

第一章 <<<

播前关键技术与机理

小麦播前的技术措施主要包括：耕作整地、秸秆还田、施底肥（包括农家肥、家畜家禽粪、化肥）、浇底墒水、土壤药剂处理等。这几项技术各有其独立性，又有相互连续性。在实施过程中，根据不同年份（气候）、不同茬口、不同土壤类型，几项技术措施要因地制宜、各有侧重、合理搭配、协调运用，创造一个适合小麦种子发芽，达到苗全、苗匀、苗壮的耕层土壤环境。

第一节 播前关键技术及操作规程

一、整地技术

1. 黄淮海平原麦区 翻耕、耙地、旋耕以及其他几项技术要根据不同茬口、不同土质、不同墒情和不同农机具灵活运用，合理搭配才能保证整地质量。

9月下旬和10月初玉米收获后，在降水较多、墒情较好的年份，要在玉米收获后用机械粉碎玉米秸秆，撒施农肥和化肥，进行机械翻耕（深度达到26~33厘米，或浅耕22厘米）。为节省燃油和成本，深翻可三年1次，第一年深翻1次，第二、三年旋耕，第四年再深翻，耕翻深度不能小于26厘米。要求亩^{*}产达到600千克以上的超高产麦田，一定要深耕33厘米以上。深翻后要用钉齿耙细耙数遍，打碎坷垃，耙实耕层。无明暗坷垃，切忌深耕浅耙。对质地黏重的淤土地，也可在翻耕之后进行旋耕，打碎表层坷垃，但必须旋后再耙（耙上压重物），要耙深耙透，踏实耕层，保证播种机进地不下陷，种子播在3~4厘米土层。在土质非常黏重的淤土地，可先用旋耕破碎坷垃。为了保持表土墒情，要把耙地和播种相结合，最好在早晨10时之前耙地，耙后立即播种，最大限度利用表层土壤水分，以保证小麦正常发芽出苗、扎根快、发育好。目前，相当一部分麦田，耙地是最薄弱环节。往往是大拖拉机深翻后，由于缺乏深耙机具，只旋耕一遍，或者不翻耕而只旋耕一遍，旋后不耙造成表土

* 亩为非法定计量单位，1亩≈667米²。——编者注

过虚。由于 15 厘米以下坷垃未被打碎，上虚下翘空，使小麦播种过深，出苗缓慢；幼苗根不沾土，根系发育很差，麦苗吸水吸肥困难，生长瘦弱，冬季冻害严重。

总结各地经验，麦田耕作整地必须达到“深、细、净、平、实、足”的标准。“深”是指通过深翻或深松，加深耕层，要求耕层深度达到 25~33 厘米；“细”是耢耙精细，不漏耕不漏耙，无坷垃；“净”是前茬秸秆掩埋严实，地表无残茬秸秆；“平”是犁垡翻平扣严，地面平整，利于灌排；“实”是耕层土体上虚（0~5 厘米）不板结，下层（5~20 厘米）紧实度适中，使小麦幼苗的根系与土壤颗粒既能紧密结合，又不过分紧实，有利于出苗和扎根；“足”是指土壤含水量较充足，达到足墒下种。

2. 稻茬麦田 沿黄稻茬小麦，由于水稻收割较晚，所以应当在水稻收割后以旋耕为主。既可以充分打碎表土层、疏松表土，又可保证小麦适期播种。一般是先撒施底肥然后进行机械旋耕，这是目前沿黄稻茬麦应用较广泛的一项技术。每年栽种水稻之前可深耕 1 次（深度 30 厘米以上），保证耕层有适宜的松紧度。

豫南稻区一般收稻后至小麦适播期有 40 天左右的间隔。因此，一定要认真搞好整地，提高播种质量，争取充足的基本苗，形成较多的有效穗，这是稻茬麦提高产量的关键措施。老稻区土质黏重，宜用旋耕整地。一般在水稻收割后旋耕两遍，第一遍旋耕尽量深些，拖拉机速度要慢，便于破除犁底板结；第二遍旋耕要浅，打碎表土，达到上虚下实，利于播种。

3. 旱地小麦 整地保墒是一项非常重要的关键技术。因茬口不同所采取的耕作措施亦不相同。晒旱地麦田一年一熟，要在伏前深耕，一般在 7 月上中旬深耕 1 次（25~33 厘米），可同时施入粗肥和磷肥；第一次深耕只犁不耙，伏前张口接纳雨水并晒垡，伏后再耙地保墒，以后遇降水即耙地保墒。在播种前半月左右，土墒好可撒施化肥，浅耕细耙，如果干旱要细耙保墒、及时播种。

一年二熟的秋茬地，如果前茬收获较早，要在收割后及时进行耙地或浅犁灭茬保墒，然后施底肥进行耕翻，耕后即耙，保住底墒。也可以在秋收后尽快撒施底肥，进行旋耕，旋后耙地 2~3 遍，麦田平整踏实，即可播种。干旱地区一般不采用玉米秸秆还田，以免因干旱缺墒而影响小麦播种，同时因土墒不足，秸秆腐烂困难影响幼苗生长。

旱地麦田镇压是充分利用土体毛管水，保证出苗和苗全苗旺的有效措施。在墒情不太好的年份，可在小麦播种后及时镇压，利于提墒。

4. 保护性耕作 用机械实施“秸秆覆盖+条带式免耕+施种肥+播种+条带深松耕”。适用于气候半干旱半湿润区的黄淮海平原，亩产 550 千克左右

的地块和黄土丘陵区的一年二熟麦田。其主要技术流程：玉米联合收割机收获玉米→玉米秸秆粉碎还田→条带免耕施肥（化肥）后播种小麦→间隔式（条带）深耕（松）土（30 厘米左右，隔 2~3 年 1 次）。

