

旱地农业：从被动抗旱到主动避旱

■本报记者 李晨

寒冬腊月，山西省晋中市寿阳县常村的农户们还在忙着修剪果树枝条。过去，这里主要种植玉米，冬季是农闲时节。

常村村民侯志强说，如今，4600多亩旱地种上了玉露香梨。2019年，玉露香梨销售收入700万元，仅此一项，就让全村人均收入超过1万元。

为旱地农业挑选适宜种植的农作物，正是中国农业科学院(以下简称中国科学院)旱作农业创新团队的成果之一。

在近日举行的旱地农业创新发展报告会上，中国农业科学院研究员、旱地农业学科首席科学家梅旭荣说，旱地农业是我国农业的重要生产方式。随着我国在西北、华北和东北等干旱缺水地区示范推广旱地节水农业技术，旱地农业从被动抗旱逐步走向主动避旱。

长期定位试验，摸清旱地“底细”

我国北方旱地农业区生产了全国58%的粮食(包含灌溉)和75%以上的牛羊肉，也覆盖了70%以上的生态脆弱区，加强科技创新推动旱地农业发展对保障国家粮食安全、生态安全的意义重大。

“完全依靠自然降水进行生产的农业，叫做旱作农业。和它相对的概念是灌溉农业。所以，旱作农业包括不进行灌溉的农业生产。这其中，在降水量不敷出的干旱、半干旱地区则叫做旱地农业。也就是在干旱、半干旱的耕地上进行的旱作农业。”梅旭荣解释道。

我国是世界上严重干旱缺水的国家之一，旱地农业主要分布在秦岭、淮河及昆仑山以北的广大北方地区，涉及16个省(自治区、直辖市)，国土面积和耕地面积均超过全国的一半，其中超过65%的耕地没有灌溉条件。

“如果建立一种能适应干旱变化的种植制度，并匹配相应的抗旱节水栽培技术，可以保证作物不受天气变化的影响而减产。”梅旭荣告诉《中国科学报》，这是旱地作物如何实现节水种植的关键。

“要做好旱地农业，首先了解它，摸清规律。”梅旭荣说，“我们做的工作，一是查明了北方旱地自然降水利用的状况，二是查明了主要农作物生产潜力的开发程度。”

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所研究员龚道枝介绍，该团队长期扎根黄土高原东部寿阳县旱作农业试验站，定位观测研究北方旱地农田降水转化动力学过程与高效调控途径。

自2001年以来，该团队联合国内多家优势单位协同攻关，开展了北方旱



寿阳地膜覆盖春玉米。

原海春摄

地农业多点长期定位试验，摸清了主要旱地作物干旱发生规律和适种种植优先序，阐明了旱地碳氮高效转化机制，攻克了土壤增碳扩容、地表覆盖抑蒸、水肥协同提效等调控途径，从而破解了旱地作物适水种植的科学难题。

团队骨干孙东宝副研究员告诉《中国科学报》，研究发现，北方旱地主要作物种植西扩北移1~2个经纬度，受作物种植、生育期变化与降水减少、干旱频发重发多因素相互作用，作物降水满足率降低超过5个百分点。旱地地表覆盖、秸秆还田、深松耕等技术提高水分利用效率程度与降水密切相关，提升效应最优的降水区间为年降水量450~550毫米的旱农区。

据此，他们明确了玉米、小麦、谷子、花生、大豆、马铃薯等作物在不同旱地类型区的适种种植优先序，也为科学布局种植结构并匹配适宜的节水栽培技术提供了科学依据。

五大模式提升旱地降水利用率

常村村民有了旱地农业的适水作物玉露香梨，从此过上小康生活。

选育抗旱作物无疑是旱地农业技术创新的基本工作之一，梅旭荣介绍，仅中国科学院，就选育了70多个抗旱丰产作物品种。

除了品种，田间管理技术同样重要。龚道枝介绍，针对北方旱地农业的共性问题，研发团队创新了集雨覆盖抗旱、秸秆还田、适水间作等关键技术，研制了种子包衣剂、土壤结构调理剂和全生物降解地膜、智慧灌溉施肥系统、垄膜

沟植播机等产品和装备。这些技术已经在不同的旱地农业典型区域进行了推广应用。

与传统种植方式不同，寿阳县景尚乡张韩村的种植大户郭三平种植玉米采用了多种旱地农业技术。比如宽覆膜，这是一种保水增密的种植技术，使用1.6米宽的地膜，可以覆盖4行，而普通地膜通常只覆盖2行。宽覆膜使用降解膜，收获时地膜基本降解。宽覆膜还利于增加种植密度，每亩可多种1000株左右，产量提高100~200公斤。

