

JIEGAN CANCHA FUGAI DUI NONGTIAN TURANG SHUIRE XIAOYING HE
QINSHI DE YINGXIANG YANJIU

秸秆残茬覆盖对农田土壤水热效应和 侵蚀的影响研究

王丽学 熊守纯 刘丹 张欢 苏玲 著



黄河水利出版社



秸秆残茬覆盖对农田土壤 水热效应和侵蚀的影响研究

王丽学 熊守纯 刘丹 张欢 苏玲 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

秸秆残茬覆盖对农田土壤水热效应和侵蚀的影响研究/王丽学等著. —郑州:黄河水利出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0663 - 1

I. ①秸… II. ①王… III. ①秸秆 - 影响 - 保墒 - 研究
IV. ①S157.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 306083 号

策划编辑:李洪良

电话:0371 - 66026352

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:4

字数:101 千字

印数:1—1 000

版次:2013 年 12 月第 1 版

印次:2013 年 12 月第 1 次印刷

定价:18.00 元

前 言

玉米是我国的主要粮食作物之一。东北地区为玉米主产区，在该地区玉米的种植以雨养为主，尤其近年来生态环境的恶化，以及年内降水的分配不均，使得玉米在不同的生长期容易出现春旱的情况。该地区常年干旱少雨，土地贫瘠化，水土流失问题严重。水蚀、风蚀严重影响了该地区的农业生产，致使大量的养分和水分流失，造成了土壤的干燥，形成了旱灾，是一种比较缓慢的农业灾害。19 世纪末兴起的保护性耕作技术，以秸秆残茬覆盖和少耕免耕为主要处理措施，具有提高土壤蓄水保水能力的作用，也是一项很好的防治土壤风蚀、水蚀的耕作措施，在全球各地区引起了广泛的重视。我国也有很多相关的研究，但是限于作物种类和生长地区气候的差异，同样的处理措施会有不同的结论。因此，研究适用于不同地区的秸秆残茬覆盖方式是目前急需解决的问题。

本书以沈阳地区为例，结合教育部留学回国人员科研启动基金课题“秸秆残茬覆盖耕作蓄水保墒保土机理的研究”（教外司留〔2010〕1174 号），探讨秸秆残茬覆盖对该地区雨养玉米土壤水热效应和风水侵蚀的影响。本研究以传统耕作为对照，共设浅松秸秆覆盖、留茬 5 cm 不覆盖、留茬 5 cm 条带覆盖、留茬 5 cm 全覆盖、压实秸秆覆盖等 5 种耕作模式，通过对不同耕作模式下农田水分、温度、作物生长指标、风蚀量、水蚀量等效应的研究，揭示了不同耕作模式对土壤水热及风蚀、水蚀所产生的防控效果。主要研究结果如下：

(1) 在一年内,尤其在休闲期内和降大雨时,由于秸秆覆盖有利于降水的入渗,同时对地表的蒸发有很大的限制作用,秸秆残茬覆盖方式可以提高土壤的含水率。秸秆残茬覆盖对小量降水时的土壤水分吸收不利,而对降大雨时的水分入渗有利。秸秆覆盖能够抑制水分的蒸发,并且地表覆盖越密实对水分蒸发的影响越大。

(2) 秸秆残茬覆盖方式对作物的耗水量的影响为:在苗期、拔节期、抽穗期和灌浆期内始终是 CJG 的耗水量与 DZ 的差距最大,尤其在抽穗期内, CJG 的耗水量达到了 30.73 mm,占 DZ 耗水量的 39%;在成熟期内只有 QSG 的耗水量比 DZ 的大,其他处理均小于 DZ。总体来说,在降低作物耗水量方面 CJG 和 YG 的效果好,并且各种处理均能降低作物的耗水量。

(3) 0~25 cm 范围内的地温整体上苗期整根秸秆和残茬覆盖均不利于地温的升高,而少耕和碎秸秆覆盖对地温升高有利。在作物的整个生长期,所有处理都使地温降低。不同秸秆残茬覆盖方式均使地温偏低,并且随着深度的增大,降温的幅度先减小后增大。总之,各覆盖模式对土壤表层的影响比较大,对土壤深层的影响并不明显。

