

乳酸菌对植物生长和青贮饲料蛋白降解的研究进展

许留兴,王钰,刘仁飞,祁启望,余正,高永磊,季成佳,武丹,张小龙,

刘丽*,蒙元燕**

(昭通学院农学与生命科学学院,云南 昭通 657000)

摘要:梳理了近年来国内外关于乳酸菌对植物生长和青贮饲料蛋白降解的现状与发展趋势,重点概述的内容有以下3个方面:1)乳酸菌提取与筛选的方式和目的;2)乳酸菌对植物生长和疾病的调控;3)乳酸菌对青贮饲料蛋白降解和微生物群落的影响。总结了乳酸菌在筛选和利用时存在的问题和不足。同时,对乳酸菌的研究趋势和研究重点进行了展望,以期为农业和畜牧业的发展提供理论指导与参考。

关键词:乳酸菌;植物生长;青贮;蛋白降解

中图分类号:S816 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)01-0150-07

DOI:10.13817/j.cnki.cyyep.2023.01.020



随着工业化的发展,全球农业产量在1960—2015年增加了两倍,但许多国家或地区仍面临持续而普遍的饥饿和营养不良的问题,牛羊肉供给量的不足是导致这一结果的重要原因^[1]。盲目扩大粮食生产规模增加了生态环境恶化的风险,种质和微生物资源创制、废弃物资源的循环利用和传统资源利用潜力的挖掘等成为缓解当前农业发展问题的有效途径。乳酸菌是指在一定条件下能利用糖类发酵产生乳酸的一类非病原性细菌的总称,显微镜观察下呈革兰氏阳性、无芽孢的杆菌或球菌,兼性厌氧或微好氧^[2]。它广泛分布于食品^[3]、作物^[4]、饲料^[5]、肠道^[6]、水和土壤^[7]中。就农业发展而言,乳酸菌对作物的农艺特性^[8]、抗逆性^[9]和青贮发酵品质^[10]等有显著改善作用,已成为农业生产系统中的重要组成部分。但是,随着科学技术

的发展,乳酸菌在农产品生产和加工中的应用机理有待进一步挖掘。尤其是在青贮饲料制作领域,青贮发酵品质的优劣、蛋白降解程度和动物生产性能的高低等都直接与乳酸菌有关。本研究就国内外对乳酸菌的提取与筛选、对作物栽培和青贮饲料的品质的影响进行分析和概述,以期对我国乳酸菌在农业和畜牧业中的筛选和推广利用提供参考。

1 乳酸菌的筛选与鉴定

优良的乳酸菌株是促进作物生长、抑制病菌侵袭的重要微生物,也是控制发酵过程的关键因素。乳酸菌的单一的鉴定方法存在较大缺陷,尽管目前较为精确的是16S rDNA鉴定方法,但越精准的鉴定方法往往伴随着更高的经济投入,而表型鉴定与生理生化鉴定则成本较低。

田静^[11]通过调节培养基的pH值和糖浓度、喷洒外来氮源、改变环境氧气和湿度等条件筛选出了适宜不同环境的乳酸菌,这为乳酸菌在植物表面的生长提供了依据。王媛^[12]采用牛津杯双层平板法从84株乳酸菌中筛选出了6株对大肠杆菌、沙门氏菌和李斯特菌具有较强抑制作用的乳酸菌。黄晓晗^[13]将革兰氏染色呈阳性、葡萄糖产酸阳性、产气阴性和过氧化酶反应阴性的菌株判定为乳酸菌。付红岩等^[14]为获得

收稿日期:2021-12-07;**修回日期:**2022-01-22

基金项目:2023年度云南省基础研究计划青年项目(202201AU070161);2023年度云南省教育厅科学研究基金项目(2023J1205)

