利于水稻对稻瘟病抗性的表达。李佐同等^[31]发现水稻幼苗体内可溶性糖含量在稻瘟病菌侵染初期与抗病性呈正相关,可溶性糖含量高有利于水稻抗性的表达,从而提高抗性。

在逆境胁迫中可溶性糖作为小分子渗透调节剂参与渗透调节,并且与可溶性蛋白具有一定的相关性,因为植物体内的可溶性蛋白大多是参与各种代谢的酶类,可溶性糖的合成与这些酶的数量和稳定性直接相关^[32]。本研究发现,随蚜虫和 BYDV 胁迫时间的增加,燕麦叶片中可溶性糖含量呈先升高后降低的趋势,在接种 21 d 时达到峰值,随后逐渐下降。这可能是由于病原菌的侵入诱导了植物体内小分子多糖的水解,导致可溶性糖增加,进而促进磷酸戊糖途径代谢,由于代谢能力加强,又致使含糖量下降。另一方面,病毒在燕麦植株体内快速复制也可能导致可溶性糖含量下降,尤其是发病后期,燕麦可溶性糖含量显著下降,揭示植株在感染病毒后生长状况正逐步恶化,这与其外观生长情况相一致。本研究结果显示,未接种蚜虫或 BYDV 的对照组燕麦叶片中可溶性糖含量随时间的推移整体变化趋势较为平缓,先缓慢升高然后降低,降低的速度较上升的速度快。这可能是由于随着发育的加剧导致的糖类大量消耗,这与林金水等^[33]和隋娜等^[34]

的研究结果一致。

3.2.2 可溶性蛋白含量变化与 BYDV 侵染的关系

可溶性蛋白质参与植物细胞的渗透调节,抗性越强植物体内可溶性蛋白质含量越高^[32]。高含量的可溶性蛋白质有助于维持植物细胞较低的渗透势水平、增强植物耐脱水能力、保护细胞结构并且延缓衰老,以抵御胁迫引起的伤害^[35]。有关植物体内蛋白质含量与抗病性关系的报道也比较多,结论不尽相同。宋海超^[30]认为可溶性蛋白含量越高水稻的抗瘟性越强,反之则越弱。水稻抗瘟性的表达与可溶性蛋白含量上升的时间、速度和幅度有关。杨敏等^[36]在研究 *Hpa1₁₀₋₄₂* 小麦对赤霉病的抗性时认为,小麦感染赤霉病后可溶性蛋白含量呈下降趋势,可溶性蛋白含量与小麦抗赤霉病等级值呈极显著负相关。周丰静^[37]通过研究甘蔗花叶病的病样生理生化变化时发现,染病植株的可溶性蛋白含量比健康植株的低,可溶性蛋白含量与品种抗性呈负相关。

本研究发现,在蚜虫及 BYDV 为害过程中,燕麦叶片内可溶性蛋白含量呈明显下降趋势,染病植株的可溶性蛋白含量较健康植株低。这与杨敏等^[36]的研究结果一致,刘慧芹^[38]研究叶霉病菌毒素与番茄品种抗病性的关系时,也发现抗、感品种可溶性蛋白含量均呈下降趋势。在本研究中,感染 BYDV 后燕麦叶片的可溶性蛋白含量降低,可能是病毒进入细胞后促进了蛋白水解酶的活性,促使原有蛋白质分解,或者是损害了蛋白质合成的相关细胞器,减少了新蛋白的合成,是对病毒胁迫的一种适应。

大量研究表明,随着生育进程的推进,植物组织中可溶性蛋白含量随着叶片的衰老而呈下降趋势。宋慧等^[39]通过研究小豆叶片衰老与活性氧代谢的关系,发现随着衰老进程的推进可溶性蛋白含量下降。李夏等^[40]研究了谷子功能叶片衰老和活性氧代谢的关系,也发现可溶性蛋白含量随叶片衰老显著下降。本试验中未接种蚜虫或 BYDV 的对照组燕麦叶片中可溶性蛋白含量随时间的推移而降低。随着取样时间的延长,燕麦生长已进入拔节期,原先接种的叶片长大并开始衰老,导致其可溶性蛋白含量下降。