寿阳模式是该团队打造的典型模式之一。不同的模式具有不同的旱地农业技术体系，适应不同环境的旱地种植。孙东宝介绍，我国已发展出五种旱地农业区域发展典型模式。

以山西寿阳模式为代表，针对华北山地丘陵地区种植结构单一、种养分离、生产效益低等问题，提出了旱作农田玉米秸秆还田还田深施肥技术模式，解决了秸秆降解与玉米出苗生长竞争水争肥的难题，可实现玉米增产10%~25%。

以辽宁阜新模式为代表，针对东北风沙半干旱区热量不足、水资源匮乏、耕地质量退化等问题，构建了地上—地表—地下立体调控技术系统，可使农田水分利用效率提高14%~19%，有效抵御了旱灾发生。

以河北衡水模式为代表，针对华北地区水资源短缺、地下水严重超采等问题，通过旱地农业技术高效利用田间自然降水的前提下进行需水关键期的补充灌溉，提出将冬小麦正常生产的三水灌溉减为二水灌溉，从而达

到小麦水分生产力最大化。

以甘肃镇原模式为代表，针对西北旱塬半干旱区水土流失严重、降水利用难度大等问题创新的覆盖节水种植技术，可让玉米增产20%~30%、冬小麦增产40%。

以内蒙古武川模式为代表，针对内蒙古旱作区干旱少雨水资源短缺、农田风蚀沙化严重、土壤保水性差等突出问题，形成了半干旱旱区生物篱柔性防风、带状留茬间作和田间微集雨等三个技术体系，提高降水利用率8个百分点以上，减少水土流失30%以上。

向深度节水、极限节水进发

“十三五”期间，随着旱地农业科技的发展，我国北方抗旱节水小麦品种覆盖率提高到40%以上，旱地试验示范田降水利用率系数提高到0.70以上，吨粮耗水从844立方米下降到813立方米。

梅旭荣强调，旱地农业没有灌溉水源，尽可能地提高对自然降水的利用率是关键技术之一。

2000年，我国北方旱地农业的自然降水利用率为56%。2020年这一数据提升到65%，相当于节约了近500亿立方米水。而在旱地农业技术的典型示范区，这一数据甚至可以达到70%以上，远超过全球平均利用率的50%要高得多。

以中国科学院院士王浩、康绍忠为组长，中国农学会组织的评价小组认为，该团队成果系统阐明了旱地农业土壤、地表和冠层协同调控机理与途径；构建了主要类型区抗旱适水种植主导技术；降水利用率和水分利用效率等技术指标国际领先。

未来，旱地农业还亟须从深度节水和极限节水等方向开展科技攻关。梅旭荣举例说，我国小麦平均耗水量是900~1000立方米，但极限节水的情况下可以降低到吨粮耗水400~500立方米。

同样，生产潜力也有可挖掘的空间。梅旭荣指出，当前，我国抗旱作物的单产潜力开发程度是45%，而可行的合理开发程度是65%，这中间尚有20个百分点的差距，每提升一个百分点，都需要科研人员付出巨大的努力。

“从整体上看，我们对旱地农业的重视程度仍需加强。”梅旭荣表示，要在粮食生产优势区提高单产、稳定总产能的同时，腾出空间发展旱农地区的生物多样性，保护旱农区的生态环境，这是未来整个旱地农业需要重点关注的技术区域性难题。

绿色视野

“今年，果庄镇油桃大棚里的大球盖菇可长脸了，早的从10月份就开始出菇，收购价一斤12元。蘑菇的收成竟然比油桃还高，好的一亩能卖到四五万元了。”近日，山东省日照市莒县农业农村局蔬菜站站长一大早就在微信里向山东农业大学植保学院教授姜淑霞报喜。

莒县近几年一直推广设施果树下的大球盖菇种植，姜淑霞费了不少工夫和心血，对这样的“喜讯”满是欣慰。在她和一批专家的努力下，大球盖菇这些年风生水起，香飘四季。

林下种植火起来

许多人的印象中，野生蘑菇长在树上，人工种植的蘑菇长在温室里，很少能见到大树下种植蘑菇的，还是“腿粗盖儿肥”泛着红褐色光泽的大蘑菇。

大球盖菇，俗名赤松茸，食味清香，食用和药用价值都很高，是联合国粮农组织向发展中国家推荐栽培的特色品种。“产量高，技术相对简单，在林下仿野生种植，色泽、口感、营养等指标都好，很受市场欢迎，值得推广。”姜淑霞表示。