作者简介:许留兴(1991-),男,博士,贵州盘县人,主要从事饲草栽培与青贮加工研究。

Email:331405719@qq.com

*通信作者。E-mail:1056037751@qq.com

**通信作者。E-mail:2441863968@qq.com

具有抗真菌作用的乳酸菌,以酸菜为材料,用MSR选择性培养基进行分离得到的革兰氏阳性菌,菌株菌落形态主要有透明,半透明,乳白色,圆形,光滑不圆整,微隆或凸起状,直径有0.7~1.0 mm,1.0~1.5 mm,1.5~2.0 mm,镜检形态有短杆状,长杆状,弯曲短杆状,成对短杆状,链状。通过运动性、温度、硝酸盐还原、产H₂S、吡啶和发酵产酸等一系列试验,黄晓晗^[13]发现植物乳杆菌具备不运动、硝酸盐还原试验为阴性、不产生H₂S等特性、耐受温度的下限为15℃;乳酸片球菌成对存在、能利用甘露醇、木糖、棉子糖和阿拉伯糖等,不能利用海藻糖、纤维二糖和鼠李糖等^[15]。

在对乳酸菌进行生理和生化鉴定的基础上,利用细菌基因组提取试剂盒对分离纯化的疑似乳酸菌菌液提取基因组,利用7F/1540R引物聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)扩增16S rDNA片段,然后将PCR产物电泳后回收,送由基因公司测序^[16]。测序结果用Blast与NCBI中的Gene Bank数据库中近缘菌株的16SrDNA进行同源性比对,使用软件进行系统进化树的构建,确定疑似菌株的分类地位。

基质辅助激光解析电离飞行时间质谱、核酸杂交技术、DNA指纹图谱技术、基因芯片技术和高通量测序技术等已在微生物领域运用较多^[17],这为乳酸菌的鉴定提供了条件。根据乳酸菌筛选的目的和试验设计,可考虑构建不同代谢产物模型用于预测其效果。此外,处于亚致死损伤状态^[18]的乳酸菌虽然暂时失去了活力,但在条件适当时也可能重新获得繁殖能力,对于具有该特性的乳酸菌的筛选、鉴定和代谢产物的分离也应受到重视。

2 乳酸菌对植物生长和疾病防控的影响

2.1 乳酸菌对植物生长的促进

乳酸菌作为农业有益微生物,对促进植物生长具有积极作用,是自然环境中普遍存在的一种安全且可食用的微生物,在农产品种植及其质量安全中发挥着独有的优势。研究表明,乳酸菌能通过释放有机酸或离子以降低环境pH值,溶解磷复合物而具有解磷作用,促进植物对磷元素的吸收^[19];乳酸菌处理的栀子(*Gardenia jasminoides*)株高、冠幅、最大叶面积,叶绿

素含量、可溶性糖含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性等指标都有显著提高^[20];乳酸菌复合制剂可以有效改良盐碱地的化学性质,调节、优化土壤微生物群落与功能基因的结构,促进作物的生长^[21]。就谷类作物而言,乳酸菌处理显著提高了小麦(*Triticum aestivum*)幼苗发芽率、叶绿素含量、过氧化物酶活性和还原型谷胱甘肽含量,极显著增加叶鲜重、苗长、SOD和过氧化氢酶活性^[22]。乳酸菌及其代谢产物可以有效改善牧草的农艺性状,并增加牧草产量^[23]。综上所述,乳酸菌具有生物肥料或植物生长促进菌的功效,这对生态农业的发展具有重要意义。值得注意的是,无论是同型还是异型乳酸菌,其代谢产物通常伴随着pH值的降低,这增加了作物受到酸胁迫的风险。

乳酸菌分泌出的有机酸能溶解土壤中难溶性磷酸盐,并通过螯合作用释放出便于植物吸收的磷素^[24],*Enterococcus faecalis* IJ-12和*E. faecium* CE3.A具有溶解释放游离磷元素的能力,能够促进花生生长^[25]。乳酸菌产生的表多糖能够促进有机酸对磷酸三钙的溶解,进而有利于磷元素的游离释放,便于植物吸收^[26]。乳酸菌具有β-葡萄糖苷酶活性,这对植物纤维素的变化具有重要影响^[27]。西红柿(*Solanum lycopersicum*)种子在*L. plantarum*发酵液中浸泡6 h后,种子发芽率提高了7.6%,同时幼苗和幼根分别增长了16.4%和28.6%^[28]。当利用10⁹ cfu/mL菌液浸泡小麦种子时,小麦的生物量、发芽率、超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性都显著提高^[29];当小麦叶片喷施10⁴ cfu/mL乳酸菌时,分蘖数和穗长较对照增加了16.2%和6.40%^[30]。

