

国家小麦产业技术体系建设项目 (CARS-03-24) 资助

旱地小麦抗逆御旱栽培技术模式与水分运行机制

◎ 赵红梅 著



中国农业科学技术出版社

国家小麦产业技术体系建设项目 (CARS-03-24) 资助

旱地小麦抗逆御旱栽培技术模式与水分运行机制

◎ 赵红梅 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

旱地小麦抗逆御旱栽培技术模式与水分运行机制 / 赵红梅著. —
北京: 中国农业科学技术出版社, 2013. 7

ISBN 978 - 7 - 5116 - 1307 - 3

I. ①旱… II. ①赵… III. ①旱地 - 小麦 - 栽培技术
IV. ①S512. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 136153 号

责任编辑 贺可香

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106638 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)
(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106650

网 址 [http://www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 880 mm × 1 230 mm 1/32

印 张 4. 875

字 数 150 千字

版 次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价 20. 00 元

前 言

2013 年 7 月，作者完成了山西农业大学作物栽培学与耕作学博士论文，获得博士学位。在读期间参加了国家小麦产业技术体系建设项目（CARS-03-24）、公益性行业项目“北方主要作物抗旱节水综合技术与区域示范（200903007-10）”、公益性行业项目“黄土高原雨养农田水分高效利用技术与示范（201303104）”以及国家自然科学基金项目“旱地小麦土壤氮素移动与深层根系几何空间构型的研究（31101112）”的研究，并将旱地小麦蓄水保墒综合技术的研究列为博士学位研究课题，在导师高志强教授提出的休闲期“三提前”技术基础上进行配套技术机制的研究。

本书的主要内容包括：旱地小麦蓄水保墒技术研究进展、“三提前”蓄水保墒技术对土壤水分、产量及品质的影响、“三提前”蓄水保墒栽培技术模式对土壤水分的影响、“三提前”蓄水保墒栽培技术模式对小麦农艺性状的影响、“三提前”蓄水保墒栽培技术模式对植株氮素吸收、积累的影响、“三提前”蓄水保墒栽培技术模式对产量形成的影响、“三提前”蓄水保墒栽培技术模式对籽粒蛋白质形成的影响，研究结果为完善休闲期

“三提前”技术提供理论依据，为三提前技术的大面积推广提供了技术支撑。

本书的研究内容是导师高志强教授多年来长期从事的旱地小麦蓄水保墒技术研究的一部分内容，是在导师的亲切关怀与悉心指导下完成的。导师科学严谨的治学态度、活跃超前的学术思维、求真务实的学术作风，深深地影响了学生，使我受益终生。在试验设计与实施过程中，得到了孙敏副教授的有益指导与大力支持，得到了同门师兄弟及师妹们的热情帮助，书中大量的试验数据是大家共同劳动取得的，在此一并表示最衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

赵红梅

2013年7月

目 录

第一章 旱地小麦蓄水保墒技术研究进展	(1)
第一节 旱地小麦蓄水保墒技术的蓄水效应研究进展 ...	(2)
第二节 旱地小麦蓄水保墒技术对小麦生长发育特性的影响	(9)
第三节 旱地小麦蓄水保墒技术对小麦产量及其构成的影响	(12)
第四节 旱地小麦蓄水保墒技术对小麦蛋白质及其品质特性的影响	(15)
第二章 “三提前” 蓄水保墒技术对土壤水分、产量及品质的影响	(28)
第一节 材料与方法	(29)
第二节 结果与分析	(33)
第三节 结论与讨论	(56)
第三章 “三提前” 蓄水保墒栽培技术模式对土壤水分的影响	(63)
第一节 材料与方法	(65)
第二节 结果与分析	(66)
第三节 结论与讨论	(77)
第四章 “三提前” 蓄水保墒栽培技术模式对小麦农艺性状的影响	(82)
第一节 材料与方法	(84)

第二节 结果与分析	(86)
第三节 结论与讨论	(94)
第五章 “三提前”蓄水保墒栽培技术模式对植株氮素	
吸收、积累的影响	(99)
第一节 材料与方法	(101)
第二节 结果与分析	(102)
第三节 结论与讨论	(112)
第六章 “三提前”蓄水保墒栽培技术模式对产量形成的	
影响	(117)
第一节 材料与方法	(118)
第二节 结果与分析	(119)
第三节 结论与讨论	(125)
第七章 “三提前”蓄水保墒栽培技术模式对籽粒蛋白质	
形成的影响	(130)
第一节 材料与方法	(131)
第二节 结果与分析	(134)
第三节 结论与讨论	(145)

