

封丘地区粮食生产水分利用效率 历史演变及其潜力分析*

徐富安 赵炳梓

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 通过对封丘县历年粮食产量、降水量、引黄灌溉水量、地下水补给量等资料计算,初步估算出封丘地区粮食生产水分利用效率。研究表明,几十年来由于技术进步,本地区粮食生产水分利用效率由 2.25 逐步上升到 $9.00 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 左右。兴修水利、土壤改良、新品种的推广,尤其是 N、P 化肥用量的增加,对水分利用效率的增加起了决定性的作用。作者认为提高肥料用量(特别在秋粮生产上),对进一步提高水分利用率仍有一定作用。随着社会经济水平的提高,覆膜、滴灌等先进技术应稳步地示范推广。

关键词 封丘县,水分利用效率,历史变迁与潜力

中图分类号 S152.7

实施节水农业,其实质在于提高单位水量的农产品产出量,也即提高水分的利用效率。分析典型地区农业生产发展过程中,水分利用效率的演变历程,对了解本地区水分利用效率的现状及其潜力,研讨进一步提高水分利用效率的途径是有益的。本文将根据中科院封丘试验站长期研究过程中积累的数据及当地水利、水文、农业、气象等部门的历史资料对封丘县几十年来粮食产量、农田耗水量及水分利用效率变化及其影响因素,以及进一步提高水分利用效率的途径、措施进行分析。为实施农业节水提供理论依据和对策。

1 封丘地区水分利用效率的变化及其影响因素

河南封丘县位于黄淮海平原中部,黄河北岸。多年平均降雨量 605mm,蒸发量 1713mm,年平均日照时数 2310h,无霜期 220d。地下水位通常在 2~4m。种植制度为一年二熟,即小麦 玉米或小麦 棉花等。该县无论在土地利用及产量水平在黄淮海平原均具有代表性。

1.1 粮食生产发展状况

据封丘县历史资料(见图1)⁽¹⁾,1949年全年粮食总产为38835t。平均产量 487.5 kg hm^{-2} 。

* 中国科学院九五重大项目(No. KZ951-A1-301)和院九五特别支持项目 KZ95T-04-01 共同支持。并得到国家重大基金(编号 49890330)资助

(1) 封丘县统计局:1949~1996 封丘县经济统计资料

收稿日期:1999-11-27;收到修改稿日期:2000-01-11

1950~ 1959年全县年粮食总产平均为 81 762t, 平均产量 1 104kg hm⁻²。然而, 从 1958~ 1960年, 在未重视农田排水条件下, 大面积引黄灌溉, 引发严重的次生盐渍化问题^[1-3]。封丘县所在的天然文岩渠流域, 1957年盐碱地面积为 47 533hm², 1961年发展到 100 667hm²。粮食生产遭受严重挫折^[4]。1960~ 1964年, 全县年平均粮食总产量为 42 157t, 平均单产仅 541.5kg hm⁻²。其中 1963年粮食总产仅 32 395t, 比 1949年还低 16.6%。

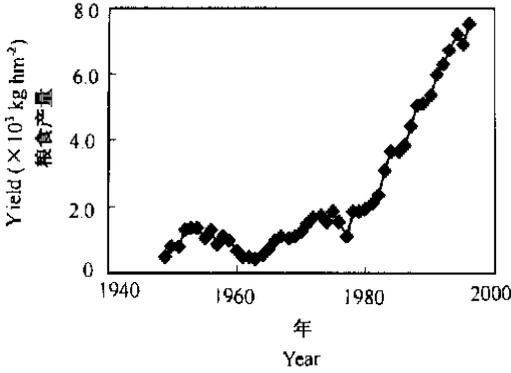


图 1 封丘县历年粮食产量演变
Fig. 1 Crop yield distribution over the years in Fengqiu county

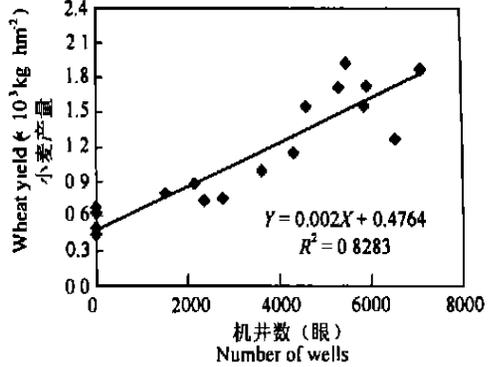


图 2 封丘县 1960~ 1978 年机井发展与小麦产量的关系
Fig. 2 Correlation between the number of wells and wheat yield in the period of 1960 to 1978

