

我科学家研发出菌酶协同发酵技术——

秸秆变饲料，草垛垛成“香饽饽”

◎ 实习记者 宗诗涵

截至今年5月底，在吉林省伊通满族自治县已有超过170家“科创小院”服务站结合伊通“文明经济”模式，成功引进菌酶协同发酵秸秆饲料化高效利用技术(以下简称菌酶协同发酵技术)，并将其应用在当地肉牛养殖中。该技术已覆盖当地17万头肉牛，不仅让饲料成本降低了10%左右，还极大提升了牛肉品质，使每头肉牛售价增加约1600元。

“过去，秸秆饲料化利用主要面临两大难题：一是动物适口性问题，即牛羊等食草动物是否愿意采食；二是消化率问题，即动物食用饲料后能否有效消化和吸收利用。”中国农业大学动物科技学院动物营养学国家重点实验室教授张日俊在接受记者采访时介绍，经过30余年的研究与应用，其团队成功研发菌酶协同发酵技术，使牛羊等动物更愿意食用饲料，有效地吸收其中的营养。曾经被丢弃或被焚烧的秸秆，如今变成了养殖户眼中的“香饽饽”。

饲用价值较高但利用难

农业农村部近日公布的数据显示，我国玉米、水稻、小麦、油菜、大豆、棉花等主要农作物的秸秆年产生量为8.65亿吨，可收集量7.31亿吨，综合利用率达88.1%。但其中饲料化利用率仅占20.7%。

“1吨秸秆所含的营养成分相当于0.25吨谷物类饲料。”中国农业大学动物科技学院副教授斯大勇说，如果把我国每年可收集但尚未利用的0.87亿吨秸秆高效转换为饲料，相当于节省2175万吨谷物类饲料。这将极大减轻玉米等谷物饲料的进口压力。

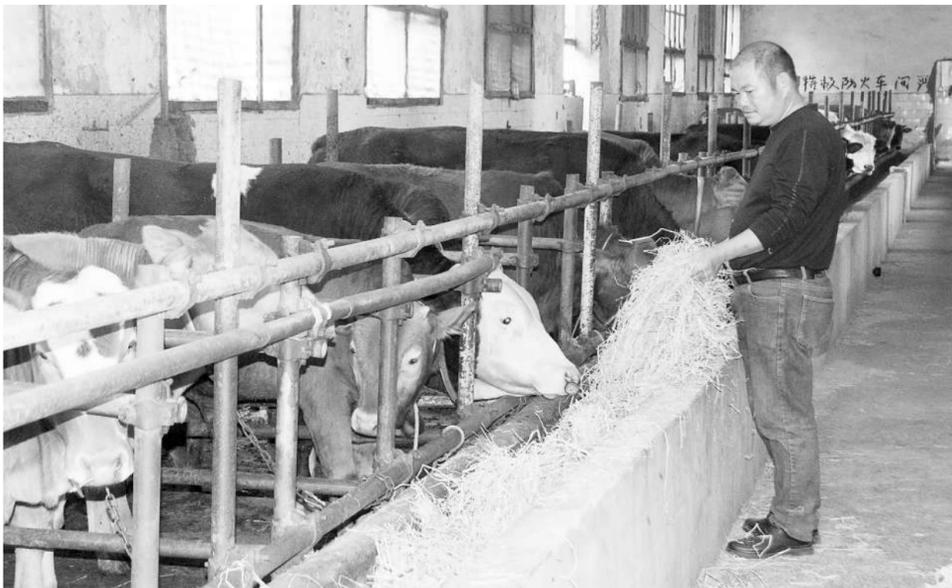
农作物秸秆是畜牧业的重要饲料来源之一，富含木质素、纤维素和半纤维素等成分。经过物理、化学和生物处理，秸秆能够有效弥补优质饲草供给的不足。

斯大勇介绍，使用秸秆等粗饲料不仅能降低养殖成本，还能维护牛羊的消化机能，促进胃肠道健康。但由于秸秆的粗纤维含量高，蛋白质和矿物质含量低，直接饲喂牛羊时适口性差且消化率低，限制了其广泛应用。

除直接饲喂外，目前我国秸秆饲料化处理方式还有青贮、黄贮、氨化和汽爆等。但斯大勇说，这些方式都存在种种局限，“比如青贮技术仅适用于收获籽实前的新鲜秸秆，不适用于干秸秆。黄贮技术虽能延长秸秆的保存期限，但这样处理的秸秆营养成分相对不足，一旦存放不当，还易受潮霉变，对畜牧动物的健康构成威胁。”

发酵制剂让饲料美味健康

针对已有技术的不足，张日俊团队运用现代生物技术、代谢控制发酵技术、酶工程应用技术及微生物营养理论，成功研发出一款新型菌酶协同发酵制剂。制剂针对反刍动物的生理特性进行设计，能够高效发酵玉米等农