第一章 旱地小麦蓄水保墒技术研究进展

旱地农业在中国又称旱作农业，在国外称雨养农业，它指的是在降水稀少又无灌溉条件的干旱、半干旱和半湿润易旱地区，主要依靠天然降水和采取一系列旱作农业技术措施，以发展旱生或抗旱、耐旱的农作物为主的农业。中国是世界上旱地农业发展历史最久的国家之一，旱地农业主要分布于秦岭、淮河一线以北的广大北方地区，其次为南方丘陵山地区。旱区农业在整个农业生产中具有重要的位置，旱地粮食增减与全国粮食增减同步，旱区农业的丰歉对全国农业年景具有十分重要的影响。旱作农区是完全依靠天然降水进行农业生产的，因此，合理高效地利用有限的雨水资源对农业生产和干旱、半干旱区粮食安全和经济发展来说显得尤为重要。

旱地小麦，指在干旱、半干旱地区依靠自然降水的栽培小麦。这类地区小麦全生育期降水少，缺乏灌溉条件，小麦生长全靠自然降水，其产量的高低与生长年度降水多少及降水的适时程度关系密切。旱地小麦的丰歉，直接影响着我国农业生产以及人民的日常生活。旱地小麦广泛分布在我国各小麦产区，但主要分布在淮河以北广大北方麦区。北方旱地麦区主要指年降水为400~600mm的晋、冀、鲁、豫、陕、甘等广大秋播冬小麦的非灌溉区，面积近1亿亩，占北方六省市小麦总面积的33%左右，其中，旱地绝对面积最大的有陕西、山东、河南、山西等省，而相对面积最大的为陕西省与山西省，均约占本省小麦总面积的三分之二。我国旱地麦区的水资源在数量上不足、不稳，且利用难

度大，而自然降水是旱地麦田唯一的水分来源（赵微平等，1993）。北方旱地麦区，常年自然降雨量为 400 ~ 600mm，60% ~ 70% 的自然降水集中在 7 ~ 9 月，且分布不均，年际间波动大，而其余 9 个月正是小麦的生长季节，降雨量仅为 150 ~ 250mm，冬春干旱时有发生，严重影响冬小麦的春季生长和春小麦的播种。旱地小麦生长所需水分一方面来自小麦生长期间的自然降水，另一方面来自小麦播种前土壤贮备的水分。生长期间的自然降水不能人为控制，但土壤的自然储水量则可以采用一定的栽培措施加以调节。因此，如何充分利用有限的降水资源，通过优化耕作栽培措施，合理地调控和充分利用土壤水分，提高自然降水的利用效率，是发展旱农生产、提高旱地小麦产量的永恒研究课题。

第一节 旱地小麦蓄水保墒技术的 蓄水效应研究进展

目前，关于旱地小麦蓄水保墒技术的研究已取得了较大进展。深耕翻技术、深松耕技术、保护性耕作技术、覆盖保墒栽培技术、覆盖保水技术、覆盖种植技术等旱作生产上都发挥了很大的作用。

一、传统耕作技术的蓄水效应研究

旱农地区土壤耕作最重要的任务是充分发挥“土壤水库”的作用，尽最大可能地把天然降水蓄存于“土壤水库”之中，调节土壤水分、温度、空气和养分之间的相互关系，以满足作物生长发育对水分的需要，提高土壤水分的生产效率。目前，传统的耕作技术主要有深耕翻技术、深松耕技术、“四早三多”技