3.2.3 脯氨酸含量变化与 BYDV 侵染的关系

脯氨酸是植物体内一种极其重要的渗透调节物质。汤章城^[41]认为,植物受到生物或非生物胁迫时,体内游离脯氨酸积累是一种普遍现象。在正常环境下植物体内

脯氨酸维持在较低水平,但当植物受到外界胁迫时,其含量会随之提高以维持植物细胞与环境的渗透平衡,具有防止质膜受损以及提高酶活性等功能^[41,43]。因此,脯氨酸在植物体内的含量可在一定程度上反映植物的抗逆性^[44]。周福才等^[45]发现黄瓜叶片中游离脯氨酸含量在瓜蚜取食后呈上升趋势。李伯凌等^[46]研究表明,木薯叶片中游离脯氨酸的含量与木薯抗细菌性枯萎病的能力呈负相关。刘淑娜^[47]研究了马铃薯对疮痂病的抗性机制,发现接种后抗、感品种脯氨酸含量均有所上升,且抗病品种上升的幅度高于感病品种。

本研究中,燕麦接种 BYDV 后脯氨酸大量积累,可能是由于病毒侵染后叶片内脯氨酸合成酶活性提高,这也是植物的一种适应性保护。蚜虫和 BYDV 胁迫引起燕麦脯氨酸含量增加,在侵染后期均达到显著差异,表明病毒侵染促进了燕麦叶片组织内脯氨酸的积累。李兴红等^[48]的研究也表明,植物体内脯氨酸含量与植物抗病毒能力之间存在密切关系,其含量随病毒胁迫的加深而增加。

4 结论

燕麦被蚜虫和大麦黄矮病毒为害后,诱发了显著的生理生化变化。随为害时间的延长,燕麦叶片中总酚和脯氨酸含量显著增加,可溶性糖含量先升高后降低,可溶性蛋白含量呈显著下降。和接虫处理相比,接毒处理总酚和渗透调节物质(可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸)的变化更剧烈。

参考文献:

[1] 任长忠,胡跃高. 中国燕麦学[M]. 北京:中国农业出版社,2013.

[2] 徐长林. 高寒牧区不同燕麦品种生长特性比较研究[J]. 草业学报,2012,21(2):280-285.

[3] 李春杰,陈泰祥,赵桂琴,等. 燕麦病害研究进展[J]. 草业学报,2017,26(12):203-222.

[4] 聂秀美,赵桂琴,柴继宽,等. 黄土高原半干旱区引进燕麦种质的适应性评价[J]. 草原与草坪,2019,39(2):25-31.

[5] 卢欣石."粮改饲"推进草牧业发展[J]. 饲料与畜牧,2018(4):5-7.

[6] 王丽,霍治国,张蕾,等. 气候变化对中国农作物病害发生的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(7):1673-1684.

[7] Liu X F, Hu X S, Keller M A, et al. Tripartite Interactions of Barley Yellow Dwarf Virus, Sitobion avenae and Wheat Varieties[J]. PLoS ONE, 2014, 9(9): e106639.

[8] Jimenez-Martinez E S, Bosque-Perez N A, Berger P H, et al. Life history of the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi*, on Transgenic and untransformed wheat challenged with Barley yellow dwarf virus[J]. Journal of Economic Entomology, 2004, 97(2): 203-212.

[9] Walling L L. Avoiding effective defenses: strategies employed by phloem-feeding insects[J]. Plant Physiology, 2008, 146(3): 859-866.

[10] Lewsey M G, Murphy A M, Maclean D, et al. Disruption of two defensive signaling pathways by a viral RNA silencing suppressor[J]. Ontario Institute for Studies in Education, Educational Research Series, 2010, 23(7): 835.

[11] 冯岩. TuMV 侵染对不结球白菜光合特性和抗氧化酶代谢的影响及病毒 CP 和 HC-Pro 基因的克隆[D]. 南京:南京农业大学,2009.

[12] 毛健民,郑爱珍,白岩等. 烟草叶片感染花叶病毒时的某些生理生化变化[J]. 吉林农业大学学报,2002(4):19-21.