村民用回收的秸秆喂牛。

新华社记者 柳玉敏摄

作物秸秆。

张日俊介绍，制剂的使用过程简便易行。首先，对秸秆进行揉丝或切短处理，以增加其比表面积，进而提高其后续发酵效率。随后，加入菌酶协同发酵制剂，对秸秆进行打包发酵。经过发酵处理的秸秆带有明显的酸香味，质地柔软，木质纤维素得到降解，还原糖含量显著提升。处理后的秸秆还富含大量活性有益微生物，可直接与其他饲料混合饲喂。

“传统上，青贮和黄贮技术主要依赖乳酸菌进行酸化储存，但不能保证发酵后的饲料既酸又香，让动物爱吃、消化得好。我们的技术恰恰解决了这一问题。”张日俊介绍，菌酶协同发酵技术能在多酶和多种有益微生物的共同作用下，将秸秆中的大分子粗蛋白、纤维素、半纤维素和木质素等分解为小分子，甚至部分转化为氨基酸和葡萄糖等，从而切断分子链，打破细胞壁，使细胞间质内营养成分迅速释放，被动物充分吸收。

此外，该技术利用特定微生物产生的蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶和纤维素分解酶等多种酶类，有效解决了单一微生物发酵产酶不足和饲料只酸不香的问题。同时，制剂中的有益菌群能将牛羊瘤胃中的氮素高效转化为优质微生物固体蛋白，既提高了氮素利用率，又有助于牛羊健康生长。

张日俊认为，菌酶协同发酵制剂的创新之处在于其不仅关注饲料贮存，更注重动物饲喂后的养殖效益，包括提高饲料转化率、增强动物抗病力、提升饲料产品品质等。此外，这种制剂使用过程简便，改善了饲料品质，降低了生产成本，对发酵饲料产业的健康、稳步、可持续发展具有积极意义。

技术已在多地有效推广

菌酶协同发酵制剂研发成功后，如何使其得到有效推广并真正惠及民生成为关键。中国农业大学饲料生物技术实验室科技成果转化中心副主任吴学会说，团队建立了“科创小院”服务站，推广菌酶协同发酵技术，使牛羊养殖户能够自主加工生物发酵饲料。目前，这一模式已在吉林省、安徽省、河北省、内蒙古自治区等多地得到有效推广。

改变传统养殖习惯是技术推广过程中的一大挑战。“市场上繁多的功能性饲料添加剂和传统的饲喂方式让养殖户面对新技术往往无所适从。”吴学会说，为了克服这一难题，他们在不改变养殖户饲喂习惯的前提下，为养殖户提供菌酶协同发酵制剂。养殖户只需简单操作，将制剂激活后喷淋在干草上供牛羊食用，或放入水中供牛羊饮用即可。

“在短短一个月内，养殖户就能看到牛羊皮毛光亮、膘情提高、蝇臭减少，以及精料成本降低。菌酶协同发酵技术得到广泛认可和有效推广。”吴学会说。

展望未来，吴学会认为，菌酶协同发酵技术的应用前景十分广阔。该技术不仅可用于农作物秸秆，还可在尾菜、甘蔗渣、菠萝皮、松针、柠条等多种粗饲料中使用。在伊通和东辽，团队基于长白山丰富的松树资源，利用菌酶协同发酵技术将松针转化为饲料喂肉牛，成功研发出高品质松针牛肉。在安徽省黟溪县，团队将制剂应用于当地的豆浆废水和豆渣资源，进一步推动了技术多元化应用与发展。

(本报记者马爱平对本文亦有贡献)

研究进展

鸭脂肪肝耐受之谜解开

科技日报讯(记者马爱平)6月10日，记者从中国农业大学获悉，该校生物学院教授黄银花团队成功绘制鸭脂肪肝动态病理学表型、染色质构象和基因表达图谱，解析了鸭减轻机体脂肪肝损伤的保护性分子机制。这一发现有望为人类非酒精性脂肪肝病治疗新方法的研究提供思路。相关论文日前在线发表于国际期刊《国际生物大分子杂志》。

对于人类而言，非酒精性脂肪肝病是一种普遍的慢性肝病。当前，人类非酒精性脂肪肝病的研究主要以小鼠为模型。然而，小鼠的脂肪肝模型具有建模困难、周期长等缺点。“我们发现鸭脂肪肝与人类非酒精性脂肪肝病在血脂代谢和肝脏脂肪变性等病理表型上高度相似。但鸭脂肪肝不出现明显炎症和纤维化，是非酒精性脂肪肝病研究的独特模型。”黄银花说。