(4) 在保护性耕作条件下不同覆盖模式地表的土壤潜在可风蚀性是有差异的,土壤的结构和颗粒组成直接影响着土壤的潜在可风蚀性。不同的覆盖模式具有不同的地表含水率、地表粗糙度,与传统耕作相比,保护性耕作至少可以增加地表含水率 37%,增加地表粗糙度 49%。秸秆覆盖对减少土壤风蚀量有很大的作用,可以减少土壤风蚀量至少 23.5%,其中以免耕和秸秆覆盖相结合的留茬 5 cm 全覆盖的抗风蚀效果为最佳,在只有免耕而没有覆盖的情况下并不能绝对地达到防风效果。

(5) 免耕和秸秆覆盖都能减少含沙量,但是免耕不覆盖的

径流量较多，免耕覆盖的径流量较少。秸秆覆盖在防治径流方面的效果最好，这是因为降雨在一定程度内会由于秸秆和垄沟的存在而不产生径流，即使产生了径流，也会因为秸秆的阻挡使含沙量和径流量都较低。

(6) 秸秆覆盖能有效地提高土壤中有机质和其他养分的含量，对肥料的保持作用是最强的，其他的保护性耕作措施对不同的养分具有不同的保持效果。在不同覆盖模式下，土壤中养分与水分的含量的相关性不大且相关性也不同，也就是说，土壤中养分和水分的含量并不是严格地同步增长或者同步降低，单纯地增加土壤的含水率并不一定能增加土壤中的养分含量。

(7) 保护性耕作措施对玉米出苗率的影响方面：少耕效果优于免耕效果，免耕效果优于压实效果；出苗方面最好的处理是 QSG。秸秆残茬覆盖对作物 LAI 的影响方面：不同处理的 LAI 为 $QSG > DZ > CG > TG > CJG > YG$ ；尤其是 QSG，与 DZ 的 LAI 的最大差值能够达到 0.5，是 DZ 的 LAI 最大值的 12% 左右。所以，QSG 处理对 LAI 的提高有利。

(8) 通过分析可以看出水分生产效率由高到低依次为 TG、QSG、CG、DZ、CJG 和 YG。TG 和 CG 两种处理的产量虽然低于 DZ 的，但是它们的耗水量也低于 DZ 的，计算得出这两种处理的 WUE 超过了 DZ 的。同时表明，秸秆残茬覆盖方式虽然对产量产生了影响，但是由于其在作物生长期内能够提高土壤保持水分的能力，使土壤含水率变化缓慢，因此提升了土壤的水分生产利用率。

本书的研究结果将为今后保护性耕作相关方面的进一步深入研究与应用提供基础、经验和借鉴，同时也将对保护珍贵的东北辽河平原地区的土壤资源、发展该地区的工农业生产以及商品粮基地的建设提供保证。我们要推广保护性耕作的优势，对在保护

性耕作条件下防治农田土壤侵蚀的影响进行试验研究，这对发展旱作农业、提高土地生产力和农业抵御旱灾能力、降低土壤侵蚀等都具有重要的理论意义和实用价值。

由于时间仓促和作者水平有限，本书内容不足之处在所难免，恳请读者提出批评和意见。

作 者

2013 年 10 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 课题来源	(1)
1.2 研究目的及意义	(1)
1.3 国内外研究进展及现状	(3)
1.4 研究的内容、方法和技术路线	(18)
第2章 试验设计与项目测定方法	(21)
2.1 试验区概况	(21)
2.2 试验设计	(21)
2.3 测定项目及方法	(23)
2.4 数据分析方法	(26)
第3章 秸秆残茬覆盖对土壤水热效应的影响分析	(27)
3.1 不同秸秆残茬覆盖方式对土壤含水率的影响 ...	(27)
3.2 不同秸秆残茬覆盖方式对棵间蒸发的影响	(40)
3.3 不同秸秆残茬覆盖方式对地温的影响	(46)
第4章 保护性耕作措施对土壤风蚀的影响研究	(55)
4.1 保护性耕作措施对表层土壤含水率的影响	(55)
4.2 保护性耕作措施对土壤养分含量的影响	(57)
4.3 保护性耕作措施对土壤风蚀量的影响	(59)
4.4 土壤结构和颗粒组成对潜在可风蚀性的影响 ...	(60)
4.5 覆盖量对风蚀量与粗糙度的影响	(63)
4.6 表层含水率、风速对风蚀率的影响	(64)