1965年以后, 发展机井灌溉, 在注意控制地下水位, 实施引黄补源等措施, 粮食生产获得了恢复和发展^[2,5]。从 1965年至 1969年全县粮食平均年总产为 78 776t, 接近五十年代生产水平。图 2 显示了 1960年至 1978年机井发展与小麦产量的关系。粮食产量随机井的发展而上升 ($Y = 0.00187X + 0.4764, R^2 = 0.8283$)。而机井的发展实际上是与盐碱地的治理平行进展的^[1]。

然而, 直到 1982年, 粮食单产没有超过 3 000kg hm⁻²。而粮食生产的较快发展是从八十年代初开始的^[6,7]。七十年代末以来, 化肥用量逐年增加, 粮食产量随之迅速增加。粮食总产量从 1980年的 14.3 万 t 上升到 1996年的 41.89 万 t, 增加了近二倍。从图 3 统计资料可以看出, 粮食单产随施肥量的增加而显著增加, 其相关系数 $R^2 = 0.9344$ ($Y = 0.00667X + 1.343$), 相关极显著。

前述资料表明, 低产地的改良, 消除盐碱、涝洼, 风砂等障碍因子, 必须与施肥相结合, 粮食产量才能明显提高。因为本地区的低产因素往往由多重因素所决定。不仅盐碱、涝洼、风砂等诸多障碍因子, 同时, 还缺乏营养元素。品种改良对获得高产具有重要作用。以往秋熟作物的单产常高于小麦, 七十年代中期以后随着小麦良种的推广, 灌溉发展及对小麦施肥的重视。小麦单产超过了秋熟作物单产。但随着九十年代初杂交玉米良种大面积推广, 秋熟作物单产又超过了小麦(图 4)。然而, 综观数十年来本地区粮食产量发展历程, 在不同时段存在不同的影响作物品种增产潜力发挥的障碍因子。例如, 六十年代主要是土壤次生盐渍化问题; 八十年代初大批盐土得到改良后, 土壤缺氮、少磷成为增产的主要障碍因素; 九十年代, 粮食生产达到较高水平后, 磷和部分微量元素(如锌、锰)与氮的比

例失调,又成为影响良种发挥增产潜力的新障碍^[8~11]。但随着生产进一步发展,作物产量已接近目前品种的增产潜力。在一些高产地区已可看到这种现象。小麦产量的年际波动已主要受气候因素影响,而农艺措施及品种因素已降为次要因素。这就有待于增产潜力更高的新品种出现了。

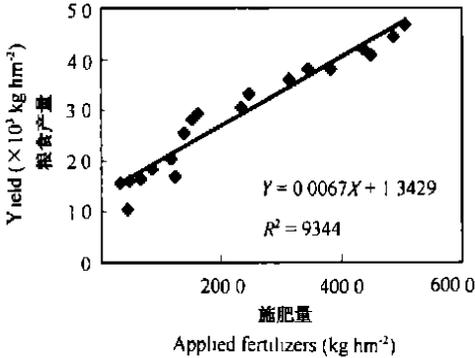


图3 封丘县 1976~1994 年化肥用量与粮食产量之间的关系

Fig. 3 Correlation between applied fertilizers and Crop yield in the period of 1976 to 1994