2.2 乳酸菌对动物和植物疾病的防控

乳酸菌对动物疫病的防控也表现出积极作用,这主要得益于其安全性能高、蛋白表达不需纯化、能在动物体内长期存活且不断表达外源蛋白等优点^[31]。有研究显示,经阴道注射乳酸菌可降低奶牛发病率,尤其对子宫炎发病率减轻较为明显^[32]。大多数植物病害由真菌引起,主要表现为局部细胞和组织坏死、腐烂,最终导致植株萎焉、死亡,而诸多研究证实乳酸菌可有效防治植物真菌性病害。日本科学家以乳酸片球菌为基础,研制出了液态农药,并用于菠菜(*Spinacia oleracea*)种子处理,结果显示播种在含枯萎病的土壤中的菠菜染病率降至12%^[19]。此外,经乳酸

菌处理后的辣椒苗的染病率降低了80%^[33],对黄瓜(*Cucumis sativus*)炭疽病菌的抑菌率为43.7%^[34],这与部分农药效果相当,乳酸菌制剂也并未对这些作物表现出负面影响。

2.3 植物表面乳酸菌群落

在牧草青贮前,干物质(Dry matter, DM)、可溶性碳水化合物(Water-soluble carbohydrates, WSC)、缓冲能和植物携带乳酸菌的种类和数量等都对青贮过程中乳酸菌的繁殖产生不同程度的影响。通常,针对作物的营养指标,研究人员通过田间管理措施(包括农艺措施和收获时间)进行调控^[4],以达到适宜青贮的目的。但农艺措施对植物表面乳酸菌数量的调控比较困难,其在植物表面的分布受植物表面结构^[35]、部位^[36]、营养^[37]和生境^[38]等的影响。植物表面常见的乳酸菌包括 *Enterococcus*、*Lactococcus*、*Lactobacillus*、*Pediococcus*、*Leuconostoc*、*Streptococcus* 和 *Weissella* 等^[39]。从分蘖期到成熟期,小麦表面均有植物乳杆菌的不同菌株存在^[40]。在小麦生长过程中也发现了少量的 *L. sanfranciscensis* 菌株,它可优先利用麦芽糖,继而利用葡萄糖、果糖、蔗糖等合成氨基酸,如天冬氨酸,天冬酰胺和谷氨酸^[41],但这些乳酸菌对植物生理及产量响应方面具体表现如何并没有明确答案。植物表面乳酸菌数量通常较少,研究人员或生产者往往在青贮中通过接种乳酸菌来改善青贮发酵品质,但这将导致工作量和经济投入的增加。

3 乳酸菌对青贮饲料发酵品质的影响

3.1 蛋白降解

牧草在青贮过程中伴随着一定程度的蛋白降解。在植物蛋白酶和微生物酶的共同作用下,牧草的真蛋白被水解为肽氮、游离氨基酸态氮、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 以及胺等非蛋白氮^[42],这一过程主要经历2个阶段^[43]:第1阶段是在青贮初期,牧草本身的植物蛋白酶将蛋白水解为肽和游离氨基酸;第2阶段是由微生物蛋白酶将氨基酸脱氨基产生 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。青贮过程中,乳酸菌以可溶性碳水化合物为底物代谢产生乳酸,随着乳酸浓度的增加,青贮饲料的pH值也降低,而pH的变化又影响不同的酶活性。如氨基肽酶和酸性蛋白酶的活性分别在pH值为6.6~7.1^[44]和4.5^[45]时最高。在植物游离氨基酸含量较低的情况下,青贮饲料中的乳酸菌可能