为此，团队在鸭身上构建了一个没有脂肪炎症和肝纤维化的非酒精性脂肪肝模型。研究发现，鸭的独特染色质空间结构，不仅能精准调控核转录因子炎症相关信号通路和适应性免疫相关基因表达，从而有效降低脂肪肝诱导炎症发生，而且能精准调控细胞增殖相关基因表达，维持细胞的高水平更新能力，加速脂肪肝恢复。

“我们的研究揭示了鸭染色质重构可能有利于保持肝脏的再生能力并减少脂肪炎症，并从染色质空间构象调控基因表达的角度，阐明了鸭对脂肪肝诱导损伤的保护调控机制。这为人类非酒精性脂肪肝病治疗方法的研究提供了新视角。”黄银花说。



养殖企业工人在查看雏鸡的生长情况。新华社记者 杨尧尧摄

鹰嘴豆属超级泛基因组构建

科技日报讯(记者罗云鹏)6月10日记者获悉，华大生命科学研究院联合国际干旱旱热带作物研究中心、西澳大学、莫道克大学等单位，成功组装了8个一年生鹰嘴豆属野生种基因组，并结合已发表的2个鹰嘴豆基因组，构建出鹰嘴豆属超级泛基因组，为鹰嘴豆育种提供了重要数据资源和研究方向。相关研究成果日前发表在《自然·遗传学》上。

鹰嘴豆是世界第三大豆类作物，被50多个国家种植和食用。但鹰嘴豆的遗传背景相对狭窄，抵抗生物或非生物胁迫能力不足，限制了其育种改良。

研究构建的鹰嘴豆属超级泛基因组由24827个基因家族组成。其中，14748个基因家族为核心基因，它们存在于鹰嘴豆属所有物种中，主要参与生长、DNA修复、细胞通信等基本生物功能。6212个基因家族为可变基因，它们存在于鹰嘴豆属的2个至8个物种中，主要参与防御响应、生长素响应、生物刺激响应等生物功能。

此外，研究团队还鉴定出鹰嘴豆属内存在的2944万个单核苷酸多态性、633万个小插入缺失和491937个结构变异，并通过将鉴定出的结构变异整合到参考基因组中，挖掘出477个鹰嘴豆属个体中的变异多样性。结果发现，这些变异在开花时间和抗病性等重要性状中可能扮演重要角色。其中，678个结构变异与200个和开花相关的基因重叠，1667个结构变异与556个抗病基因重叠。

论文第一作者、国际干旱旱热带作物研究中心高级科学家阿米尔·汗认为：“研究将野生近缘种这一非常重要的资源纳入，可在更广泛的基因多样性基础上挖掘农艺性状相关重要基因，有望推动鹰嘴豆品种的遗传育种改良。”

细菌抗压“秘籍”揭示

科技日报讯(记者马爱平)6月10日，记者从农业农村部成都沼气科学研究所获悉，该所研究员何明雄团队以原核生物运动发酵单胞菌为研究对象，阐明了该细菌如何通过调整其三维基因组结构来应对环境胁迫压力的分子机制。相关研究成果发表在国际期刊《核酸研究》上。

运动发酵单胞菌凭借其独特的生物学特性，不仅可以作为一种新的合成生物学底盘生物，用于秸秆等生物质资源高效及高值转化，还在食品、健康及医药等领域展示出广阔应用前景。然而，秸秆等生物质资源在转化过程中面临一系列环境胁迫压力，如乙酸、吡喃甲酰胺、低pH、高盐等都可能对其生物质转化效率大幅下降。

何明雄介绍，研究团队前期通过基因组重组等技术，选育具有抗逆特性的运动发酵单胞菌细胞工厂，大幅提升其生物质转化效率。同时，研究团队发现，人们对原核生物基因组突变与染色体结构之间的关系知之甚少。为此，研究人员利用染色体构象捕获技术，研究了基因组突变和环境胁迫对运动发酵单胞菌三维染色体构象的影响。

研究发现，基因组突变仅影响运动发酵单胞菌局部染色体互作，而乙酸和吡喃甲酰胺的胁迫则限制了其长距离染色体互作，并显著改变了其结构域水平上的染色体互作。在进一步解析后，研究人员发现，铁吸收能够调节蛋白家族参与协调染色体的三维动态，并调节抗逆基因表达，帮助细菌应对环境胁迫。

“研究从新的角度阐释了‘结构决定功能’这一核心分子生物学问题，揭示了细菌如何形成对抗环境压力表型特征的分子机制。这不仅为认识原核生物基因组结构与功能的关系提供新的科学依据，也为从三维基因组层面进行工程菌株的理性设计奠定了基础。”何明雄说。