4.7	人为因素对土壤风蚀的影响	(68)
第5章	保护性耕作措施对土壤水蚀的影响研究	(69)
5.1	不同覆盖模式下地温随土壤深度变化和温度 日变化分析	(69)
5.2	不同覆盖模式下土壤水分与土壤紧实度的 变化分析	(72)
5.3	不同覆盖模式下径流分析	(78)
5.4	不同覆盖模式下土壤养分效应分析	(82)
第6章	秸秆残茬覆盖对玉米生长性状及产量的影响 分析	(86)
6.1	不同秸秆残茬覆盖方式对玉米生长性状的影响...	(86)
6.2	不同秸秆残茬覆盖方式对产量构成的影响	(96)
6.3	不同秸秆残茬覆盖方式的水分利用效率分析 ...	(100)
第7章	结论与建议	(102)
7.1	结 论	(102)
7.2	建 议	(105)
参考文献		(107)

第1章 绪论

1.1 课题来源

本书内容来源于教育部留学回国人员科研启动基金课题“秸秆残茬覆盖耕作蓄水保墒保土机理的研究”（教外司留〔2010〕1174号）。

1.2 研究目的及意义

水是生命之源，土是生存之本，水和土壤是人类赖以生存的物质基础，也是人类生存最基本的构成要素。随着社会经济的发展，各国水资源方面的问题也越来越突出。尤其在我国，由于人均水资源占有量本身就很低，加之水资源的浪费、污染以及低利用率，因此水资源的供需矛盾更加突出。我国是一个干旱半干旱地区面积比较大的国家，水土流失问题极其严重。严重的土壤侵蚀不仅会降低土地生产力和土壤肥力，而且会减弱土壤的蓄水保土能力，降低可持续生产能力，使生态环境陷入恶性循环的状态，还会导致扬沙、沙尘暴等天气灾害，从而影响国家在农业方面的可持续发展。

以增加地表粗糙度来拦截降水、减少土壤水分蒸发，达到保水保土、稳产增产目的的耕作方式是目前提高水资源利用效率的主要农艺措施，也是现在社会流行的保护性耕作。保护性耕作概

括来说就是：秸秆覆盖、免耕播种、以松代翻、化学除草。其关键技术内容可概括为：少耕、免耕、覆盖和深松。

农业的可持续发展，是社会经济可持续发展的基础，而保护性耕作技术是农业可持续发展的重要技术方法。保护性耕作技术的宗旨就是在保护环境、提高环境质量、实现农业可持续发展的前提下，最有效地利用和节省水资源。在关于保护性耕作的大量研究中显示，保护性耕作能有效增加土壤蓄水保墒能力、降低土壤水分损失、提高水分利用效率。保护性耕作与利用水利灌溉设施来帮助农业稳产增产相比较，具有投入低、方式灵活、适应性强等特点。同时，由于保护性耕作技术可以减少环境污染，提高粮食产量，所以大范围地实施保护性耕作是为实现现代农业生产可持续发展应采取的主要方式。

保护性耕作技术是一项农业节水抗旱护土措施，即通过对农田实行少耕、免耕，尽可能用作物残茬、秸秆覆盖地表，以减少土壤风蚀、水蚀，从而提高土壤肥力和抗旱能力的先进耕作技术，同时它也是防治土壤侵蚀的一种最常用而且最有效的保护措施。

本书针对东北辽河平原雨养作物种植区域的特点，在该地区实施保护性耕作技术，采用不同的覆盖耕作模式，得出能够防治土壤侵蚀、提高作物产量的最有效的覆盖耕作模式。本书的研究结果将为今后保护性耕作相关方面的进一步深入研究与应用提供基础、经验和借鉴，同时也将对保护珍贵的东北辽河平原地区的土壤资源、发展该地区的工农业生产以及商品粮基地的建设提供保证。我们要推广保护性耕作的优势，对在保护性耕作条件下防治农田土壤侵蚀的影响进行试验研究，这对发展旱作农业、提高土地生产力和农业抵御旱灾能力、降低土壤侵蚀等都具有重要的理论意义和实用价值。