术等。

（一）深耕翻技术

深耕能够创造深厚的耕作层，增加雨水入渗速度和数量，提高农田的耐旱耐涝能力，同时也能促进土壤熟化，增厚活土层，有利于作物的根系发育，充分发挥肥效；此外，还能减少病虫害及消灭杂草（野宏巍，2001）。Wang X-B（2006）认为，深耕翻是旱地农田蓄水保墒的重要措施，通过深耕，打破犁底层等障碍层次，增加土壤的孔隙度，提高土壤的渗水速度，增加了蓄水容量，有利于最大限度地接纳雨水；通过耕翻底土层可以打破限制作物根系生长的层次，增加根系分布的深度，同时提高水分利用率（Waggar, M. G., 1992）。深耕时间、次数和深度上由于受到作物、气候、土壤的影响，因此，要达到蓄水保墒的效果，对其均有严格的要求。深耕适宜的时间是伏耕优于秋耕，早耕优于迟耕，要与当地雨季的来临相吻合，有试验结果表明，伏前耕翻的小麦产量比伏后增产 62.4%（张树清，1998），伏深耕能将伏天的暴雨大部分蓄于土壤中，减少地表径流，增加蓄水能力，起到伏雨春用、春旱秋抗的作用。研究表明，深耕深度根据各地经验，土壤耕层越厚、越疏松，越有利于雨季贮水蓄墒，但也并不是越深越好。据试验测定，伏天机深耕的地块，耕作层土壤含水量比畜耕的提高 2.4%。

（二）深松耕技术

多年的耕作会在距地表 15 ~ 25cm 以下形成犁底层，犁底层密实，不透水、不透气，阻隔了耕作层和心土层之间水分的移动，使小麦的根系难于穿插发育，因而是小麦增产的一大障碍。机械深松技术可彻底打破犁底层并且不翻转土壤，不打乱耕作层，只对土壤起到松动作用，经过深松的土地，土壤疏松，深度可达到 25 ~ 35cm，空隙增大、容重减小，地表平整，土壤结构发生了新的变化，增加了水分的下渗速度，而不致出现地表径

流，从而大大提高了土壤的自然含水率和田间持水能力，增加了小麦抗旱能力。深松对保持土壤水分的作用：地面残茬减少了地面径流，土壤可接纳更多降水；研究表明（Borghai, 2008；吕美蓉, 2010；王小彬, 2003；侯贤清, 2009；毛红玲, 2010），深松耕作可疏松土壤，加深耕层，增加土壤的通透性，提高土壤蓄水量。深松有利于增加土壤蓄水保墒能力、减少土壤水分蒸发损失、提高水分有效性。付增光等研究表明深松耕可把 50% 的夏闲期降水最大限度地蓄积并保存于土壤之中。

（三）“四早三多”蓄水保墒耕作技术

北方易旱地区受季风的影响，有着明显的降水季节性。大约 60% 的自然降水集中分布在 7~9 月，此期为小麦休闲期。而旱地小麦需水量有 50% 左右依靠此期的土壤贮水，尤其用来满足生育中后期旱季对水分的需求，所谓“伏雨春用”就在于此。因此在 7~9 月雨季，尽可能地采取措施以最大限度地积蓄自然降水，就成为旱地小麦高产的潜力所在。围绕夏秋降水规律，我国农民在长期的生产实践中，积累了丰富的耕作保墒经验。这种耕作技术的核心，是解决好伏天水热同步、降水量高蒸发量也大的“蓄与保”之间的矛盾。

苗果园教授针对旱地小麦土、肥、水、根、苗的辩证关系，总结旱地麦田土壤水分循环与积耗规律的三大规律（旱地麦田土壤水分循环、旱地麦田土壤水分的垂直变化、旱作麦田土壤水分的季节变化），提出旱地小麦“四早三多”蓄水保墒技术（“四早”就是早灭茬，破土保墒，早深耕，纳雨贮深墒，早细犁，破垡活土匀墒，早带耙，立足秋旱收全墒；“三多”就是，多浅犁，多细犁，多耙地），此项技术为提高旱地小麦产量起到了重要作用，并在黄土高原旱地麦区主要推广。采用“四早三多”精细耕作可使播前 0~200cm 土层内多蓄水 20.3mm，蓄水量增加 10.5%，可使小麦的根量增加，可改善麦田产量结