二、底肥施用技术

所谓小麦底肥（基肥）是指在耕耙地之前施入土壤中的有机肥和化肥。这些肥料不仅供给小麦所需的多种营养元素，而且可以培肥土壤，维持和提高土壤肥力。有机肥主要包括农家肥、家畜禽粪以及前茬作物秸秆还田等。化肥包括氮磷钾及其他中量元素、微量元素肥料。有机肥来源于农村土杂肥和畜禽粪便的越来越少，只是在牛、羊、猪、鸡集中饲养场周围有小面积施用。

目前，黄淮海平原麦区小麦前茬多为玉米。因此，利用玉米秸秆直接掩于土中作小麦底肥是目前正在推广的一项重要技术。玉米秸秆还田代替了过去的农家土杂肥是一项增加土壤有机质、改善耕层土壤物理化学性状的有效措施，目前在黄淮海广大小麦—玉米一年二熟地区，玉米秸秆直接还田作小麦底肥逐渐形成一种施肥制度，正在大面积推广应用。河南省平原水浇地麦区玉米秸秆还田已占到面积的 70% 以上，而且面积还在逐年扩大。

玉米秸秆还田的秸秆数量与玉米产量相关，据曾木祥等 2002 年调查，华北地区玉米秸秆还田量为 5 250~6 750 千克/公顷（350~450 千克/亩）。河南省玉米高产区的秸秆还田量在 500 千克/亩以上。按玉米秸秆养分含量（平均含 N 0.6%、 P_2O_5 1.4%、 K_2O 0.9%）计算，约相当于氮素 3 千克左右（尿素 6.5 千克左右）。

玉米成熟后要及时收获，趁玉米秸含水量较高、青脆易断之时，及时粉碎还田。玉米秸秆还田要尽量打碎撒匀，要求打碎秸秆长度不超过 5 厘米；利用机械把秸秆粉碎和耕翻入土联合作业，要注意土壤墒情，干旱年份土壤墒情不足时，要在掩埋前和翻耕后浇水，保证秸秆快速腐烂分解。避免在耕层中形成秸秆蓬架，影响小麦出苗和苗期生长。黏土地如果秸秆还田后影响出苗，造成断垄，要在出苗后再浇一次水，促使断垄行的小麦种子继续发芽出苗。

为了加速玉米秸秆在土壤中的分解，近几年已有单位研制多种秸秆腐熟剂，在秸秆还田中应用有较好效果。据有关单位试验，用秸秆腐熟剂和玉米秸秆同时撒于地表翻耕，秸秆腐解速度提早 30 天，小麦增产 19.7%，各地可进行试验，逐步推广。

小麦合理施用化肥是一个非常复杂的问题。由于各地不同气候、不同土壤类型、不同肥力水平、不同产量水平，当季所需要的养分数量有很大差异。同时，目前市场上肥料种类繁多，复混肥的氮、磷、钾含量各不相同，要做到既提高产量又提高化肥利用率确实是相当困难的问题。对于如何确定作物合理施

化肥数量,有关专家进行过大量研究,常用的方法有:土壤与作物测试法、肥料效应函数法、土壤养分丰缺指标法、养分平衡法等,目前我国推广面积较大的是小麦测土配方法。其基本原理仍是养分平衡,计算公式:

$$\text{施肥量} = \frac{\text{目标产量需肥量} - \text{土壤当季供肥量}}{\text{肥料养分含量} \times \text{养分当季利用率}}$$

在以上4个参数中,除了肥料养分含量为已知数,其他3个参数都不能准确测定,因此,测土配方施肥方法也只能帮助农户大概了解某一块麦田什么养分含量最低,为肥料三要素及其他中微量元素配比提供一个参考配法。而且,在农村以户为单位的小块耕地,全部实行测土化验,有很大困难。经过作者多年多点施肥实验和参考河南省多年各地大量的施肥实验结果:根据全省各地不同土壤类型麦田的养分测试结果,不同基础地力水平以及所要求达到的目标产量,提出按原有地力水平和目标产量的参考施肥总量和底肥用量,供各地参考。

1. 小麦亩产 450~550 千克 (不施肥小麦亩产 330 千克左右)

(1) 每亩总施肥量:玉米秸秆还田+化肥氮(N) 10~15 千克,磷(P_2O_5) 5~7 千克,钾(K_2O) 5~7 千克。肥力较低的沙土、沙壤土要求施氮 15 千克以上,并增施钾肥,同时增施锌肥、锰肥和钼肥。

(2) 底肥量:玉米秸秆还田+氮、磷、钾复合肥(含氮为 22% 以上) 40~50 千克+微肥,剩余氮 5 千克左右作追肥。

(3) 无水浇条件的旱地:底施 50~60 千克复合肥并增施磷肥。天旱年份“一炮轰”,降水多年份可在春季趁降水适当追氮肥,氮肥底追比例 7:3。

2. 小麦亩产 550~650 千克 (不施肥区小麦亩产 400 千克左右)

(1) 每亩总施肥量:玉米秸秆还田+土杂肥 2 000~3 000 千克(或干鸡粪 500 千克)+氮(N) 16~18 千克+磷(P_2O_5) 5~7 千克+钾(K_2O) 5~7 千克,同时增施锌肥和硫肥。

(2) 底肥量:玉米秸秆还田+土杂肥 2 000~3 000 千克(或干鸡粪 500 千克左右)+氮、磷、钾复合肥(含氮 22% 以上) 50 千克+硫酸锌 1 千克+硫黄粉(S) 3~4 千克,剩余氮 4~9 千克作追肥,氮肥底,追比例 6:4 或 5:5。

3. 小麦亩产 660~700 千克以上 (不施肥区小麦亩产 420 千克以上)

(1) 每亩总施肥量:玉米秸秆还田+干鸡粪 1 000 千克或猪粪 1 500~2 000 千克+化肥氮(N) 16~22 千克+磷(P_2O_5) 5~7 千克+钾(K_2O) 9 千克+硫酸锌 1.5 千克+硫黄粉(S) 3.5~4 千克。