[13] 王亚南,周锐,王锡锋,等. 大麦黄矮病毒-GAV 在燕麦植株体内运动规律的初步研究[J]. 植物病理学报,2009,39(3):249-253.

[14] Bradley J, Rebekah E, Eric W, et al. Genome-Wide Association Mapping of Barley Yellow Dwarf Virus Tolerance in Spring Oat (*Avena sativa* L.) [J]. PLOS ONE, 2016, 23(7):835.

[15] 郭成,周天旺,郭满库,等. 291 份燕麦种质资源对红叶病抗性的鉴定[J]. 草原与草坪,2019,39(2):60-65.

[16] Sattler S, Funnell-Harris D. Modifying lignin to improve bioenergy feedstocks: strengthening the barrier against pathogens[J]. Frontiers in plant science, 2013(4):70.

[17] Matern U, Kneusel R E. Phenolic compounds in plant disease resistance. [J]. Phytoparasitica, 1988, 16(2): 153-170.

[18] Lyon G, Heilbronn J, Forrest R, et al. The biochemical basis of resistance of potato to soft rot bacteria [J]. Netherlands Journal of Plant Pathology, 1992, 98 (sup 2): 127-133.

[19] Choudhury S, Hu H, Larkin P, et al. Agronomical, biochemical and histological response of resistant and susceptible wheat and barley under BYDV stress. [J]. PeerJ, 2018: e4833.

[20] 杨辉,沈火林,朱鑫,等. 防御酶活性、木质素和总酚含量与辣椒抗黄瓜花叶病毒的关系[J]. 中国农学通报,

2006,22(5):369-373.

- [21] 黄学跃,赵立红,刘勇,等. 黄瓜花叶病毒诱导烟草抗病性的生化研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),1999(3):72-74.
- [22] 马利菁. 酚类物质及酚类合成相关酶与苹果灰霉病抗性的关系[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [23] 余清,刘勇,杨树军,等. 几种烟草抗病毒剂田间药效及对烟株抗病性的影响[J]. 云南农业大学学报,2001,(1):9-12.
- [24] Rai V P, Jaiswal N, Kumar S, *et al.* Response of total phenols and peroxidase activity in Chilli exposed to pepper leaf curl virus disease[J]. *Vegetable Science*, 2010, 37(1):78-80.
- [25] Ofori A, Padi F K, Ameyaw G A, *et al.* Genetic variation among cocoa (*Theobroma cacao* L.) families for resistance to cocoa swollen shoot virus disease in relation to total phenolic content[J]. *Plant Breeding*, 2015, 134(4):477-484.
- [26] Siddique Z, Akhtar K P, Hameed A, *et al.* Biochemical alterations in leaves of resistant and susceptible cotton genotypes infected systemically by cotton leaf curl Burewala virus[J]. *Journal of Plant Interactions*, 2014, 9(1):702-711.
- [27] 赵会纳,潘文杰,陈懿,等. 不同烤烟品种发育过程中多酚物质动态变化分析[J]. 江西农业学报,2011,23(8):76-78.
- [28] 赵文峰. 不同抗性玉米自交系抗蚜特性初步研究[D]. 洛阳:河南科技大学,2010.
- [29] 闫慧娟,韩玉杰. 不同抗性玉米接种矮花叶病毒后的生理生化变化研究[J]. 山西大学学报(自然科学版),2010,33(3):458-462.
- [30] 宋海超. 水稻抗瘟性的生化机制研究[D]. 广州:华南热带农业大学,2003.
- [31] 李佐同,靳学慧,张亚玲,等. 水稻幼苗可溶性糖及可溶性蛋白含量与抗瘟性的关系[J]. 北方水稻,2009,39(4):6-9.
- [32] 王娟,李德全. 逆境条件下植物体内渗透调节物质的积累与活性氧代谢[J]. 植物学通报,2001(4):459-465.
- [33] 林金水,陆鑫眉,蔡锦玲,等. 龙船花花蕾发育过程中部分生理指标的变化[J]. 中国农学通报,2010,26(24):217-220.
- [34] 隋娜,李萌,韩伟,等. 超高产小麦生育后期旗叶生理特性的研究[J]. 麦类作物学报,2009,29(6):1039-1042.
- [35] 郭陞垚,陈剑洪,肖宇,等. 不同抗性花生品种接种疮痂病菌后其生理特性及产量的变化[J]. 中国农学通报,2015,31(9):88-92.
- [36] 杨敏,秦保平,刘昌来,等. 转 Hpa1(10-42)小麦分子鉴定及赤霉病抗性功能评价[J]. 中国农业科学,2013,46(4):657-667.
- [37] 周丰静. 甘蔗花叶病的分子检测及病样生理生化变化[D]. 南宁:广西大学,2015.
- [38] 刘慧芹. 叶霉病菌毒素与番茄品种抗病性关系的研究[D]. 晋中:山西农业大学,2003.
- [39] 宋慧,冯佰利,高小丽,等. 不同小豆品种(系)叶片衰老与活性氧代谢[J]. 作物学报,2010,36(2):347-353.
- [40] 李夏,妙佳源,高小丽,等. 连作条件下谷子叶片衰老与活性氧代谢研究[J]. 中国农业大学学报,2016,21(4):1-9.
- [41] 汤章成. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学技术出版社,1999.
- [42] 全先庆,张渝洁,单雷,等. 脯氨酸在植物生长和非生物胁迫耐受中的作用[J]. 生物技术通讯,2007(1):159-162.
- [43] 吴梅梅,杨丽荣,杨小振,等. 蚜虫侵染对西瓜幼苗生理生化指标的影响[J]. 果树学报,2015,32(5):943-949.
- [44] 罗玉明,张晓燕,华春. 大麦黄花叶病抗性机理的初步研究[J]. 南京师大学报(自然科学版),2000,23(4):93-96.
- [45] 周福才,任佳,陈学好,等. 瓜蚜取食对黄瓜叶片中抗生物质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2014,35(4):99-103.
- [46] 李伯凌. 木薯抗细菌性枯萎病的生理机制研究[D]. 海口:海南大学,2017.
- [47] 刘淑娜. 马铃薯不同种质资源对疮痂病的抗性鉴定及其抗病机制[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2019.
- [48] 李兴红,康绍兰,任凤海,等. 天然植物性抗病毒制剂 VA 对辣椒、番茄和草莓病毒病的控制作用[C]// 中国植物病理学会. 植物病害研究与防治. 北京:1998:693.