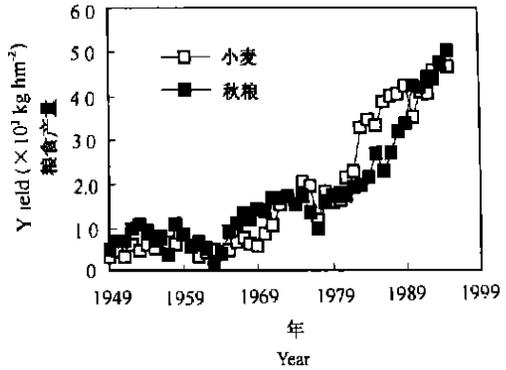


图4 封丘县小麦、秋粮产量变化

Fig. 4 Changes of the yield of wheat and autumn-harvested crops over the years in Fengqiu county

1.2 农田水分消耗

对于封丘县农田历年耗水量的框算,主要包括三个方面,即来自降水量、灌溉量和地下水的补给部分。

封丘县多年平均降水量为 605mm⁽¹⁾。最高年为 1 059.4mm(1964 年),最低年份为 269.2mm(1966 年)。根据水文部门多年观测天然文岩渠的自然径流量与降雨量的关系,本地区平均径流系数为 0.125^[12],通常雨量多的年份(特别是暴雨强度大的年份)径流系数高一些。例如 1964 年为 0.155,而 1966 年为 0.085。由于本地区土壤偏砂性,吸纳降水的能力较强,年际径流系数的波动并不像降雨变化那样大。降水对农田水分补充量每年平均为 527.9mm,占农田水分来源总量的 58.9%。由于降水年际变率达 29%^[13],单位农田可供作物利用的水量变化也较大,且主要决定于降水量。

灌溉水主要来源于井水和引黄河水。1958~1961 年封丘县每年平均引黄河水量达 1.6935 亿 m³。七十年代平均年引黄河水 1.0945 亿 m³,八十年代和九十年代分别为 2.1601 和 1.3263 亿 m³。据水文部门长期观察表明,引入的黄河水并未全部进入农田,有相当一部分又通过回水形式经天然文岩渠流回黄河。经测定^[12],这种回水量多年平均占引黄河水量的 37.7%。七十年代以来,平均每年进入农田的引黄水约为 210mm,高的年份为 312mm(1983),最低的年份为 67mm(1970)。

1960 年全县有 22 眼机井,六十年代中期以后,机电井数迅速发展。目前全县机井已发展到 8 616 眼,每年抽用井水约 0.775 亿 m³ 左右,平均于每亩农田供水量为 137mm。

(1) 资料来自河南省新乡市气象台

作物从地下水中获取多少水分,情况比较复杂。它受地下水位、当年雨量、土壤性状等多种因素影响。陈志雄曾用张力计研究了不同水文年型垂直出入小麦根圈的水量^[13], 得出一季小麦从地下水中获取的水量。这种测定的好处是消除了降水(或灌水)的重复计量。研究表明,多雨年份,当地下水位在 2m 上下时,地下水毛管上升对麦子根圈纯供水量可达 56mm;而水文状况中等年型(降水量偏中)为 18mm;干旱年份,当地下水位在 4m 以下时,这种水分供给趋于零,甚至为负数。我们根据这个测试结果来计算封丘农田地下水的自然补给,多年平均约为 21.8mm。近几年来由于地下水位下降,补给量逐年减少。

封丘县农田年总耗水量由五十年代平均 622mm, 上升到九十年代平均 798mm(图 5)。总体用水量增加 28.3%。根据我站 Lysimeter 及兄弟单位作物耗水量与产量关系资料^[14~18], 在麦玉米二熟条件下, 750~800mm 左右供水量已能满足作物中上产量水平需求。统计 1970~1996 年封丘县农田耗水量资料表明, 年供水量在 750mm 以下的年份仅占 29.6%, 而年供水量大于 800mm 则占 44.4%。可见目前封丘地区的水利条件已基本能满足二熟农田的高产需求。