(2) 底化肥:复合肥(复混肥)一袋(50 千克)(含氮为 22% 以上),其余氮素用尿素作追肥。由于这些超高产田块的基础肥力都较高,因此,土壤当季供肥能力都在 70%~80%,不需要底施化肥过多,重要的是看苗长势合理

追肥。N肥底、追比例5:5或4:6较好。

4. 不同肥料养分换算 如果不用氮磷钾复合肥而用单元或二元复合化肥,如尿素、磷酸二铵、硝酸磷肥等肥料,可根据肥料的养分含量换算施肥量。

底肥氮 10~12 千克,相当尿素 22~26 千克。

底肥五氧化二磷 7 千克,相当磷酸二铵 15 千克,(内含氮约 2.7 千克)。

底肥氧化钾 7 千克,相当硫酸钾 14 千克左右(氯化钾 14~12 千克)。

底肥氮 10~12 千克,相当硝酸磷肥 20~25 千克(包括 P_2O_5 10 千克)。

特别提示:为了节约化肥用量,提高养分利用率,一般底施尿素不宜超过 22 千克、磷酸二铵是以磷为主的复合肥,每亩用量要以施磷量计算,每亩用量不超过 15 千克;硫酸钾(氯化钾)不超过 15 千克。

硝酸磷肥中的氮素在土壤中易流失,底肥用量最好不超过 20 千克;黄土丘陵旱地比较适宜施用,降水量较多地区不宜选用。

5. 优质专用小麦(强筋面包小麦和弱筋饼干小麦)施肥特点 在一定量(常规用量)磷、钾肥基础上,氮肥施用量和施用方法对强筋和弱筋小麦的产量和品质都有明显影响,综合各地多年实验和生产实践经验表明,强筋小麦需氮较多,要求地力基础较好,增施氮肥(后期追氮)对籽粒加工品质有良好的效应,亩产 500 千克以上强筋麦底肥氮量不少于 10 千克/亩,拔节孕穗 2 次追氮 10 千克以上最为合理(氮底、追比 5:5)。同时要增施硫肥,每亩硫黄粉 3~4 千克。弱筋麦与强筋麦恰好相反,要求中等地力基础,施氮量不能过高,一般全季总氮量(N)不宜超过 12 千克,全作底肥。也可以施底肥氮 8 千克左右,在返青起身期追氮 4 千克左右。拔节后不再追施氮肥。适当增施磷肥有利于弱筋麦改善品质,增加产量,一般要求底施磷 7 千克/亩以上。

6. 小麦底施微肥和硫肥 小麦生长发育需要 17 种营养元素,根据各种元素在小麦体内的含量多少和吸收量不同,可划分为大量元素(碳、氢、氧、氮、磷、钾)、中量元素(钙、镁、硫)和微量元素(锌、锰、硼、铜、钼、氯、铁等)。关于氮、磷、钾肥上面已经阐明,钙、镁、硫等中量元素在很多复合肥中都含有一定数量,多数土壤也能满足供应。微量元素在不同土壤中含量差别较大,有的地块缺乏某种微量元素,有的地块可能缺乏另一种微量元素。一般是地力较肥、施有机肥(或秸秆还田)较多的地块含微量元素比较丰富,肥力低、很少施用有机肥的地块,会缺乏某些微量元素,需要补充。所谓微肥(微量元素肥料)就是含某种微量元素为主的化学合成物质或矿物质,如硫酸锌、硫酸锰等。

关于什么样的土壤需要施用那些微肥,最科学的办法是测定一块地的微量元素含量,根据丰缺指标确定施用何种微肥。但在生产实践中不可能把每家农户的每块地都去测定,因此,只能根据各地土壤肥料工作站每年取样测定结果

提出合理施用微肥的建议,关于河南省不同土壤类型各种微量元素的含量,在河南省土壤普查中已经有了一个宏观资料可供参考。各县、乡(镇)可以隔几年进行多点取样进行测定,向农民发布信息,提出施肥指导建议。目前,在河南省小麦主产区的黄淮海平原潮土区已有资料表明,多数肥力较低的沙土、沙壤土普遍缺乏多种微量元素,应当成为重点补施微肥的区域。如河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所(土肥所)近几年在原阳县、延津县多点取样化验,根据微量元素丰缺指标要求,几乎95%~100%的沙土缺锰(Mn)和钼(Mo),多数土壤缺硼(B),还有66%~77%土壤缺硫(S)。在连续多年大量施用磷肥地块,必须注意补充锌(Zn)肥。因此,建议今后在商丘、周口、开封、濮阳、新乡、安阳等地区的沙土、沙壤土耕地上,应当成为小麦增施多种微肥的重点区域。

小麦微肥可作基肥、追肥和叶面喷肥。微肥作基肥(底肥)可直接撒于地面或与其他肥料混合撒施。锌肥可用硫酸锌1~2千克/亩,硼肥可用硼砂1千克,锰肥可用硫酸锰1千克,铜肥可用硫酸铜1~1.5千克,钼肥用钼酸铵在拔节期叶面喷洒(0.01%~0.1%)。

关于硫肥,近些年来随着小麦产量的提高和优质强筋小麦种植面积的逐步扩大,不少地方开始施用硫肥,很多实验证明,硫肥对小麦产量的提高和强筋小麦品质的改善有较好效果,因此,今后可以因地制宜地合理施用硫肥。

小麦植株体含硫量在0.15%左右,因此硫属于中量元素。植物吸收硫是以 SO_4^{2-} 形态。硫黄在土壤中经微生物(硫细菌)生化反应氧化成 SO_4^{2-} 形态供植物吸收。

常用含硫化肥有:硫酸铵(NH_4SO_4),含硫24%;普通过磷酸钙,含硫13.9%;硫酸钾(K_2SO_4),含硫17.6%;石膏(CaSO_4),含硫18.6%。硫黄、纯硫化合物等新型含硫肥有:多硫化铵,含硫26%;硫黄尿素,含硫10%;液态 SO_2 ,含硫50%。