构，增加产量。

二、保护性耕作技术的蓄水效应研究

土壤保护性耕作是一种以减轻水土流失和保护土壤与环境为主要目标，采用保护性种植制度和配套栽培技术形成的一套完整的农田保护性耕作技术体系，减少农田土壤侵蚀，保护农田生态环境，实现生态效益、经济效益及社会效益协调发展的可持续农业技术，包括免耕栽培技术、秸秆残茬利用技术和绿色覆盖技术等具体内容（章秀福，2006；吴崇友，2003；王长生，2004；何文清，2006）。我国传统农业中有很多保护性耕作经验，如东北地区垄作，西北地区沙田种植，华北地区铁茬播种等。周兴祥等人研究表明，保护性耕作体系中以免耕加 100% 覆盖的土壤含水率最高；江晓东（2005，2006，2008）等认为，灌溉获得小麦高产的同时，水分和土壤肥力对产量的影响并不严重，因此采用少耕特别是旋耕还田方式就可使土壤水分增加，最终提高了水分利用效率，而实施免耕覆盖处理不太理想。Syebold C A（2001）等研究表明采用免耕方式对土壤保护性较好，实施免耕覆盖处理后土壤的物理结构及化学性质均发生了改变，增加了土壤颗粒的孔隙，使水分更好的渗入土壤，最终提高了土壤水分；也有许多研究表明，免耕加上秸秆覆盖可以抑制水分蒸发，对蓄存土壤水分有明显作用（EJ. Mwendera，1994，1997；Robert. J. Lasenao，1994；信乃彦，1992）。许迪（1999）研究表明，在干旱年度，免耕处理提供了土壤的水分含量，增加了自然降水的渗入。赵聚宝（1992）和梅旭荣（1991）等研究认为，秸秆覆盖对土壤水分的蒸发最初起到重要作用，且增加了土壤的水分含量，可以为作物的生长提供充足的水分。也有研究表明，免耕处理较传统翻耕土壤的水分含量会增加 10%，而土壤的蒸发量减少 40%，自然降水利用效率提高 10%（张海林等，2002）。RS. Knawar

(1989) 研究结果认为, 实施免耕方式会增加土壤 0.9m 剖面水分。Lindwall 等 (1984) 在短期的试验结果表明, 免耕的作用应根据土壤的性质而定, 如在沙土地地上, 翻耕较免耕可使土壤的水分增加。Phillips (1980) 研究表明, 由于免耕改变了土壤的结构, 因此免耕下土壤的蒸发量也增加; 但如果免耕与秸秆覆盖结合后则可增加土壤的保水效果。Russel (1940) 认为, 秸秆覆盖对土壤保水有较好效果, 但它只有当保持较高的土壤表层水分时才会发挥作用, 才能抑制土壤水分的蒸发, 而如果面临较长时期干旱时, 免耕覆盖的作用就不明显了。毛红玲等 (2010) 在渭北旱塬麦田研究得出, 前茬小麦收获后立即实施深松及免耕处理较翻耕保墒作用好, 可增加 0~300cm 平均土壤含水率。Su 等 (2007) 研究表明, 在洛阳旱区夏闲期前茬小麦收获后进行免耕覆盖及深松覆盖较传统耕作可提高土壤的蓄水保墒能力, 提高水分利用效率。侯贤清等 (2011, 2012) 研究表明, 在宁南旱区夏闲期前茬小麦收获后进行深松及免耕的轮耕方式较传统耕作可有效改善麦田的土壤水分状况, 增加土壤蓄水量, 提高降水利用效率。

三、覆盖栽培技术的蓄水效应研究

在我国北方旱地农田, 50% 左右的水分通过蒸发损失。农田覆盖技术是在土壤表面设置一层覆盖物, 对土壤和近地面环境进行调控的技术, 能有效地抑制土壤水分蒸发, 延长水分在土壤水库中的集蓄时间, 是提高雨水资源利用率的有效途径之一 (陈万金, 1994; 姚健, 2009; 张建国 2009; 亢秀丽, 2010)。20 世纪 80 年代以来, 中国大量开展了覆盖试验研究工作, 几乎遍及所有作物, 特别是在玉米、小麦两大作物上进行了系统、广泛的研究 (J W Davies, 1975; Unger P W, 1978; 赵聚宝; 1996; 靳森林, 1996; Revess D W, 1997; 黄战斌, 2000; 赵海祯,

