新“绿色革命”或将到来:

中国学者找到农作物高产少肥途径

8月16日凌晨,中国科学院遗传发育所研究员、分子农业生物学中心主任傅向东作为通讯作者的一篇历时6年产出的新成果在线发表在顶级学术期刊《自然》(Nature)。该成果或预示着新“绿色革命”的到来:农作物可以做到高产、低肥。

上世纪60年代,以降低农作物株高、半矮化育种为特征的第一次“绿色革命”,使得全世界水稻和小麦产量翻了一番,解决了温饱问题。

半个多世纪之后,被打上“绿色革命”烙印的水稻、小麦让农学领域的专家开始为另一项新的问题困扰。“半矮化农作物株高变矮了使得它对化肥不敏感,带来的后果就是对氮肥的利用效率也下降了,使得现在我们的农民大量施肥,但并没有获得他们真正想要的产量,同时又导致了环境问题。”傅向东在接受澎湃新闻记者(www.thepaper.cn)采访时如此表述。

傅向东带领的团队长期研究如何获得高产而少肥的农作物。傅向东称,“这是育种专家的一个共同目标,但长期以来一直没有解决。”此次发表的成果,将农业领域并不陌生的转录因子GRF4 (GROWTH-REGULATING FACTOR 4)一项此前未被发现的功能展现出来,让上述目标进一步接近实现的可能。

“原来大家并不清楚为什么‘绿色革命’品种氮肥利用效率会下降,所以我们的研究就是针对这个问题展开。GRF4让我们找到了一个新的策略,就是既维持农作物的高度不变,让它抗倒伏,同时提高氮肥的利用效率,实现了少投入、多产出的目标。”傅向东表示。

在《自然》同时发表的一篇评论文章中,来自日本名古屋大学生物科学和生物技术中心的两名同行业专家Fanmiao Wang和Makoto Matsuoka点评傅向东等人的成果,“一场新绿色革命即将到来。”他们认为,这项研究将激励其他研究人员发现更多其他和氮利用相关的基因和分子。

傅向东本人表示,“这项工作既保持了绿色革命品种的半矮化优点,同时又提高了氮肥利用效率,我们应该是站在了巨人的肩膀上再往前走了一步。这也符合目前国内少投入、多产出、保护环境的育种理念,我个人觉得对主要农作物育种影响还是蛮大的。”

“绿色革命”的功与过

20世纪60年代前后,化肥开始在农业领域广泛使用。肥料的使用促进了农作物生长发育,长势喜人的农作物理论上这会使得产量更高。

但同时产生了一个弊端。株高越高、穗子越大的农作物负担更重,尤其在暴风骤雨的恶劣环境中极易倒伏。也就是说,化肥使用之后产生了农作物倒伏的问题,出现倒伏产量自然也减少了。

“这样就催生了农作物半矮化育种,农作物重心下降之后就抗倒了。这就使得全世界水稻和小麦的产量翻了一番,也就是所谓的第一次‘绿色革命’。”傅向东称。

傅向东提到,“现在所有的水稻和小麦品种都带有‘绿色革命’基因。”解决抗倒伏、耐肥的同时,另一个问题在上世纪90年代被逐渐意识到。

“上世纪60年代到90年代,随着化肥使用量的增加,产量是增加的。但到了上世纪90年代之后出现了一个拐点,化肥使用量一直在上升,但产量并没有提高”傅向东表示,农民都希望施更大量的肥从而获得更高的产量,但事与愿违。

也就是从那时候开始,现有主要农作物对氮肥利用效率低成为一个长期待解的迷。目前,中国水稻氮肥利用率平均只有35%。

与此同时,氮肥大量使用带来的环境问题与日俱增。“国内肥料的使用量是全世界平均的3倍,这个压力是很大的,所有尤其在中国,提高氮肥利用效率是非常重要的。”

目前,中国水稻种植面积占世界水稻种植面积的20%,但中国水稻氮肥用量却占全球水稻氮肥总用量的37%。持续大量的氮肥投入,不仅浪费了资源和能源,而且加剧了土壤酸化、水体富营养化和农业温室气体排放等一系列生态环境污染问题。

“为了增加一点点的产量,需要多施很多的肥。50年后,我们碰到了新的困扰。”傅向东表示。

问题的关键:GRF4

这项研究始于6年前,傅向东课题组着手寻找氮利用效率低下的原因。

以水稻为例,研究团队比较了大量带有“绿色革命”基因(SD1,等位基因突变会造成半矮化)的品种,研究它们对氮肥的吸收、同化(植物体内无机态氮转化为有机态氮的过程)的差异性。

“我们就发现,有些品种对氮的吸收能力高一些、有些品种吸收能力低一些,但是它们都是带有‘绿色革命’基因的,这些都是育种家在用的。”傅向东表示。

在论文中,研究团队选取了36个籼稻品种。充足的氮肥条件下水培4周测各品种对氮的吸收,同样在高肥条件下土壤种植各品种来采集产量数据。结果显示,36个品种对氮的吸收效率存在最大为3倍的差异。

同时研究团队发现一个有意思的现象,即所有现在的高产品种,它们对氮的吸收能力都不是最高的。“我们当时看到这个结果还是很高兴的,这就意味着现在的所有品种还有改良空间。”