因为上述肥料中都含有一定量的硫,只要施用了上述肥料中的一种或几种,就已经补充了一定数量的硫,可以不必再增施硫肥。对于土壤缺硫严重或强筋小麦、高产小麦地块,可以另外增施硫肥。目前常用硫肥以硫黄为主,一般2.5~4千克/亩做基肥就可以了。如果土壤耕层含有效硫(S)达到21毫克/千克以上,就不要再增施硫肥。

7. 高产、超高产小麦施肥实例

(1) 孟州市城柏镇岳师村:郑麦7698,亩产725.2千克;2009—2010年,褐土(黏壤)。

① 底肥。玉米秸秆还田+鸡粪500千克+牛粪3米³+复合肥(含N为28%、 P_2O_5 为10%、 K_2O 为8%)50千克。

② 追肥。12月浇越冬水1次，追尿素10千克/亩，孕穗期（4月上旬）追尿素5千克，全季化肥氮共计20.9千克/亩。

（2）温县祥云镇：豫麦49—198，亩产717千克，2009—2010年，黄潮土（黏壤）。

① 底肥。玉米秸秆还田，鸡粪1000千克，化肥氮10.75千克。

② 追肥。氮9.2千克。全季化肥氮20千克/亩。

（3）浚县农业科学研究所试验田：周麦16，亩产658千克，2009—2010年，黄潮土（黏壤）。

① 底肥，化肥氮9.2千克/亩。追肥，氮11.4千克/亩。

② 全季化肥氮20.6千克/亩。

（4）商丘市睢阳区岳村：郑麦7698，亩产732~767.4千克（平均755.6千克），2010—2011年，黄潮土（黏壤），当年气候条件良好。

① 底肥。玉米秸秆全量还田，腐熟鸡粪2000千克，腐殖酸复合肥50~100千克。

② 追肥。追尿素1次（10~15千克）。

③ 全季化肥氮11.5~23千克（几块地因有机肥数量多少不同，施化肥氮总量有很大差异）。

（5）西华县黄泛区农场：泛麦5号，亩产712千克（小区产量），2009—2010年，黄潮土（沙壤），基础肥力较低。玉米秸秆还田，底、追肥共施化肥氮23千克/亩。

三、土壤药剂处理技术

土壤药剂处理是在犁地或耙地之前把一定量农药撒于地表耙入土中，直接杀死虫卵或病菌。土壤药剂处理是防治地下虫或某些病害的传统有效方法。其优点是防治效果好，操作简便，缺点是用药量较大，增加生产成本。目前，多数麦田使用包衣种子或药剂拌种，但在地下虫或某种病害特别严重的地区或地块仍需要用土壤药剂处理。

根据各地试验结果和经验，这里提出几种土壤药剂处理的药物配方，供参考应用。随着市场上农药种类的不断变化，今后在实际应用中还会有新的药物用于土壤处理。

1. 防治地下虫（尤其吸浆虫严重地区）药物配方

（1）3%甲基异硫磷颗粒剂（或3%辛硫磷颗粒剂），每亩2~3千克。

（2）50%辛硫磷乳油（或40%甲基异硫磷乳油），每亩250毫升加水2千克。

以上配方任选一种，拌干细土20~25千克，均匀撒在犁地垡头，耙磨均

匀，与耕层土壤充分混合。

(3) 在野燕麦严重地块可与上述杀虫剂同时加入 40% 燕麦畏乳油 200 毫升/亩，兑水 40 千克，均匀喷洒在垡头上与杀虫剂一起耙入土中。

2. 全蚀病严重地块 用 70% 甲基硫菌灵（或 50% 多菌灵）2~3 千克/亩，或 50% 福美双 3~5 千克，兑细土 20 千克，与上述杀虫剂药物混合撒垡头，均匀耙入土中。

3. 线虫病严重地块 土壤药剂处理剂可加入 10% 灭线磷颗粒剂 3 千克/亩，与上述药物混合耙入土中。

四、浇底墒水技术

遇到 9 月降雨少，整地时缺墒年份（耕层土壤含水量低于田间持水量 60%），必须浇好底墒水，保证足墒下种。浇底墒水常用的方法有以下 3 种。

(1) 在耕翻之前，铁茬浇水，待能进地时立即进行耕耙。这种办法省水、省工，适合大面积采用。

(2) 水源较充足的地方，也可以先耕耙打畦，然后浇水，这种办法用水量大，但耕层可贮藏较多水分，保证底墒充足。

(3) 有的地方采用播种后浇“蒙头水”，特别适用于黏土麦田，砂土麦田不宜采用。浇蒙头水要在播种后 3~5 天，不要过早；秸秆还田的黏土地，往往因整地质量不好，会造成较多缺苗断垡，这种地块一定要在出苗后及时检查，发现断垡严重，要及时再浇 1 次水，可以促使断垡地段再出苗，保证苗全。浇底墒水注意水量不能过大，以 50~60 米³/亩为宜，最好采用喷灌。小麦出苗后要及时中耕松土，破除板结。

第二节 播前技术机理与相关参数

一、土壤耕作机理与相关参数

（一）土壤耕作的发展简史

土壤耕作（Soil tillage）是通过农机具的机械力量作用于土壤，调整耕作层的土壤水分、空气、温度和养分的关系，为作物生长发育提供适宜的土壤环境，提供一个适合作物生长发育的耕作层。

土壤耕作是农业生产的一个基础环节。自人类进入农耕时代，就不断改进农用生产工具，用于土壤耕作。

早在公元前 13 世纪的殷商时期，人类已开始使用铜犁头进行牛耕。西周时期制造出中耕、碎土、覆土农具。至 9 世纪，已形成结构较完备的畜力铧式犁和耙地工具。尤其对深耕的认识由来已久，《国语》、《庄子》、《韩非子》都

提到了深耕可以使“其禾繁似滋”。《吕氏春秋》上记载：“其深殖之度，阴土必得，大草不生，又无螟蛾”，意思是深耕要达到见“阴土”即犁底层以下的“生土”，深耕能蓄水保墒，能减少杂草和害虫。