会将蛋白质降解为氨基酸来促进自身繁殖^[46]。不同氨基酸可能受不同微生物的降解,如副干酪乳杆菌能降解脯氨酸^[47],丝氨酸被植物乳杆菌降解^[43]。但在青贮后期也可能出现低pH值抑制了微生物活性的现象,其中包括乳酸菌活性被抑制^[48]。Fijalkowska等^[49]在百脉根(*Lotus corniculatus*)青贮中检测到生物胺以尸胺和腐胺含量较高,这可能是乳酸菌代谢利用了一些氨基酸并使其发生脱氨基的结果。

尽管乳酸菌能提高牧草青贮发酵品质,但也受营养组分或田间管理的影响。有研究显示,DM含量过高会导致发酵品质较差,蛋白降解程度较低的现象^[50]。此外,植物氮结构的含量是影响青贮过程中蛋白降解率的重要因素之一,植物蛋白氮^[51]、粗蛋白^[52]含量和施氮量^[53]等与蛋白降解率呈正相关。植物细胞壁组分的蛋白氮不能被蛋白酶降解,因此在蛋白氮含量较低的情况下,也可能出现蛋白降解停止的现象。在青贮过程中,由于蛋白降解形成 NO 、 N_2O 、 NO_2 和胺等产物,会导致青贮后总氮含量出现降低的现象^[43]。乳酸菌在这些情况中对蛋白降解的抑制作用将被降低。

牧草种类对蛋白降解率的影响较大,如紫花苜蓿(*Medicago sativa*)蛋白降解可能达44%~67%,而红三叶(*Trifolium repens*)仅为7%~40%,造成这种结果的关键因素是青贮材料中的多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)。PPO是一种能催化酚类氧化为醌类的叶绿体酶,在青贮过程中的植物细胞被破坏时,细胞液中的酚类物质在有氧条件下自氧化或被多酚氧化酶催化生成醌,醌与蛋白结合从而保护蛋白不被降解^[53]。Marler等^[54]研究发现,紫花苜蓿和红三叶按照5:5的比率混播后刈割青贮,青贮饲料中的可溶性氮和游离氨基酸态氮含量降低,造成这一结果的原因是红三叶中含有大量的多酚氧化酶。在一些全株谷类作物中,也发现了少量的PPO^[55],但这些PPO对蛋白降解的影响研究报道较少。Pys等^[56]利用大麦(*Hordeum vulgare*)与紫花苜蓿混合青贮,蛋白降解并未受到抑制。说明可发酵WSC对蛋白降解的抑制效果具有不确定性,而全株小麦青贮主要依赖收获时有较高的WSC含量,所以在田间种植技术下对全株小麦青贮发酵品质和蛋白降解进行研究极有必要。但我们

目前仍不清楚乳酸菌在青贮过程中对蛋白的抑制作用是否与PPO相似,或能否通过转基因技术使乳酸菌具备PPO的功能。

3.2 微生物群落

青贮中常见乳酸菌可根据代谢类型分为同型乳酸菌(肠球菌属、片球菌属、链球菌属、乳球菌属、部分乳杆菌属)和异型乳酸菌(明串珠菌属、部分乳杆菌属),同型乳酸菌的代谢产物只有乳酸,而异型发酵乳酸菌除了乳酸,还有乙酸、乙醇和CO₂等。*Leuconostoc*, *Lactococcus*, *Enterococcus*和*Pediococcus*是主导牧草自然发酵的菌种^[57]。倪奎奎^[58]通过青贮发现,水稻(*Oryza sativa*)青贮后的乳杆菌数量仅占菌群的13.2%,*P. acidilactici*和*W. kimchi*并没有在水稻青贮中发现,但Ennahar等^[59]却在水稻中发现了这两种菌,原因可能是受采样时间、作物生育期和气候等客观因素影响。Yin等^[60]在未晾晒、青贮90 d后的象草(*Pennisetum purpureum*)中发现*Bacillus*、*Paenibacillus*和*Lactobacillus*是优势菌种,晾晒处理的青贮饲料中*Bacillus*、*Klebsiella*和*Lactobacillus*为优势菌种,且*Paenibacillus*的相对丰富度降低。Keshri等^[10]在青贮前对小麦附着微生物进行测序,*Pantoea*(34.7%)和*Weissella*(28.4%)为优势菌种,但青贮后乳酸菌为优势菌种,接种植物乳杆菌和布氏乳杆菌青贮饲料的乳酸菌丰富度比未接种乳酸菌的分别高33.0%和38.7%,接种乳酸菌处理下的微生物多样性降低。