1.3 国内外研究进展及现状

1.3.1 保护性耕作研究的发展

1.3.1.1 国外保护性耕作研究的发展

保护性耕作的研究最早起源于美国。在19世纪后期到20世纪初期的一段时间里,美国开始进行大范围的农业耕种来满足生产生活的需要。到了20世纪30年代中期,一场“黑风暴”给当时的农业生产和人们的生活带来了很大的影响。从那时开始,人们开始分析为什么会有沙尘暴产生,以及用什么办法可以避免。通过分析总结出传统耕作翻耕、耙压步骤对土壤结构的破坏和不利于水分的保持等问题,开创性地提出了以保水保土为目标的免耕法。之后加拿大、苏联和澳大利亚等国也开始了关于提高旱地农业生产力和改善生态环境相结合的免耕法的研究,直到20世纪70年代,才总结出相对成熟的“保护性耕作”模式。

有关统计数据显示,1965年美国应用免耕法的耕地面积占全国总耕地面积的1/54,1977年占到1/7,2002年达到1/2以上,以至于保护性耕作技术不仅在玉米耕作时使用,小麦、大豆、棉花、高粱和蔬菜的种植也开始广泛采用保护性耕作技术。

澳大利亚从20世纪40年代以来,为了减少机械耕作反复碾压对土壤结构的破坏,开始重视减少土壤失墒和农业生产的研究;70年代后,在北部半干旱地区试验成功了节水农作制度,从而充分地利用了自然降水,为免耕法的应用与推广铺平了道路。20世纪50年代初,苏联提出马尔采夫无壁犁耕作法;60年代中期在哈萨克斯坦和西伯利亚地区,采取以宽型铲深松犁代替传统的耕翻法,以维持和提高耕层中的水稳性团聚体含量,尽量

保留根茬和植物残体,以达到蓄水保墒的目的。巴西从 20 世纪 60 年代开始试验研究保护性耕作技术,最初只是在一些大农场内实施,后来到了 2005 年,已有约 56% 的耕地采用保护性耕作技术。2001 年 10 月初,联合国粮农组织 (FAO) 与欧洲保护性农业联合会在西班牙召开了第一届世界保护性农业大会,标志着保护性耕作在世界范围内得到广泛重视。

2005 年 FAO 的数据显示,世界上约有 1/3 的旱地实施了保护性耕作,巴拉圭的 52% 和阿根廷的 32% 开垦地也实施了免耕,英国、法国、德国、意大利、葡萄牙和西班牙成立了欧洲保护性耕作联盟。有些国家如日本、菲律宾等以立法的形式来推进保护性耕作技术的实施。这些都对保护性耕作的发展起到了促进作用。

1.3.1.2 国内保护性耕作研究的发展

我国的保护性耕作研究开始于 20 世纪 70 年代末期,由当时的北京农业大学首先引进免耕技术的试验研究。在南方地区,关于保护性耕作方面的研究最早是在西南地区的水田开展的。为了改善水田的土壤理化性质,达到增产增收的目的,在该地区实施了变传统平作为垄作的耕作方式,实现了一种半干旱式的少耕法。在北方地区,黑龙江省最先开始相关的研究,并取得了一定的成果。从 80 年代初期开始,国家科技部等部门在旱地农业攻关项目、黄土高原综合治理项目、西部专项等方面,加入了有关农田少耕、免耕、覆盖耕作、草田轮作、沟垄种植等方面的研究,并取得了一定成效。1991 年引进了澳大利亚的保护性耕作方法,并在山西省布点试验。1992 年,中国农业大学和山西省农机局受澳大利亚国际农业研究中心资助,在山西省开展了以旱地保护性耕作体系为主的“旱地农业持续机械化生产体系研究”。据不完全统计,我国 20 世纪 90 年代初期以来,各类保护性耕作技术应用面积达 2 000 万 hm^2 。