我国在漫长的封建社会和半封建半殖民地统治下，农业生产水平很低，在没有化肥和很少灌溉的条件下，广大农民对土壤耕作整地极为重视，把精耕细作视为保墒提墒、加速土壤营养有效化、减轻病虫为害、提高小麦和其他作物产量的一项极为重要的措施。

20 世纪 50~70 年代，在缺少化肥和优良品种条件下，为了提高小麦生产水平，农业科研人员认真总结了河南省长葛县劳模马同义的深耕深翻技术和孟县的“三犁九耙”精细整地技术；1958 年 8 月，中共中央发布了《关于深耕和改良土壤的指示》，在华北平原小麦生产中大力推广以深翻土地为中心的精耕细作经验，对当时的小麦生产水平提高发挥了重要作用。同时，这一时期科研生产部门也对深耕的作用、适宜深耕深度、深耕后效等有关问题进行了大量实验研究。一致肯定了麦田深耕的增产效果；适宜耕深为 25~33 厘米，每隔 2 年深耕 1 次等科学结论。在 1970 年中央召开的北方农业会议后，深耕作为平原灌区小麦生产的一项重要措施普遍推广。从 20 世纪 70 年代至 80 年代中期，以生产队（村民组）为生产单元，麦田普遍实行了大拖拉机深耕技术，深度在 25~33 厘米，深耕已基本成为小麦生产的常规技术措施。至 20 世纪 80 年代前期，随着农村生产关系的变化，以农户为生产单元，大拖拉机逐渐被中小型农机具所代替，多用小四轮或手扶拖拉机进行耕地，深度在 23 厘米。20 世纪 90 年代后期至今，由于旋耕机具广泛使用，农民为了减少投资，深耕的面积日渐减少。但由于新品种的不断出现、化肥用量增加和水利条件改善，小麦单产仍在提高，使农民群众产生错觉，认为不深耕小麦一样能增产。因而，深耕这一有效措施日益被人忽视。但有一个不争的事实，近几年验收的小麦亩产 600 千克以上的超高产田块，仍然采用深耕措施。近几年，越来越多的农民认识到由于单用旋耕，使耕层日益变浅，小麦根系发育不良；土传病害及虫害的为害加重；旋耕造成表土层过虚，影响小麦出苗，加重冬季冻害等问题更加突出。大家逐渐认识到要想进一步提高小麦单产，在应用高产品种，增加化肥用量和实行秸秆还田的同时，必须有深耕配合，才能实现高产再高产。日前土地流转的种田大户都在采用深耕措施，作者预测，深耕这一古老而又有效的经典技术，必将在河南省小麦持续增产中显示出不可替代的重要作用。

土壤耕作另一个需要注意的是作用于表土层的耙、耢、镇压技术，特别是“耙地”，要作为精细整地不可缺少的最重要环节。“秋收一张锄，麦收一盘耙”，历史上的耙地主要用钉齿耙，在耕翻后进行斜耙或顺耙，打碎坷垃，同时起到镇压作用。大拖拉机深耕，采用圆盘耙或圆盘耙与钉齿耙相结合。当

前,圆盘耙已难见到,钉齿耙亦很少见。多用旋耕机代替耙地,但不能起到应有的镇压作用,往往造成表土过虚,大约 15 厘米以下翘空,严重影响苗齐苗匀,是当前麦田耕作的一大问题,亟待解决,同时,应该寄希望于农机部门,实现农机农艺结合,根据麦田整地的需要,研制新的玉米秸秆还田、深耕、细耙、镇压几个环节相配套的新型农机具,提高耕作质量,为小麦生产奠定良好基础。

(二) 土壤耕作的基本概念

1. 翻耕 (plowing) 翻耕是表土耕作的一种耕作方法,用铧式犁翻耕地面 30 厘米左右,并在翻耕后用圆盘耙、钉齿耙耙平表土,它包括翻耕、耙磨、镇压、起垄 4 个环节,是目前传统农业运用最广泛的一种耕作方法。

2. 旋耕 (rotary tillage) 是运用低速重载耕作机具扰动打碎表土层的一种耕作方法,但仅能扰动表土 12~16 厘米。旋耕最早用于稻茬麦田整地。20 世纪 90 年代之前,河南省很少使用旋耕。近些年,由于农村生产关系的变化,在广大麦区旋耕机广泛应用。它的优点在于消耗动力相对较少,降低成本。但如常年使用旋耕,会使麦田耕层变浅,形成板结层。又因为旋耕后如不认真耙压,会造成表土过虚,严重影响小麦出苗和幼苗发育。现在,不少地方因旋耕整地质量不好已成为阻碍小麦持续增产的一个重要问题。

3. 深松耕 (Subsoiling) 是用大动力机械牵引无壁犁、松土铲、凿型铲对土层进行全面或间隔条带的深层隔垄松土体而不翻转土层的一种耕作方式。松土深度可达 40~50 厘米。目前,深松耕已逐步与条带免耕相结合,在半干旱麦区很有发展前途。

4. 免耕 (no-tillage) 是指作物播种前不用犁、耙等表土耕作,直接在前茬地上播种,通常称之为“铁茬”播种。典型免耕是由 3 个基本环节组成:①地面覆盖残茬、秸秆,以减少土壤水分蒸发。②采用联合作业的免耕播种机直接播种,一次完成开沟、施肥、播种、喷药、覆土、镇压等作业。③采用农药防治病、虫、草害。免耕只能隔几年运用 1 次,不能连续多年施用。在黄土丘陵区,免耕与条带式深松相结合,对保蓄土壤水分有很好效果,应当是今后的发展方向。