通常,在青贮后期,过高的乳酸导致青贮饲料的pH值降低,这也限制了不耐酸微生物的繁殖。相比未接种乳酸菌的玉米(*Zea mays*)青贮饲料,接种乳酸菌青贮90 d后的菌群少了32个属^[61]。但植物乳杆菌的添加也降低了青贮饲料的有氧稳定性^[62]。因为,植物乳杆菌作为同型发酵乳酸菌,不能产生足够的挥发性脂肪酸来抑制酵母菌和霉菌,进而导致青贮饲料接触空气后变质速度较快。与植物乳杆菌不同,布氏乳杆菌是一种异型发酵乳酸菌,能代谢产生多种产物,且具备将乳酸发酵为乙酸的能力^[63],而乙酸能较好地抑制酵母菌和霉菌^[64]。

4 展望

在乳酸菌筛选方面,产酸能力和活性、有氧稳定性、胁迫能力、抑菌能力、减少微生物的发酵时间,抑

制甲烷的产生等都可作为筛选乳酸菌的参照指标。

随着青贮产业的发展与进步,同时根据一些新标准筛选特殊功能优良菌种,如为提高饲料的消化率,并增强动物的生产性能,一些破坏植物细胞壁的乳酸菌也受到重视。对于制作青贮饲料的原材料,传统的全株青贮作物有玉米和小麦秸秆^[65]。近年来,利用构树(*Broussonetia papyrifera*)^[66]、饲料桑(*Morus alba*)^[67]和黄梁木(*Neolamarckia cadamba*)^[68]等木本饲料进行青贮越来越受到重视。在一些环境较为独特的地区,全株谷类作物的利用也逐渐被生产者使用,如盐碱地生长的牧草^[69]。但在这些新型的饲料或特殊地区栽培的饲料在青贮中的微生物群落及动态变化的研究依然较少,尤其是乳酸菌的代谢途径(碱基切除修复、丙酮酸代谢和转录机制等)仍然有待进一步挖掘。

在未来,或许应该在不同的生境和材料中采集更多的乳酸菌样本,以便建立微生物种质资源库,为饲料作物的开发利用和乳酸菌青贮添加剂的研究指明方向。

参考文献:

- [1] 王贵珍,花立民,牛钰杰,等. 中国牛羊肉生产现状及2015—2020年供需预测分析[J]. 草原与草坪,2016,36(2):44—51.
- [2] Holzapfel W H, Wood B J B. Introduction to the LAB [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [3] 刘磊,汪浩,张名位,等. 龙眼乳酸菌发酵工艺条件优化及其挥发性风味物质变化[J]. 中国农业科学,2015,48(20):4147—4158.
- [4] Xu L X, Tang G J, Liu J X, et al. Cover crops can produce livestock forage in Chinese subtropical regions [J]. Agronomy Journal, 2021, 113: 1535—1547.
- [5] Yin X, Tian J, Zhang J G. Effects of re-ensiling on the fermentation quality and microbial community of napier grass (*Pennisetum purpureum*) silage [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(12): 4—10.
- [6] Milanović V, Osimani A, Cardinali F, et al. Erythromycin-resistant lactic acid bacteria in the healthy gut of vegans, ovo-lacto vegetarians and omnivores [J]. PLoS ONE, 2019, 14(8): e0220549.
- [7] George F, Daniel C, Thomas M, et al. Occurrence and dynamics of lactic acid bacteria in distinct ecological niches:

- A multifaceted functional health perspective [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9:1–15.
- [8] 侯景清. 乳酸菌复合制剂在蔬菜种植及盐碱地培肥中的应用[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2019.
- [9] Konappa N M, Maria M, Uzma F, *et al.* Lactic acid bacteria mediated induction of defense enzymes to enhance the resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* causing bacterial wilt [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 207: 183–192.
- [10] Keshri J, Chen Y, Pinto R, *et al.* Bacterial dynamics of wheat silage [J]. *Frontiers in microbiology*, 2019, 10: 1–16.
- [11] 田静. 乳酸菌在牧草表面的生存能力及对青贮的影响研究[D]. 广州:华南农业大学, 2018.
- [12] 王媛. 植物乳杆菌 ZJU A341 对苜蓿青贮糖代谢及发酵品质的影响[D]. 郑州:郑州大学, 2020.
- [13] 黄晓晗. 青贮饲料发酵用乳酸菌的筛选及其发酵剂的制备研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2013.
- [14] 付红岩, 张筠, 姚晶, 等. 一株抑制真菌乳酸菌的筛选及初步鉴定[J]. *中国食品添加剂*, 2021, 32(9): 39–43.
- [15] 陈鑫珠. 植物表面乳酸菌分布及其影响因素研究[D]. 广州:华南农业大学, 2013.
- [16] 李洋. 肠膜明串珠菌 SN-8 胞外多糖分离纯化, 结构鉴定及功能特性研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2020.
- [17] 张羽, 马爱进, 高利芬, 等. 微生物资源分子鉴定技术的研究进展[J]. *中国工程科学*, 2021, 23(5): 86–93.
- [18] Schenk M, Raffellini S, Guerrero S, *et al.* Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and *Saccharomyces cerevisiae* by UV-C light: Study of cell injury by flow cytometry [J]. *LWT—food science and technology*, 2011, 44(1): 191–198.
- [19] 高鹏飞, 姚国强, 赵树平, 等. 乳酸菌在农产品种植及其质量安全中的研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(6): 143–146.
- [20] 邓茗月, 李海梅, 李彦华, 等. 乳酸菌对栀子生长和生理指标的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(16): 159–163.
- [21] 侯景清, 王旭, 陈玉海, 等. 乳酸菌复合制剂对盐碱地改良及土壤微生物群落的影响[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(4): 710–718.
- [22] 王小杰. 耐盐碱乳酸菌对小麦和水稻幼苗期生长的影响 [D]. 郑州:郑州大学, 2019.
- [23] 赵旭. 乳酸菌及其代谢产物在紫花苜蓿种植中的应用 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2016.
- [24] Hariprasad P, Niranjana S R. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato [J]. *Plant Soil*, 2009, 316(1/2): 13–24.
- [25] Anzuay M S, Frola O, Jorge G, *et al.* Genetic diversity of phosphate—solubilizing peanut (*Arachis hypogaea* L.) associated bacteria and mechanisms involved in this ability [J]. *Symbiosis*, 2013, 60(3): 143–154.
- [26] Yi Y M, Huang W Y, Ge Y. Exopolysaccharide: a novel important factor in the microbial dissolution of tricalcium phosphate [J]. *World J Microbiol Biotechnol*, 2008, 24(7): 1059–1065.
- [27] 薛峰, 颜廷梅, 杨林章, 等. 施用有机肥对土壤生物性状影响的研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(6): 1372–1377.
- [28] Limanska N, Ivanytsia T, Basiul O, *et al.* Effect of *Lactobacillus plantarum* on germination and growth of tomato seedlings [J]. *Acta Physiol Plant*, 2013, 35(5): 1587–1595.
- [29] 王小杰, 陈其欣, 张华, 等. 不同乳酸菌菌株对小麦种子发芽及幼苗生理生化特性的影响[J]. *上海农业学报*, 2021, 37(2): 20–24.
- [30] 冀宇婷, 刘晨, 吴丹薇, 等. 微生态叶面肥促进小麦生长的效应[J]. *生物技术世界*, 2012(4): 46–49.
- [31] 刘乃芝, 亓秀晔, 郭杨丽, 等. 基因工程重组乳酸菌防控动物疫病的研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2020, 47(4): 1199–1208.
- [32] Ametaj B N, Iqbal S, Selami F, *et al.* Intravaginal administration of lactic acid bacteria modulated the incidence of purulent vaginal discharges, plasma haptoglobin concentrations, and milk production in dairy cows [J]. *Research in Veterinary Science*, 2014, 96(2): 365–370.
- [33] 杨惠. 有益微生物在兰花病害防治及生猪养殖中的应用 [D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [34] 许筱, 施艳, 高书锋, 等. 拮抗乳酸菌的筛选及其对黄瓜炭疽病的防治效果[J]. *河南农业科学*, 2012, 41(5): 87–91.
- [35] Vorholt J A. Microbial life in the phyllosphere [J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2012, 10(12): 828–840.
- [36] Remus—Emsermann M N P, Lückner S, Müller D B, *et al.* Spatial distribution analyses of natural phyllosphere—colonizing bacteria on *Arabidopsis thaliana* revealed by