从2003年开始,农业部为了有计划地在北方地区实施保护性耕作的推广,同时为了迎接2008年的北京奥运会,决定利用保护性耕作的保水保土作用,首先在京津地区形成保护性耕作带,来预防沙尘天气,缓解水资源短缺问题,净化北京地区的空气。然后再依次向外扩展,形成更大的保护性耕作区,希望在未来十年左右的时间内能够缓解北方旱区生态环境恶化的状况。为了使计划能够顺利地进行,关于保护性耕作的研究就在北方旱区大规模地开展,主要在山西、甘肃、河北和辽宁等地。

为了掌握保护性耕作在中国的适应情况,以及有力促进保护性耕作的推广,各方面专家进行了大量的研究。E. Z. Nyakatawa (2007)应用RUSLE2.0模型对长期采用保护性耕作模式的棉花种植地区内土壤侵蚀量进行分析和预测,得出免耕覆盖可以有效减少土壤侵蚀并提高棉花产量的结论,其中免耕措施对防治土壤侵蚀效果较为显著。杜建涛等(2008)通过两年的田间试验,用DSSAT模型对免耕覆盖、秸秆还田和浅旋耕处理的土壤体积含水率数据进行了模拟和检验,试验结果表明,保护性耕作在干旱年份具有保持水分的作用,并且免耕覆盖措施具有提高水分利用效率的效果。谢瑞芝等(2008)通过分析当时已有的文献资料,研究保护性耕作在中国的实施效果:在东北地区主要进行的是以少耕为主的保护性耕作,免耕集中在长江中下游和东南地区,秸秆处理和综合措施在西北地区居多,并且研究多集中在作物高产方面。练宏斌等(2009)研究了秸秆和地膜覆盖以及免耕技术对旱地春小麦光合作用的影响,结果显示,不同耕作措施下的光合速率在乳熟期内与传统耕作存在差异,平均光合速率相比对照也有不同程度的提高,但是除免耕措施外,其他处理的水分利用效率都低于对照,其原因为覆盖影响地表温度变化,地温再间接对其产生作用。魏永霞等(2009)在甘南县进行了不同

保护性耕作技术对大豆的光合特性等影响的研究,结果表明,免耕秸秆覆盖、少耕、垄向区田和行间覆膜技术对大豆生长的相关因素具有促进作用。李成有等(2010)在陇中黄土高原丘陵区进行了定位试验,结果显示,免耕秸秆覆盖处理能提高春小麦和豌豆生育期内叶水势的平均值和土壤的含水率,同时免耕秸秆覆盖、免耕不覆盖、传统耕作秸秆还田各个处理下叶水势与土壤含水量之间达到极显著水平。可见,关于保护性耕作的研究已经延伸到全国各个地区,同时也涉及了不同的作物种类。

1.3.2 保护性耕作蓄水保墒的相关研究

1.3.2.1 保护性耕作蓄水保墒研究

随着全球气候变暖、干旱加剧和水土流失现象的加重,很多国家加大了对保护性耕作蓄水保墒方面研究的投入。从20世纪80年代以来,保护性耕作蓄水保墒方面研究及其运用已有了空前的发展。Arshad(1998)、Sharraf(1996)发现免耕处理的土壤表层通常含水量较高,其在一定条件下可以储蓄更多水分。Ronald指出免耕覆盖减少了土壤的无效蒸发,而当地表完全被作物覆盖时,其差异变小,免耕系统的土壤含水量比传统耕作条件下的高。Unger发现对于相当紧实的土壤或致密土壤而言,深松打破犁地层,能促进水分入渗,提高水分利用效率和作物产量。J. T. Waddell(1996)采用田间模拟降雨试验,发现免耕、带状耕作与传统耕作相比可以减少径流量和增加降雨的入渗率,其中对应的产生径流时间比传统耕作晚19.1 min;同时,它还降低了土壤容重,增加了土壤的空隙度,并且增加了玉米的产量,入渗率也有不同程度的增加。Mohammad A. Hares(1992)、H. P. Cresswell(1993)、R. H. Azooz(1996)、M. A. Arshad(1998)、G. V. Wilson(1998)、K. R. Olson(2004)等对不同田