以上 4 种土壤耕作方式,各有其优点和缺点,需要因地制宜、合理搭配运用,据河南科技大学 2003—2008 年在全省不同生态区多点实验,平原水浇地不同耕作方式的小麦产量表现为:秸秆还田+深翻(27 厘米以上)最高,秸秆还田+旋耕次之,秸秆还田+免耕较差。2010—2015 年,河南省出现的超高产麦田,都采用了深翻措施。实验结果证明,深翻的后效期可达两年。因此,目前小麦高产区适合采用深翻与旋耕间隔 2~3 年的耕作方式较为合理。也是今后大面积推广应用的方向,必须改变目前不少地方出现的连续多年旋耕

的状况。

(三) 深翻(耕)的增产效果和经济效益

1. 增产效果 据河南省多年多点实验结果:平原麦区深翻(30厘米左右),比浅耕的小麦一般增产13%~17%,第二年后效增产8%~10%。河南科技学院2008—2009年测定,秸秆还田+深翻比秸秆还田+旋耕的小麦增产8.4%,比单旋耕增产13.9%。

无水浇条件的旱地小麦,深翻的增产效果尤其显著。据河南省旱地办1989年多点实验,深翻26.6~33.3厘米,比浅耕13厘米的小麦增产12.4%~31.4%,以深耕26.6厘米效果最好。禹州农技站2011年实验,深翻30厘米比浅耕10厘米的小麦增产36.7%。旱地深松的增产效果十分显著,浉池县农技站实验,麦田深松(40厘米以上)小麦增产9.8%~30.2%,后效两年以上。河南科技大学2000—2007年的旱地定位实验表明:深松+秸秆覆盖比传统耕作增产4.9%~20.9%,平均增产9.25%。免耕+秸秆覆盖平均增产4.8%。孟津县旱地实验,深松30厘米以上比常规浅耕小麦增产12.3%~16.8%。

2. 经济效益 据河南省农业科学院小麦研究所于2012—2014年在不同生态类型区进行的耕作方式实验结果表明,无论在豫北平原区的水浇地还是豫南雨养农业区,翻耕+耙耱的经济效益均为最佳,分别较旋耕方式效益增加89.2元/亩和154.8元/亩,增幅分别为9.56%和20.81%,而机耕生产成本仅增加了30元/亩,具有显著的产出效应(表1-1)。

表1-1 秸秆还田条件下不同耕作方式产投效益
(河南省农科院小麦研究所,2011—2014年)

类型	处理	产量 (千克/亩)	产值 (元/亩)	增加产值 (元/亩)	效益增幅 (%)	整地投入 (元/亩)
水浇地 (新乡获嘉)	旋耕播种(常规种植)	466.7	933.4	—	—	40
	旋耕+耙耱	489.7	979.4	+46	+4.93	60
	翻耕+旋耕	469.2	938.4	+5	+0.54	70
	翻耕+耙耱	511.3	1022.6	+89.2	+9.56	70
雨养区 (驻马店西平)	旋耕播种(常规种植)	372	744	—	—	40
	旋耕+耙耱	406.7	813.4	+69.4	+9.33	60
	翻耕+耙耱	449.4	898.8	+154.8	+20.81	70

注:小麦价格按2元/千克计算。

(四) 深耕的改土培肥作用

深耕的作用主要是通过机械力量,打破0~35厘米的坚实土层,改善其通气性和透水性,使土壤的水、肥、气、热更为协调。这些物理性状的改善,主

要通过测定土壤容重指标显示出来。

土壤容重是一个与产量关系最为密切的土壤物理参数。土壤容重是土壤在自然结构的状态下，一定土层厚度的单位体积土壤的烘干重，单位为克/厘米³。一般测定 0~10 厘米、10~20 厘米、20~30 厘米和 30~40 厘米土层。土体越紧实土壤容重值越大，耕层的土壤容重值受自然和人为活动影响不断变化，一般为 1.0~1.4 克/厘米³。根据土壤容重值可计算土壤孔隙度、土壤空气含量，还可计算土壤重量（耕层土壤重量=土壤容重×耕层深度×面积）。

土体越松，土壤容重越小。各地实验结果一致证明，通过深翻或深松能使土壤（0~30 厘米）容重降低。河南省农业科学院小麦研究所通过多年在豫南雨养农业区的驻马店和南阳等地定位实验，翻耕和深松对 0~40 厘米土层的容重明显降低，同时可以打破犁底层，改善耕层土壤的水、肥、气、热；旋耕使土层 20~40 厘米的容重显著升高，导致耕层变浅（表 1-2）。

表 1-2 不同整地方式对土壤容重（克/厘米³）的影响
（河南省农业科学院小麦研究所，2011—2014 年）

时期	处理	土层（厘米）			
		0~10	10~20	20~40	平均值
小麦播种	翻耕	1.38	1.45	1.56	1.49
	旋耕	1.36	1.5	1.59	1.51
	深松+免耕	1.33	1.38	1.52	1.44
小麦收获	翻耕	1.36	1.4	1.58	1.48
	旋耕	1.31	1.42	1.64	1.5
	深松+免耕	1.32	1.37	1.55	1.45

一般土壤耕层的土体构成为固：液：气=50：25：25，即空气和水分要占到 50%左右。耕翻或深松使土体变松，非毛管孔隙可增加 3%~5%，提高降水的入渗量，扩大土壤蓄水量。河南省旱地办实验，深耕 25 厘米以上，耕层含水量可提高 4%~5.6%，蓄水率提高 13%以上，洛宁县农业技术推广站实验，平均耕层加深 1 厘米，可多容纳水分 4 米³/亩；机耕深翻比畜力浅耕加深耕层 8~10 厘米，可多蓄水 18.5 毫米。在平原潮土区，当耕层由 15 厘米加深到 24 厘米，土壤库容增加了 60%，耕层贮水量可增加 15~20 米³。

由于深翻深耕疏松了耕作层，土壤含水量增加，显著促进了小麦根系的生长发育，促使初生根下扎更深，次生根的数量可增加 30%~40%，而且在土层中分布的深度加深。浅耕的小麦根系主要分布在 0~20 厘米土层；深耕后，小麦根系分布在 0~50 厘米土层，其中 0~30 厘米土层的根量可占到 80%左右，拓宽了根系利用水分和养分范围，促进地上部的生长发育。