山东省济宁市任城区李营苗木合作社有20多万亩林地，种植着法桐、榆树、樱桃等树种。合作社一直琢磨如何利用林下空地，种过中草药，养过鸡和鸭，听说姜淑霞在推广大球盖菇，就邀约上门指导。

2014年国庆假期，姜淑霞带着学生来到合作社，从打扫卫生开始建菌种室。“营造无菌环境，我们建立了当地第一个接种室和制种车间。随后，合作社不但从林下空地获得可观的收入，还注册成立了‘天元林下食用菌研究院’，面向全国出售大球盖菇的菌种。”姜淑霞告诉《中国科学报》。

2015年，泰安市马庄镇的蚕桑基地也尝试种植大球盖菇。因为离校较近，姜淑霞经常过去指导。这里的蘑菇因为用桑枝做底料，营养丰富，蘑菇长势好，一亩林地一季的收入能到两三位数。

学生在跟着姜淑霞四处指导生产的过程中，也看到了这个产业的巨大潜力。研究生聂阳带着两个师弟刘书程和张金，注册成立三生万物生物科技有限公司，在德州市夏津县黄河故道的万亩杨树林下种植大球盖菇，同时制作菌种、指导农户，将项目推广到全国多个省市。

这些年，姜淑霞团队极大推动了大球盖菇在全国普及。山东省十几个地市都有栽培，百亩以上的基地有十几处，总面积达到近2万亩。

“粗”技术里的硬科技

大球盖菇种在林地里，但发芽生长的动力并不是土壤，而是培养料。将栽培基质堆积发酵，铺到栽培床上，播种后再上一层覆土和覆盖物，发菌催菇后，大蘑菇就会蓬勃生长起来。栽培的基质，可以是玉米、棉花的秸秆以及苹果、桑树等果树的枝条，也可以是阔叶树碎木屑、玉米芯、稻壳等，经过适当打碎处理，再加上营养土等配料。

近年来，姜淑霞团队为北方地区多种常见、量大的农林产业下脚料做了60

多个配方，筛选出十几种高产的基质配方，让不同栽培区的种植户就地取材，降低栽培成本。

种什么品种好，姜淑霞在选育过程中也下足了工夫。她把从全国搜集来的菌株，按批次种在学校站园的三个大棚里，在春暖棚、冬暖棚和林地反复试验，三组数据都指向某个品种好，就一季反复种，一层层高温锻炼，终于选育出适合不同温度的10多个优良菌种进行推广，并培育出大球盖菇新品种“山农球盖3号”。该品种不但高产，播种至出菇期也从65天缩短到45天。

桑树枝条中的野尻霉素具有药用价值是业内常识，但是如何将桑枝基质中的野尻霉素富集到大球盖菇上却是一大难题。经过三年的摸索，姜淑霞已经找到简便的办法，并申请了国家发明专利。

看似简易、粗放的种植技术，很多人刚开始种蘑菇时依然会遇到各种各样的问题。泰安的种植户在底料发酵的过程中，翻堆不及时，里外温度不均，里面热得发臭了，表皮儿的温度却一直上不去。济宁的种植户在播种后，因覆土技术不到位，蘑菇长时间只见菌丝不见长个头。如果在电话和微信里讲不清楚，姜淑霞还东奔西走到各个种植基地去现场指导。

“致富菇”和“生态菇”

从2015年起，姜淑霞参加山东省科技厅的“科技扶贫专家服务团基层行”活动，足迹遍布省内多个县市，主讲大球盖菇的种植。

如今，大家都把大球盖菇叫作“扶贫蘑菇”。一亩林地空闲处可以产约3500公斤大球盖菇，除去菌种和基质的成本，能收入七八千元。

这两年，姜淑霞又开发出冬季种大球盖菇的“好场地”。“林地气温低，深冬时节不适合种。但我国北方地区有不少果树大棚，像油桃、葡萄、猕猴桃等，这些设施果树都是为了春天赶早结果，冬季闲置着，正好可以种一季大球盖菇。”

日照莒县就是个极好的示范。该县果庄镇的油桃大棚、招贤镇和浮来山街道的葡萄大棚、闫庄镇的猕猴桃大棚，都在冬闲时节尝试种植大球盖菇。果庄镇去年冬天有200亩油桃大棚里种了大球盖菇，并且计划下个冬季要推广超过500亩。