- fluorescence in situ hybridization [J]. *Environmental Microbiology*, 2014, 16(7): 2329–2340.
- [37] Tang G J, Xu L X, Hu Y Q, *et al.* Microbial colonization on the leaf surfaces of different genotypes of Napier grass [J]. *Archives of Microbiology*, 2021, 203(3): 335–346.
- [38] Rastogi G, Sbodio A, Tech J J, *et al.* Leaf microbiota in an agroecosystem: Spatiotemporal variation in bacterial community composition on field-grown lettuce [J]. *The ISME Journal*, 2012, 6(10): 1812–1822.
- [39] Yu A O, Leveau J H J, Marco M L. Abundance, diversity and plant-specific adaptations of plant-associated lactic acid bacteria [J]. *Environmental Microbiology Reports*, 2020, 12(1): 16–29.
- [40] Minervini F, Celano G, Lattanzi A, *et al.* Lactic acid bacteria in durum wheat flour are endophytic components of the plant during its entire life cycle [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2015, 81(19): 6736–6748.
- [41] 唐国建. 影响植物表面乳酸菌分布的主要因素及其机理研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2021.
- [42] Tao L, Zhou H, Guo X S, *et al.* Contribution of exopeptidases to formation of nonprotein nitrogen during ensiling of alfalfa [J]. *Journal of Dairy Science*, 2011, 94(8): 3928–3935.
- [43] Ohshima M, McDonald P. A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 1978, 29(6): 497–505.
- [44] Mckersie B D. Proteinases and peptidase of alfalfa herbage [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1981, 61(1): 53–59.
- [45] 代艳. 不同添加剂对紫花苜蓿青贮过程中蛋白降解特性的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2008.
- [46] Chopin A. Organization and regulation of genes for amino acid biosynthesis in lactic acid bacteria [J]. *Fems Microbiology Reviews*, 1993, 12(1–3): 21–37.
- [47] Winters A L, Cockburn J E, Dhanoa M S, *et al.* Effects of lactic acid bacteria in inoculants on changes in amino acid composition during ensilage of sterile and non-sterile ryegrass [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2000, 89: 442–451.
- [48] Parente E, Ricciardi A. Production, recovery and purification of bacteriocins from lactic acid bacteria [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 1999, 52: 628–638.
- [49] Fijalkowska M, Pysera B, Lipinski K, *et al.* Changes of nitrogen compounds during ensiling of high protein herbages—a review [J]. *Annals of Animal Science*, 2015, 15(2): 289–305.
- [50] 许留兴. 冬闲田种植技术对全株小麦营养价值和土壤特性的影响 [D]. 广州: 华南农业大学, 2020.
- [51] Pitt R E, Muck R E, Leibensperger R Y. A quantitative model of the ensilage process in lactate silages [J]. *Grass & Forage Science*, 1985, 40(3): 279–303.
- [52] Li C J, Xu Z H, Dong Z X, *et al.* Effects of nitrogen application rate on the yields, nutritive value and silage fermentation quality of whole-plant wheat [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2016, 29(8): 1129–1135.
- [53] Lee M R F, Tweed J K S, Sullivan M L. *Oxidation of ortho-diphenols in red clover with and without polyphenol oxidase (PPO) activity and their role in PPO activation and inactivation* [J]. *Grass and Forage Science*, 2013, 68: 83–92.
- [54] Maria P J, Horra A D L, Pruzzo L, *et al.* Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters [J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2002, 35(4): 302–306.
- [55] 曹东, 张雪婷, 王世红, 等. 104 份甘肃小麦品种脂肪氧化酶和多酚氧化酶活性基因等位变异的检测 [J]. *麦类作物学报*, 2014, 34(4): 467–473.
- [56] Pys J, Migdal T, Pucek T, *et al.* Effects of lactic acid bacteria inoculant with chemical composition and protein degradation of alfalfa silage [J]. *Biotechnol Anim Husb*, 2002, 18: 1–56.
- [57] Rossi F, Dellaglio F. *Quality of silages from Italian farms as attested by number and identify of microbial indicators* [J]. *J Appl Microbiol*, 2007, 103: 1707–1715.
- [58] 倪奎奎. 全株水稻青贮饲料中微生物菌群以及发酵品质分析 [D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- [59] Ennahar S, Cai Y, Fujita Y. Phylogenetic diversity of lactic acid bacteria associated with paddy rice silage as determined by 16S ribosomal DNA analysis [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2003, 69: 444–451.
- [60] Yin X, Tian J, Zhang J G. Effects of re-ensiling on the fermentation quality and microbial community of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) silage [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(12): 1–10.