2002; 党廷辉, 2008; 张建国, 2005; 姚健, 2009; 卜玉山, 2010; 梁美英, 2010)。地表覆盖通过在地表设置一层不透气的膜或通透结构不同的层, 改变了土壤表面与大气的接触, 达到阻止或改变土壤水分的垂直蒸发, 促进水分横向运移的目的, 它可有效保蓄土壤水分, 减少蒸发, 协调作物生长用水、需水矛盾, 并且可促进深层水分的利用 (UCER P W., 1976; TOLK JA, 1999; 张德奇, 2005)。地膜覆盖作用, 一是通过地膜的物理阻隔作用, 减少土壤水分蒸发损耗, 使土壤较长时间保持较高的水分含量。二是能有效提高土壤温度, 加快作物生长。三是有利于土壤微生物活动, 加速有机质矿化分解, 使土壤速效养分含量增加。四是垄作覆膜可把无效雨通过地膜表面聚集于未覆膜的裸露地面的微积雨区, 变无效雨为有效雨。我国自 1979 年开始引进地膜覆盖栽培技术后, 由于其显著的增产作用得到了大面积的推广。截至 1997 年地膜使用面积每年超过 1 亿亩 (15 亩 = 1 公顷。全书同), 累计推广面积达 6.33 亿亩, 使我国成为世界上最大的地膜生产国和使用国。地膜覆盖技术引入我国之后发展迅速, 相继在经济作物和粮食作物上推广应用, 尤其在地膜小麦上取得了较大的成功, 韩思明 (2002) 研究表明, 冬前 0 ~ 20cm、20 ~ 50cm 土壤含水量, 地膜小麦较露地小麦分别高 2.3% 和 2.0%; 拔节期分别高 2.1% 和 1.2%, 即使到收获期, 2m 土体含水量地膜小麦仍较露地小麦高 0.9%。山西农业科学院在浮山试验, 地膜小麦各个时期的耗水量明显高于露地小麦, 同时能有效利用土壤深层水, 因而小麦生长繁茂。甘肃、山西、陕西省相继研究了覆膜穴播、垄盖膜际精播、旱地全程微型聚水二元覆盖栽培技术。熊春蓉 (2001) 等研究表明, 小麦全生育期, 膜侧沟播 0 ~ 150cm 土体含水量平均较露地条播提高 4%, 达到 13.1mm, 水分利用率提高 3.6 ~ 3.9kg/(mm · hm²), 产量提高 43.4% ~ 53.8%, 显著地提高了有限降水利用效率。覆膜穴播种植技术有

较好的增温效果和保墒效果，增加有效的作物生育期积温，研究表明，覆膜穴播冬小麦春季积温增加 $68 \sim 105^{\circ}\text{C}$ （张睿，2001）。此项技术适用于两季不足、一季有余的干旱地区和一些高寒旱区，可以提高复种指数和水分利用效率，变无效的裸间蒸发为有效的作物蒸腾，在小麦、玉米、棉花、谷子等作物应用。其中甘肃省农科院，1991 年正式提出了小麦全生育期地膜覆盖穴播栽培技术。随后，配套机械的研制使小麦穴播技术得到推广，同时穴播技术也开始在其他作物上得以应用，机械播种时需注意排种口的堵塞造成断苗、缺苗，但该技术在中应用中应视底墒情况而定，且不利于生育期间降水的入渗，对下茬作物影响大。垄盖膜际种植技术具有较好的蓄水、集水效果。通过田间微集水种植技术，可以将小雨变大雨，无效降水变有效降水，提高水分利用效率。而且，也能够使肥料集中使用，农田水土流失也得到控制，该技术近年在陕、甘、宁等地区大面积推广（刘正辉，2001），在干旱地区，玉米、小麦集流增墒技术比较成功，增产效果显著。对于玉米，在干旱冷凉地区，应采取膜内种植，以满足生育期积温，但降水利用效率不如膜侧种植（郭四拜，1999）。赵聚宝在山西寿阳的试验表明，微集水保墒技术有调控农田蒸散量的作用，并有明显的增产作用，且旱年更为显著，达到 59.3%，一般年份增产 26.3% ~ 28.1%（赵聚宝，1996）。熊春蓉（2001）在甘肃定西对春小麦的试验研究表明，在整个生育期，实施膜侧沟播技术可明显提高土壤水分含量，在不同土层的土壤含水量有较大的调控作用，其中膜侧沟播较露地条播可平均提高 0 ~ 150cm 土体含水量 13.1mm，提高率达到 4%，最终显著地提高了水分利用效率。