植物再生的“指挥官”找到了

◎ 本报记者 王延斌 通讯员 翟荣惠

近日，山东农业大学教授李传友团队研究发现，因细胞受伤而产生的再生因子REF1，是引发组织修复和器官再生的原初受伤信号分子；它在植物再生中发挥了巨大作用。相关研究成果在线发表于国际学术期刊《细胞》。

中国科学院院士许智宏说，植物如何识别损伤刺激并启动组织修复和器官再生过程，是植物生命科学领域长期悬而未决的问题。植物再生因子REF1的发现，为解决这一问题提供了重要线索。

中国科学院院士种康评价，该研究对细胞分化与再生领域的基础科学研究和生物技术应用具有突破性意义。植物再生因

子REF1的发现和利用，为我国用好基因编辑技术，打赢种业翻身仗、加快国家生物育种产业化步伐提供了重要支撑。

发现再生因子REF1

“在大自然中，植物经常会被挤压、被虫咬，或者遭受病毒危害。科学家将这些统称为机械性损伤。受伤后，植物不但能快速激活防御反应以抵御伤害或防止感染，还能进行组织修复以及器官乃至整个生命体的再生。”李传友介绍。

20世纪70年代，美国华盛顿州立大学教授克萊伦斯·雷恩在模式植物番茄中发现了植物对机械性损伤的系统性防御现象，并发现小肽信号系统和植物激素茉莉酸通过共同的信号通路来调控植物

的系统性防御反应。在接下来的几十年，科学家对植物的系统性防御信号转导过程进行了深入研究。相比之下，人们对植物受伤后如何启动组织修复和器官再生知之甚少。

李传友告诉记者，细胞损伤是触发生命体(无论植物还是动物)启动再生程序的原初物理诱因。因此，一定存在一种由细胞损伤诱导的信号分子，在再生过程中发挥重要作用。但对这种信号分子的化学本质，人们却无从知晓。

李传友团队长期以番茄为模式植物，用遗传学手段解析植物的受伤反应。他们创造性地提出，植物的受伤反应实际上包括防御和再生两个密不可分而又相互作用的生理过程。基于这一全新理念，他们从分析实验室积累的防御缺陷突变体入手，鉴定到一个在防御和再生方面同时表现缺陷的番茄突变体spr9。基因克隆结果表明，基因SPR9编码小肽SIPep的前体蛋白，敲除SPR9会使番茄丧失愈伤组织形成能力和器官再生能力，过量表达SPR9则可显著提高番茄的再生能力。此外，外源施加SPR9编码的小肽SIPep可以显著提高番茄的再生能力。因此，团队将这种充当植物再生“指挥官”的小肽重新命名为再生因子REF1。

团队研究证实，受体激酶PORK1是REF1的受体。当植物发生细胞损伤时，REF1作为原初受伤信号分子被受体激酶PORK1识别，并转录激活下游细胞重编程关键调控因子SIWIND1，进而启动植物的组织修复和器官再生进程。与此同时，SIWIND1结合到REF1前体基因的启动子区激活其表达，从而产生更多再生因子REF1，放大REF1信号。

“这些结果表明，REF1以类似模式动物中细胞因子的作用方式，调控植物的再

生过程。”李传友说。

为植物育种提供新思路

植物的再生能力千差万别，并且因基因型不同而有显著差异，这严重制约着基因编辑等突破性技术在生物育种中的应用潜力。如何通过一种简单直接的方法提高植物的再生能力，一直是现代生物育种领域面临的重大课题。

据了解，目前国际上大多采用共表达发育调控基因的策略来提高植物再生能力，但这种方法对提升作物遗传转化效率作用有限。李传友团队发现的再生因子REF1，不仅能成功克服上述局限，而且使用起来便捷高效。发现外源施加REF1可以显著提高难以进行遗传转化的番茄品种再生能力及转化效率后，团队继续在更多植物上试验，并同时给多个研究团队提供相应物种的再生因子REF1，开展更广泛的物种试验。

REF1本质上是一种小肽，即一种小的蛋白。其可以人工合成、外源施加，大幅提升转化效率，而且不存在基因型依赖性。李传友表示，再生因子REF1在小麦、玉米、大豆、土豆、向日葵以及果树等多种植物中，都表现出极强的“战斗力”。大豆、小麦和玉米等是公认的难转化作物，外源施用再生因子REF1后，其遗传转化能力提高了6—9倍，遗传转化效率提高4—5倍。

“原来我处理100个叶片，能长出20个新植株就不错了。但是添加上这种小肽以后，我再做100个叶片，它可以再生出八九十个新植株。”团队成员、中国科学院遗传与发育生物学研究所博士研究生杨文韬举例解释。

目前，团队已将再生因子REF1及其使用方法成功申请国际专利。



外源施加SPR9编码的小肽SIPep可以显著提高番茄的再生能力，团队将小肽重新命名为再生因子REF1。视觉中国供图