二、施底肥机理与相关参数

(一) 小麦总需肥量

关于小麦一生吸收氮、磷、钾量前人已进行过大量实验，其基本结论是一致的，即每生产 100 千克小麦籽粒，约需氮为 3 千克、五氧化二磷为 1 千克和氧化钾为 3 千克。

由于不同研究者用的小麦品种不同、所处生态条件各异、产量水平高低以及测试过程误差不同，实验所得数据有一定差异。现将有代表性的两个综合结果列于表 1-3、表 1-4。

表 1-3 不同产量水平小麦吸收氮、磷、钾的数量

(王承志、朱云集, 1992 年)

产量水平 (千克/亩)	样本 (个)	平均单产 (千克/亩)	总吸收量 (千克)			100 千克吸收量 (千克)		
			氮	五氧化二磷	氧化钾	氮	五氧化二磷	氧化钾
131~234	5	187	5.79	1.97	4.66	3.1	1.06	2.49
305~396	8	362	10.6	3.54	10.1	2.94	0.98	2.79
412~497	9	463	14.7	4.73	15	3.17	1.02	3.24
510~580	12	530	16.8	5.36	18	3.16	1.01	3.4
602~643	2	623	20.6	6.36	22.7	3.31	1.01	3.62
平均	—	—	—	—	—	3.14	1.02	3.12

表 1-4 不同产量水平小麦氮、磷、钾吸收量

(河南小麦栽培学, 2010 年)

产量水平 (千克/亩)	100 千克小麦吸收量 (千克)			吸收比例
	氮	五氧化二磷	氧化钾	氮 : 五氧化二磷 : 氧化钾
300	2.76	0.88	2.93	3.13 : 1 : 3.32
400	3.23	1.06	2.7	3.05 : 1 : 2.55
500	3.73	1	3.88	3.73 : 1 : 3.88
600	3.65	1.04	4.65	3.52 : 1 : 4.49
700	3.25	1.14	4.96	2.85 : 1 : 4.35

从以上多年多点汇总资料可以看出：随着小麦产量水平的提高，形成单位产量所吸收的氮素稳中有升，五氧化二磷基本保持稳定，氧化钾吸收量逐步增加，尤其在产量达到 400~500 千克/亩以上，吸收氧化钾量增加明显。说明随着产量水平达到高产、超高产，要重视钾肥的施用，提高土壤的供钾水平。

根据上述小麦单位产量所需氮、磷、钾量,亩产 500 千克小麦必须吸收氮为 15 千克、五氧化二磷为 5 千克、氧化钾为 13~15 千克。这些营养元素大约 60% 以上来自土壤(不同肥力水平差异很大),另一部分要靠施肥供应。由于小麦生育期较长,营养生长和生殖生长具有明显阶段性,不同生育阶段所吸收的氮、磷、钾的数量和比例有明显差异,因此,世界上大部分小麦生产都采用播种前施肥(底肥和种肥)和生育中期补充施肥(追肥),有的还要在生育后期进行追肥或叶面喷肥。

(二) 小麦的阶段需肥及底肥的重要性

小麦底肥是供给小麦前期至中期营养生长的主要养分来源。小麦的根、茎、叶和分蘖形成的有机物质所需要的营养元素主要由底肥供应(一部分来自土壤贮存养分)。国内外专家就有关小麦全生育期各生育阶段吸收营养元素的规律进行了大量实验研究,虽然由于实验年份不同、所用小麦品种不同、产量水平不同、取样时间有所差异以及化学测定有一定误差,但所得规律是基本一致的,现选取在河南省有代表性的几份测试结果如下。

从表 1-5~表 1-8 可以看出,不同年份、地点、不同品种和产量水平(亩产 450~550 千克),小麦出苗至拔节所吸收的氮(N)量平均占全生育期吸收氮量的 48.3% (40.68%~55.30%),吸收磷(五氧化二磷)平均占 37.4% (28.89%~48.6%),吸收钾(氧化钾)平均占 48.25% (40.11%~57.2%)。

表 1-5 550 千克/亩水平小麦各生育阶段吸收氮、磷、钾养分特点

(马元喜, 1992)

生育阶段 (采样日期)	氮			五氧化二磷			氧化钾		
	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)
出苗—越冬 (12-9)	2.3	13.3	2.3	0.65	11.9	0.65	1.64	10	1.64
越冬—返青 (2-11)	2.33	13.5	4.63	0.73	13.4	1.38	1.19	7.2	2.83
返青—拔节 (3-17)	4.56	26.5	9.19	1.27	23.3	2.68	4.95	30.1	7.78
拔节—抽穗 (4-17)	3.78	21.9	12.97	1.14	20.9	3.79	6.99	42.5	14.77

(续)

生育阶段 (采样日期)	氮			五氧化二磷			氧化钾		
	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)
抽穗—开花 (4—26)	1.98	11.5	14.95	0.56	10.3	5.07	1.69	10.3	15.46
开花—灌浆 (5—7)	0.76	4.4	15.71	0.18	3.3	5.03	—0.52	—3.2	15.94
灌浆—蜡熟 (6—1)	1.53	8.9	17.24	0.43	7.9	5.46	0.47	—2.9	16.41

表 1-6 500 千克/亩水平小麦各生育阶段对氮、磷、钾的吸收
(谭金芳, 2003)

生育阶段 (采样日期)	氮			五氧化二磷			氧化钾		
	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全季总 吸收量 (%)	累积吸 收量 (千克/ 亩)
出苗—越冬	1.21	14.87	—	0.24	9.07	—	0.62	6.95	—
越冬—返青	0.22	2.17	17.04	0.05	2.04	11.11	0.27	3.41	10.36
返青—拔节	1.99	23.64	40.68	0.48	17.78	28.89	2.71	29.75	40.11
拔节—抽穗	1.46	17.35	58.03	0.69	25.74	54.63	3.22	36.08	76.19
抽穗—开花	1.17	13.94	71.97	1.02	37.91	92.54	2.21	23.81	100
开花—灌浆	1.71	20.31	92.28	—	—	—	—	—	—
灌浆—蜡熟	0.65	7.72	100	0.2	7.46	100	—	—	—
总计	8.42	100	—	2.7	—	—	8.95	100	—