“林下种蘑菇实现了物质、气体和空间的三个循环。秸秆、林木枝条等废弃物作为蘑菇生长基质，菌渣成为土壤优质有机肥，土壤肥力增强，庄稼长得好，树也粗壮，形成物质循环和空间循环；树木吸收二氧化碳释放氧气，蘑菇正好相反，这是气体循环。我们推广大球盖菇，让百姓见到经济效益，更让地方政府看到生态效益。”姜淑霞说。

大话农科

以创新理念授农人以“渔”

■本报记者 李晨 通讯员 王一凡

“朱老师，今年我家麦田冻害比较严重，可以通过追施肥料来提高苗情长势吗？”近日，江苏省泰州市泰兴古溪镇的种植大户万炳韬通过网络向扬州大学农学院教授朱新开求助。

在小麦种植过程中，朱新开经常会为农户答疑解惑。近年来，朱新开带领团队在多年科研和实践推广基础上，集成了一套稻茬小麦“三调三控”绿色高效栽培技术体系。

2021年初，这套技术体系荣获三年一度的江苏省农业技术推广一等奖。据介绍，该项目多年多点培育了306个示范典型，打造多元化农业技术推广模式，累计推广示范4328万亩，占全省稻茬小麦种植面积53.43%，产生经济效益34.5亿元。

针对“三多”现象推行“三调三控”

万炳韬的麦田在寒潮前几天进行了化除，结果整片地块叶片全部枯黄，焦急万分的他希望通过施肥助苗作为补救。了解到情况后，朱新开立即劝阻了他盲目追肥的行为，并给他发去了因苗分类精准施肥的决策方案。

朱新开介绍，很多农户会因苗情长势弱等原因盲目施肥、施药，非但不能提高产量和品质，还会增加成本。

他带领团队调研发现，受气候、前茬作物、农民习惯等影响，江苏大部分地区小麦种植过程中普遍存在像万炳韬一样的“三多”现象：苗多(播种量大带来的基本苗多)、肥多(施肥量大且次数多)和药多(用药过量、次数多)。

“如果把农作物栽培拟人化描述了，农药化肥就如同补品、鱼肉，滋补多了，同样不利于健康成长。”在朱新开看来，营养均衡、调控得当才能保证农作物的增产优质。而肥多、药多既增加了生产成本，不适应现阶段规模经营主体的生产需求，也时常出现产量不



朱新开为农民开设田间课堂。
扬州大学供图

高不稳、品质不匀的现象。

为解决这一实际问题，朱新开团队经过多年科研实践创新提出了一套稻茬小麦生产新理论，通过调播种时期、调耕播作业程序、调秸秆还田方式以及控种、控肥、控药的“三调三控”方式实现小麦的绿色高效生产，帮助农民减负增收。

据了解，该技术可帮助农民每亩平均节种0.78公斤，节肥1.6公斤，节药1.4元，增效126.96元，社会、经济、生态效益显著。2014年至今多次被列为江苏省农业主推技术。

增强农人自我“造血”能力

实用技术如何走完通向农民的“最后一公里”？朱新开和团队通过打造高产典型、开展技术示范，以点带面，把新技术新理念传递给更多农民。

几年前，江苏省盐城市阜宁县芦蒲镇其友家庭农场主姚其友承包了近400亩农田进行稻麦种植，但由于种植方式不科学，经济效益一直不明显。“一年到头忙下来赚不到几个钱。”姚其友感叹道。

2017年，朱新开带领团队在深入调研后，决定在此实施小麦“三调三

控”相关技术示范，将该地打造成农业绿色高效示范点。

在朱新开的指导下，自2018年起，其友家庭农场平均小麦亩产比邻近农户高100至150斤，收入也增加了许多，已经成为当地的“龙头”科技型家庭农场。

“从去年开始，周边农户主动向我学习，我什么时候播种、种多少种子、施多少肥，他们都会跟着学。”几年下来，姚其友已经从一名“技术学习者”蜕变为“示范推广者”。

“我们不仅希望自己的新技术新理念得到推广，也希望激发农民的内在潜力，提高农业从业者的综合素质。”团队骨干之一、扬州大学农学院副教授丁锦峰说。

为此，除了典型打造、高产示范之外，目前团队已经在各地成立了20多个驻村“科技扶贫工作站”和“专家指导站”，定点开展科技推广工作。通过线上线下贯通的方式开展农业技术培训。

据统计，该团队先后培育和服务中心合作组织、种养大户2000多个，每年举办近千场各类讲课培训，受众5000人次以上。这既有助于知识直接落地，也造就了一批结构合理、专业齐全的技术骨干队伍，增强了农业生产