全程微型聚水二元覆盖技术是西北农林科技大学韩思明教授及其他工作人员在陕西乾县试验站多年实践研究提出的一项综合增产技术，其优点是将夏闲期自然降水最大限度地蓄积在土壤之

中,协调土壤水肥的释放和保持,节水保墒效果突出。该技术主要应用于冬小麦栽培,对整地要求质量高,垄上穴播、沟内条播,增产效果明显。试验表明,较大田栽培增产 40.4%,水分利用效率达到 $17.0\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ (廖允成, 2003),形成了旱地周年覆盖集水保墒的高效栽培技术体系。当前生产中覆膜穴播和垄盖膜际种植技术模式应用面积较大,全程微型聚水二元覆盖技术模式主要应用于陕西渭北旱塬。另外,根据旱区的降水条件和地形地势并结合生产的实际,也有许多新的种植模式,如阶段性覆膜、全生育期覆膜等,主要由前两种模式变化而来,最终目的是为了充分利用降水,保蓄土壤水分,提高水分利用效率。目前,地膜覆盖技术在我国干旱半干旱地区作为农业增产技术的一项重要措施,已经在各地区得到了广泛应用;并对地膜覆盖的生态效应、植物生理生态、耕层土壤效应、水肥利用、蓄水保土效应等方面进行了研究,得出了地膜覆盖的生产应用规律,逐渐形成了较完善的耕作栽培制度。

第二节 旱地小麦蓄水保墒技术对小麦生长发育特性的影响

一、耕作技术对小麦生长发育特性的影响

光合作用的最终积累形式是干物质,是形成产量的物质基础,特别是以开花后干物质的累积更为重要(李朝霞等, 2002)。小麦开花后积累的干物质主要是用于籽粒形成和灌浆,有利于增加粒重和穗粒数(胡延吉等, 1999)。江晓东等(2006)研究认为,耕作方式对小麦的叶片水分利用效率具有显著的调控作用,不同耕作方式可以影响小麦光合作用和干物质生产所需要的热、水、肥

等条件,导致干物质积累明显不同(高聚林等,2003)。黄明等(2009)研究认为免耕和深松为冬小麦花后生长发育提供了良好的环境,延缓了小麦叶片衰老,促进了花后干物质积累及干物质向籽粒的转运。深松技术可促进小麦分蘖,叶面积和光合产量的积累量也较高(逢焕成等,1989)。秸秆覆盖可促进作物地上部各器官干物质的积累(赵燮京等,2003;朱自玺等,2003),秸秆覆盖量的不同,对春小麦灌浆期间干物质积累量的影响不同,高、低的秸秆覆盖量分别比常规耕作高16.1%和9.8%(陈乐梅,2006)。免耕秸秆覆盖可促进更多光合产量的积累,运输到小麦籽粒中,最终提高了产量。张睿等(1998)研究表明,麦草覆盖增加了光合作用,促进了小麦地上部分各器官干物质的积累,提高了穗粒数、穗数和千粒重,提高了产量。孟凡德(2006)等研究表明秸秆还田、免耕不覆盖和免耕覆盖较传统耕作可提高干物质积累量和籽粒形成阶段的干物质增加速率。

李友军等(2006)和黄明等(2009)研究表明,保护性耕作提高了土壤养分含量,提高了土壤水分贮蓄和利用能力,为小麦生长发育提供了良好的水肥条件,有利于提高小麦灌浆中后期旗叶净光合速率和叶绿素含量,通过改善耕作层土壤水肥状况,延缓植株衰老,改善叶片光合特性,有利于产量形成。免耕覆盖有利于光合产物的合成,可提高小麦籽粒灌浆速度,延长灌浆时间和花后同化物向籽粒的转运,并影响光合产物在各器官中的分配比例,使籽粒占总干物质的百分率提高(孟凡德等,2006)。黄明等(2006)的研究结果表明,深松覆盖提高了小麦生育后期叶面积指数和干物质积累量,提高了灌浆中后期的籽粒灌浆速率,有利于小麦粒重增加。植物的叶片水分利用效率用光合速率和蒸腾速率之比表示(上官周平等,1998;杜太生等,2007)。李友军等(2006)研究表明,旱作条件下进行少、免耕有利于旗叶在生育后期保持较高的光合速率。在土壤含水量较少时,垄