间工程措施对土壤特性、土壤的水力特性、作物产量及降水入渗的影响也进行了大量研究。

国内的学者在保护性耕作蓄水保墒方面的研究也开展了很多。隋淑霞等(2002)通过对几种不同的保护性耕作措施的研究得出,保护性耕作提高了土壤的蓄水能力,减小了对作物生长的影响,能够促进作物的成熟。马兴旺等(2005)通过研究得出,从覆盖度、水分损失情况和水分利用效率方面与传统耕作比较,保护性耕作能有效增加土壤蓄水保墒能力,降低土壤水分损失,提高水分利用效率。黄高宝等(2006)于试验区进行的春小麦-豌豆双序列轮作保护性耕作研究表明,保护性耕作可以显著改善200 cm内土壤的蓄水量,并且随着降水量的增多,土壤对降水的保蓄能力增强。尤其在降水比较少的年份,免耕覆盖显现出更加突出的蓄水保墒效果;在降水充沛的年份,免耕地膜覆盖则显现出了保墒保土优势。马春梅等(2006)的试验研究结果表明,保护性耕作通过秸秆覆盖,可以减少阳光直射以及风力的吹拂而造成的无效水分蒸发,避免雨水直接拍击地表形成结壳板结,造成水分形成径流而损失,通过保持与阻止相结合的作用增加土壤的蓄水量。李素娟等(2007)的试验研究结果表明,在180 cm内的土层中,免耕的含水量和储水量均高于翻耕,但是随着土层深度的加大,含水量的差异性减小,同时证明秸秆还田的储水量高于无秸秆处理。王建政(2007)的试验研究结果表明,覆盖、免耕和深松技术可以减少地表径流和水分蒸发,同时可以提高50 cm内的土壤含水量以及小麦的产量和水分利用效率,从而证明保护性耕作的个别措施是可以在北方旱区进行的,还可以起到控制水土流失、提高水分生产效率的作用。唐涛等(2008)用人工降雨试验分析不同秸秆覆盖量对土壤水分的入渗量、径流的产生时间和水土流失量的影响,结果表明,覆盖量达

到一定程度后可以降低土壤侵蚀量, 延长径流产生时间, 提高土壤水分入渗量。党廷辉等(2008)通过田间试验研究得出, 地膜覆盖和秸秆覆盖的不同组合形式对旱地冬小麦的产量和土壤剖面含水率之间的影响有差异, 地膜秸秆的双元覆盖模式比对照均有提高, 说明覆盖对冬小麦的生长具有有利影响。王小华(2009)利用模型模拟和预测不同耕作深度的土壤含水率, 结果显示, 土壤含水量模型比回归分布滞后模型的精度要高, 并且土壤含水量模型很简洁。通过对试验中土壤的理化性质方面的数据进行分析得出, 免耕或者秸秆覆盖措施都能够降低土壤容重, 并且提高 100 cm 内土层含水量及土壤养分含量。马晓丽等(2010)的两年试验研究表明, 在小麦的播种到抽穗期内, 秸秆还田对 80 cm 内土层的含水量有提高作用, 并且在一定范围内含水量随还田量的增加而增加, 还田量为 $9\ 000\text{ kg/hm}^2$ 处理的储水量与对照比较, 在 0 ~ 80 cm 和 80 ~ 200 cm 范围内分别在差异性 0.05 水平和 0.01 水平下显著; 总体来说, 从还田量 $6\ 000\text{ kg/hm}^2$ 开始对储水量具有增加效果, 直到还田量为 $9\ 000\text{ kg/hm}^2$ 时具有显著性差异; 说明秸秆还田具有蓄水保墒的作用, 同时还可以显著地提高作物的产量和水分利用效率。雪合拉提(2010)利用免耕、浅松、少耕和覆盖几种保护性耕作措施来分析保护性耕作对一年两熟冬小麦-夏玉米耕作体系的影响, 试验表明, 几种措施都能提高产量和土壤含水率, 但是对地温有降低的作用, 综合结论为免耕覆盖较适合在库车地区应用。毛红玲等(2010)通过采用不同保护性耕作方式与不同施肥措施的多种组合处理来研究保护性耕作对冬小麦生育期土壤与作物指标的影响, 结果显示, 在保墒方面免耕和深松的含水率和平均储水量均有提高, 并且处理间效果有差异; 在生产效益方面以平衡施肥免耕处理为最高; 综合考虑各种因素以平衡施肥深松处理为最佳。武海霞与耿