- [61] Keshri J, Chen Y, Pinto R, *et al.* Microbiome dynamics during ensiling of corn with and without *Lactobacillus plantarum* inoculant [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2018, 102:4025–4037.
- [62] Oliveira M R, Jobim C C, Neumann M. *et al.* Effects of inoculation with homolactic bacteria on the conservation of wheat silage stored in bunker-silos[J]. *Ital J Anim Sci*, 2018, 17:81–86.
- [63] Filya I. The effect of *Lactobacillus buchneri*, with or without homofermentative lactic acid bacteria, on the fermentation, aerobic stability and ruminal degradability of wheat, sorghum and maize silages[J]. *J Appl Microbiol*, 2003, 95:1080–1086.
- [64] Weinberg Z G, Ashbell G, Hen Y, *et al.* The effect of applying lactic acid bacteria at ensiling on the aerobic stability of silages[J]. *J Appl Bacteriol*, 1993, 75:512–518.
- [65] 于晨晨,汪佑佑,李文清,等. 青贮饲料技术研究进展与问题展望[J]. *饲料研究*, 2021, 44(12):145–148.
- [66] Hao Y Y, Huang S, Liu G K, *et al.* Effects of different parts on the chemical composition, silage fermentation profile, in vitro and in situ digestibility of paper mulberry [J]. *Animals*, 2021, 11(2):1–12.
- [67] Wang B, Luo H L. Effects of mulberry leaf silage on antioxidant and immunomodulatory activity and rumen bacterial community of lambs[J]. *BMC Microbiology*, 2021, 21(250):1–11.
- [68] 张颖超,尹守亮,王一炜,等. 木本饲料青贮研究进展[J]. *生物技术通报*, 2021, 37(9):48–57.
- [69] 赵力兴,王琳,温丽,等. 盐碱地紫花苜蓿的适应机制与栽培策略[J]. *草原与草坪*, 2022, 42(1):142–149.

Research progress of lactic acid bacteria on plant growth and silage protein degradation

XU Liu-xing, WANG Yu, LIU Ren-fei, QI Qi-wang, YU Zheng, GAO Yong-lei, JI Cheng-jia, WU Dan, ZHANG Xiao-long, LIU Li*, MENG Yuan-yan**

(College of Agronomy and Life Sciences, Zhaotong University, Zhaotong 657000, China)

Abstract: This article summarizes the current status and development trend of lactic acid bacteria on plant growth and silage protein degradation at home and abroad in recent years. The main content of the summary include the following three aspects: 1) Method and purpose of lactic acid bacteria extraction and screening; 2) Regulation of lactic acid bacteria on plant growth and disease; 3) Influence of lactic acid bacteria on the degradation of silage protein and the microbial community. Furthermore, the problems and deficiencies in the screening and utilization of lactic acid bacteria are also summarized. At the same time, the research trend and focus of lactic acid bacteria under the new situation are prospected to provide guidance and reference for the development of agriculture and animal husbandry.

Key words: lactic acid bacteria; plant growth; silage; protein degradation