Effects of BYDV infection on total phenol and osmotic adjustment substances in oat

WANG Jun, ZHAO Gui-qin, CHAI Ji-kuan, WANG Miao-miao, JIAO Run-an,
SUN Lei-lei, NIE Xiu-mei

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecology System, Ministry of Education, Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The physiological response of oat to aphid and barley yellow dwarf virus (BYDV) was studied by measuring the contents of total phenol content, soluble sugar, soluble protein and proline in the leaf of infected oat at different dates (0, 7, 14, 21, 28 and 35 days). The results showed that aphids and BYDV infection had significant effects on total phenolic and osmotic adjustment substances in oat. With the increase of stress time, the total phenolic content showed a significant increasing trend. And its content in infection treatment (inoculation of aphids carrying BYDV) was significantly higher than that in control (without aphids) by 38.96% after 35 days of inoculation ($P < 0.05$). The content of soluble sugar first increased and then decreased. After 21 days of inoculation, the difference of the soluble sugar content between the BYDV inoculated treatment and the aphid inoculated treatment was significant, and it was 41.59% higher than the control. The soluble protein content decreased after treatment for 28 and 35 days, and it was 20.40% and 15.81% lower in BYDV treatment than that in aphid treatment. After inoculation for 14 to 21 days, the proline content in BYDV treatment kept increasing to a maximum, which was significantly higher than that in aphid treatment by 27.02% ($P < 0.05$).

Key words: oat; BYDV; aphid; total phenol; osmotic adjustment substance

声 明

为扩大本刊及作者知识信息交流渠道,加强知识信息推广力度,本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在CNKI中国知网及其系列数据库产品中,以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该著作权使用费及相关稿酬,本刊均用于期刊出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途,即不再另行向作者支付。凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意编辑部上述声明。

《草原与草坪》编辑部