自我“造血”功能和农村发展后劲。

因地制宜探索多元推广模式

1月29日，江苏姜丰种业有限公司负责人刘坚宏自豪地介绍自家公司去年的订单量：“我们仅去年订单生产优质小麦就达10000亩，涉及46个经营主体。”自2017年在朱新开的“牵线搭桥”下，该公司与当地农技推广部门“强强联合”，实现了订单销量，服务效果大幅度提升。

“目前我们通过与扬州大学朱新开教授团队合作形成技术专家团，结合本地龙头企业企业，围绕稻麦绿色高效生产模式开展研究、示范与推广，取得了明显成效。”姜堰区农技推广中心植保站总农艺师李亚伟告诉《中国科学报》。

近年来，朱新开团队与该地农技推广中心、农业龙头企业合作，建立了“技术专家+姜丰种业+家庭农场/农户”的服务模式。在项目区内，选择接受新事物能力强的经营主体，订单生产稻麦种子，累计种植面积17000多亩。

“农业要持续向好向上发展，创新模式是关键。”朱新开介绍，经过多年探索，团队已形成了以国家重点研发计划、中央农业技术推广计划、江苏省现代农业(小麦)产业技术体系等项目为依托的多元化农业技术推广服务模式。

这些模式结合各地发展“因地制宜”，针对欠发达地区制定的纯公益性“三地一体”技术推广模式，也有结合当地互联网发展制定的线上线下融合的“1+1+1+N”技术推广模式，还有“公益+有偿协同服务”等多种技术推广模式。

朱新开表示，下一阶段团队将充分利用信息化手段，创新性开展互联网+、微信+、微视频等农业科技综合服务，共同促进农业绿色发展，助力农民增收致富。

进展

研究提出农田土壤重金属污染解析新方法

本报讯 由于城市化和工业化问题的日益严重，重金属污染已成为全球关注的焦点问题和污染防治的关键点。如何快速、准确地解析农田重金属污染源仍是环境领域的巨大挑战和制约我国生态环境及农业等管理部门的重要问题。

近日，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所研究员张倩茹课题组通过联合利用两种机器分类和筛选方法，对某城市河流及其周边农田土壤中重金属的污染源特征进行了解析，提出

了适用于农田土壤重金属源解析的新方法。研究成果发表在期刊《危险材料杂志》上。

该研究成果耦合非线性源解析模型和人工智能机器学习模型，极大提升了农田土壤重金属污染源解析的准确性和时效性。研究结果可以推动管理者更好地了解城郊生态系统重金属污染特征，并有针对性地设计和实施有效策略，减少重金属污染的扩散。(张晴丹)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125125>

科学家构建高温胁迫下小麦品质预测模型

本报讯 近日，南京农业大学农学院智慧农业团队在《作物学报》在线发表研究论文。团队利用不同高温胁迫处理小麦植株和籽粒氮素动态观测试验资料，构建了基于过程的高温胁迫对小麦植株氮素动态和籽粒蛋白质含量影响的模拟算法，系统性提升了小麦生长模型在极端高温胁迫下的预测能力。

研究者以两个冬小麦品种为试验材料，在开花期、灌浆期单时及开花期和灌浆期双时分别设置了为期两年的不同温度水平和持续时间的系统性极端高温处理试验。试验结果表明，高温胁迫显著降低了小麦植株上部氮素积累，而显著增加了籽粒氮素积累速率。开花期高温胁迫对植株上部氮素积累和籽粒氮素积累速率的影响比灌浆期影响更大。基于试验观测数据，提出了量化高温胁迫与植株上部氮素积累、籽粒氮素积累速率之间关系的

模拟算法，并进一步与WheatGrow模型进行了耦合。

模型检验结果表明，新提出的模拟算法显著改进了WheatGrow模型对植株地上部氮素积累动态、籽粒氮素积累动态和籽粒蛋白质含量的模拟效果。与原WheatGrow模型相比，添加了极端高温胁迫效应算法的WheatGrow模型，在高温胁迫下对地上部总氮积累量、籽粒氮素积累量和籽粒蛋白质含量模拟结果的归一化均方根误差(NRMSE)分别下降了40%、85%和80%。

因此，新提出的模型算法通过降低模型在高温胁迫下对植株氮素动态及籽粒品质模拟的不确定性，显著增强了WheatGrow模型在评估气候变化对小麦籽粒品质影响方面的应用潜力。

(王方)
相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.001>

大蘑菇香飘四季

■本报记者 张晴丹 通讯员 翟荣惠