研究团队用上述品种构建了一个遗传群体,去了解到底哪个基因能决定氮肥吸收能力增强。最终,研究团队通过QTL定位、图位克隆等技术找到了氮肥高效利用的关键基因,即GRF4。

实际上,科学家对GRF4并不陌生。此前的研究表明,GRF4可以调节穗子大小、生长分子细胞分裂素的水平,这些都和产量相关。也有研究认为,GRF4可能参与了赤霉素(一种植物激素)信号传递途径,对植物生长发育起重要调控作用。不过,具体分子机制并不是很清楚。

找到关键基因之后,研究团队在“绿色革命”品种的基础上改造水稻,上调GRF4的表达。结果显示,和对照组“绿色革命”品种相比,上调GRF4表达的水稻对氮吸收能力增强。

GRF4和“盟友”在半矮化水稻中被挑拨

研究团队接下来的问题就是GRF4决定氮吸收效率的机制是什么?

论文提出了GRF4和水稻中DELLA蛋白家族成员SLR1之间的相互作用关系。

何为DELLA蛋白?这将回溯到“绿色革命”的机制。“在我读博士和博士后期间(2000年前后),包括我导师在内的很多课题组都在追寻‘绿色革命’品种的机理是什么,哪些基因在如何相应地调控植物生长。”傅向东表示。

经过很长时间发现,“绿色革命”的根本是DELLA蛋白的积累量增加了,而DELLA蛋白会抑制植物株高生长,植物自然就变得半矮化。

具体到水稻中,即表现为SD1等位基因的突变,在小麦中则是Rht等位基因的突变。正常情况下,赤霉素会通过破坏DELLA蛋白来促进农作物生长。然而,在上述基因突变的情况下,农作物的赤霉素活性被降低。

在傅向东等人的这项最新成果中发现,GRF4能结合到参与氮吸收代谢的基因的启动子上,通过激活这些下游的基因来增加氮的吸收和代谢。同时,GRF4需要另一个关键“盟友”GIF1的助推。

而水稻中DELLA蛋白家族成员SLR1刚好具有一种类似“挑拨盟友”的作用,抑制GRF4和GIF1之间的作用,从而抑制了GRF4的转录激活活力,最终抑制了氮的吸收代谢。

此外,正因为GRF4和DELLA蛋白家族之间存在相互作用,研究团队证实,GRF4也是赤霉素信号传递途径的一个关键元件。赤霉素通过促进DELLA蛋白降解,进而增强GRF4转录激活活性,实现植物叶片光合碳固定能力和根系氮吸收能力的协同调控,从而维持植物碳-氮代谢平衡。

研究最终证实,GRF4是一个植物碳-氮代谢的正调控因子,可以促进氮素吸收、同化和转运途径,以及光合作用、糖类物质代谢和转运等,进而促进植物生长发育。

傅向东等人认为,GRF4新功能的发现不仅丰富了对于赤霉素信号传导分子机制的认识,而且从分子水平阐明了“绿色革命”矮杆育种伴随氮肥利用效率低下的原因,并提出了明确的解决方案。

新“绿色革命”或将到来

值得注意的是,这不是傅向东团队首次找到提高氮使用效率的秘诀。

2014年,研究团队曾找到另一个关键基因DEP1同样能提高氮的使用效率。“这两个发现的分子机制是不一样的,这次是赤霉素信号途径,当时是G蛋白信号途径。这两个机制之间不会互相拮抗(阻抑作用),所以组合在一起会有好上加好的效果。”

傅向东认为,把上述两个基因组合起来用在水稻中,将来的应用前景可能更大一些。

而前述提到的Fanmiao Wang和Makoto Matsuoka在点评傅向东等人的成果时则表示,这项研究将激励其他研究人员发现更多其他和氮利用相关的基因和分子。

当氮利用效率提高途径的选择项越来越多的时候,一场新的“绿色革命”将到来。Fanmiao Wang等人如此表述。

傅向东谈及其长期以来的研究工作,“我们实验室的理念是,减少肥料的使用量有很多种办法,但是一定是在保证产量不减的前提下减少施肥量,因为这样才能真正被育种家和农民接受的。”

而这项最新的成果或是一项接受度很高的育种选项。“第一,它对氮的吸收利用效率更高了;第二,它能增加产量;第三,它能使植物茎秆变粗更加耐倒伏。这三个性状对农业生产是非常有利的。”傅向东表示。

如何评价这项耗时6年的工作?傅向东感慨,第一次“绿色革命”解决了产量的问题,但留下了氮肥利用效率的问题。现在我们这个工作既保持了“绿色革命”品种的半矮化优点,同时又提高了氮肥利用效率。“应该是站在了巨人的肩膀上再往前走了一步,也符合目前国内少投入、多产出、保护环境的育种理念,我个人觉得对主要农作物育种影响还是蛮大的。”

不过,傅向东强调,这仅仅是理论上的突破。“告诉了我们有这样的应用前景,真正的应用前景还是要靠育种家一线的实践才能证明。”其团队目前已经在和育种专家合作去开展相关工作,“我们希望找出更多的优异等位基因来供育种家选则,虽然每个育种家有他自己的理念,但我们希望能提供给他们一些好的材料。”

(澎湃新闻)