表 1-7 465.1 千克/亩产水平小麦不同生育阶段吸收氮、磷、钾的特点
(李骥, 2012)

生育时期	干物质 (千克/亩)	氮		五氧化二磷		氧化钾	
		千克/亩	占全生育期 累积量 (%)	千克/亩	占全生育期 累积量 (%)	千克/亩	占全生育期 累积量 (%)
3 叶期	11.2	0.52	3.76	0.18	3.08	0.52	3.32
越冬期	56.1	2.03	14.98	0.71	12.16	1.62	10.36
返青期	56.4	2.06	15.2	0.77	13.18	2.05	13.11
起身期	51.2	2.31	17.05	0.97	16.61	2.26	14.45
拔节期	168.2	5.9	43.54	1.68	28.77	6.46	41.3
孕穗期	420.5	10.9	80.07	3.32	56.85	14.28	91.3
抽穗期	495.2	11.34	81.03	3.1	61.64	15.64	100
开花期	530.4	10.98	83.69	3.92	65.41	13.74	87.85
花后 20 天	842.7	12.51	88.93	4.48	76.71	12.31	81.65
成熟期	1034.4	13.55	100	5.84	100	12.77	78.71

注：表中数据为冀麦 24、冀麦 7、丰抗 2 号三个品种的平均测定值，平均亩产 465.1 千克。

表 1-8 杂种（三系）小麦各生育阶段吸收氮、磷、钾养分特点
(王绍中等, 1995)

生育阶段	氮			五氧化二磷			氧化钾			品种 名称
	吸收 强度 [克/ (亩· 天)]	阶段 吸收量 (千克/ 亩)	占全生 育期吸 收量 (%)	吸收 强度 [克/ (亩· 天)]	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全生 育期吸 收量 (%)	吸收强 度 [克/ (亩· 天)]	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全生 育期吸 收量 (%)	
出苗—越冬 (79 天)	40.5	3.2	14.5	8.4	0.66	12.5	27.8	2.2	11.6	冀杂 891 (亩产 547.21 千克)
越冬—拔节 (77 天)	98.7	7.6	34.5	19.5	1.5	28.3	107.8	8.3	43.9	
拔节—孕穗 (26 天)	208.3	5.5	25	70.8	1.84	34.7	208.3	5.4	28.7	
孕穗—开花 (12 天)	91.7	1.1	5	33.3	0.4	7.5	404.5	0.49	3.6	
花后 7 天	57.1	0.4	1.8	14.3	0.1	1.9	185.7	1.3	6.9	
花后 14 天	514.3	3.6	16.4	114.3	0.8	1.5	85.7	0.6	3.2	
花后 21 天	85.7	0.6	2.7	—5.7	—39.9	—	85.7	0.6	3.2	

(续)

生育阶段	氮			五氧化二磷			氧化钾			品种名称
	吸收强度 [克/ (亩· 天)]	阶段 吸收量 (千克/ 亩)	占全生 育期吸 收量 (%)	吸收强度 [克/ (亩· 天)]	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全生 育期吸 收量 (%)	吸收强度 [克/ (亩· 天)]	阶段吸 收量 (千克/ 亩)	占全生 育期吸 收量 (%)	
出苗—越冬 (79 天)	43	3.4	15.7	9	0.71	11.9	36.7	2.9	12	陕杂 9806- 2 (亩 产 523.8 千克)
越冬—拔节 (77 天)	111.7	8.6	39.6	22.1	1.7	28.5	141.6	10.9	45.2	
拔节—孕穗 (26 天)	207.1	5.4	24.9	71.4	1.86	31.2	135.7	3.5	14.5	
孕穗—开花 (12 天)	75	0.9	4.1	16.7	0.2	3.3	566.7	6.8	28.2	
花后 7 天	200	1.4	6.5	100	0.7	11.7	—85.7	—	—	
花后 14 天	142.9	1	4.6	71.4	0.5	8.4	—18.6	—	—	
花后 21 天	142.9	1	4.6	42.9	0.3	5	—45.7	—	—	

小麦出苗至返青所吸收的氮(氮)量平均占全生育期吸氮量的 19.68% (15.20%~26.80%), 吸收磷(五氧化二磷)平均占 16.53% (11.11%~25.30%), 吸钾(氧化钾)平均占 13.56% (10.36%~17.20%)。

上述测定结果表明, 小麦出苗至拔节阶段吸氮量约占全生育期的 50%。出苗至返青期的吸氮量约占 25%。这些营养元素除一部分来自土壤外, 主要靠底肥中的肥料所供给, 可见施足底肥对小麦前中期营养生长(形成壮苗)有着十分重要的作用, 证明农谚所说的“麦收胎里富”的科学道理。培肥地力和施足底肥是小麦高产的一项重要措施。

(三) 小麦施有机肥的增产效果及改土培肥作用

小麦用有机肥料做底肥有着悠久历史。在没有化肥的古老年代, 小麦生产主要依靠有机肥维持产量。有机肥的种类很多, 随着历史的发展, 小麦底肥所用的有机肥种类也在不断变化。我国小麦生产在 20 世纪 80 年代中期之前, 底肥所用有机肥料以农家堆肥、牲畜粪便、人粪尿为主, 统称“农家肥”。在 20 世纪 60~70 年代推广过绿肥(绿豆、草木樨、柆麻)掩青作小麦底肥。随着农村改革的发展, 农家堆肥及牲畜粪便日益减少, 代之而起的是玉米及其前茬作物秸秆还田作为小麦底肥的主要原料。目前, 河南省平原区小麦底施有机肥以玉米秸秆直接还田为主; 随着机械化水平的提高, 今后玉米秸秆还田将成为