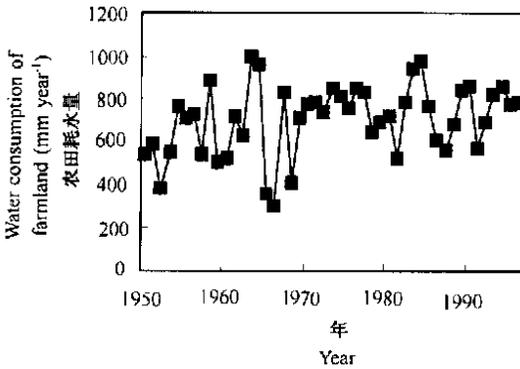


图 5 封丘县历年农田耗水量变化状况

Fig.5 Changes of water consumption of farmland over the years in Fengqiu county

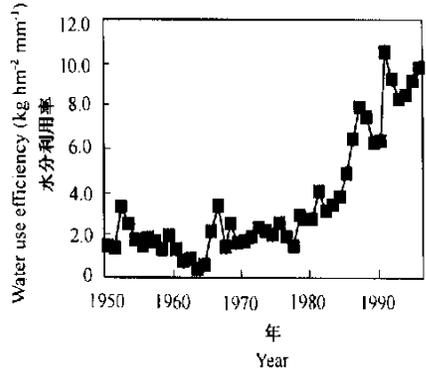


图 6 封丘县粮田历年水分利用率变化

Fig.6 Changes of water use efficiency over the years in Fengqiu county

1.3 水分利用率的变化

根据历年粮食产量与农田耗水量的计算, 可得出本地区几十年来水分利用效率的变化资料(图 6)。九十年代农田耗水量比五十年代多 28.3%。然而每公顷农田的粮食年产量分别为 6602 和 1104kg, 前者为后者的 5.98 倍, 可见总体上水分利用效率有了提高。在八十年代以前, 水分利用率几乎都在 $3.0 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 以下。五十年代初的水分利用率尚在 $2.25 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 上下, 以后逐步下降直至 1964 年的 $0.579 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 。这 15 年中, 灌溉用水逐年增加, 但没有解决缺磷少氮的障碍因子, 反而由于灌排没有协调好而产生次生盐渍化危害, 粮食产量下降, 水分利用率走向低谷。自六十年代中至七十年代末, 随着低产田改良进展, 产量逐年上升, 水分利用率逐步上升, 但进展十分缓慢。正如上文分析的那样, 八十年代以后, 随着化肥用量逐年增加, 水、肥、土条件优化组合, 水分利用率呈现显著上升的趋势。到目前粮食生产的水分利用率已上升到 $10.5 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 左右。

图6中水分利用率突然下降的年份,如1967、1977、1989、1990往往是受涝年份,水过多而产量低。而在水分利用率突然上升的年份,如1966、1981、1987、1991年,常是干旱年。随着水利建设进一步发展,干旱年的降水虽少,但通过抗旱灌溉,利用干旱年光照足、昼夜温差大等优势,有灌溉水条件的农田反而高产,灌不上水的则减产,总产量并未减少很多,而水分利用率则较高。

经过这些讨论,似乎可以这样认为:(1)水分利用率的提高不是单纯可以通过灌溉增加产量来实现,而它首先必须克服土壤中的缺素、盐碱危害等障碍因子才能有效;(2)水分利用率的上升,是土、肥、水、种等综合农艺措施互相协调的结果。

2 提高水分利用率的潜力和对策

2.1 施肥对提高产量和水分利用率潜力的影响

从上面讨论已经指出,自八十年代以来,施肥对提高粮食产量和水分利用率具有明显作用。但增施肥料还有多少潜力呢?据我们对封丘县1976~1994年氮、磷肥施用量与小麦及秋熟作物产量关系统计资料分析(见图7、图8),对小麦来说,目前氮肥用量已基本施足。从施少量氮肥至每公顷施100kg左右氮素,小麦产量呈直线上升;随后,增施氮肥的报酬下降。目前,农户在小麦田里的氮素用量已达 225kg hm^{-2} 上下。可见,在当前小麦品种情况下,继续增施氮肥,无论从增加收益或水分利用率方面,潜力均已有限。然而,在小麦上增施磷肥却仍有一定增产潜力,产量随着施肥量增加而线性上升。在以玉米为主的秋熟作物上,无论是增施氮肥还是磷肥仍有较大增产潜力。这与当地农户不大重视秋熟施肥的习惯有关,而且当前玉米品种多为耐肥品种,增加肥料投入,仍有较好收益。

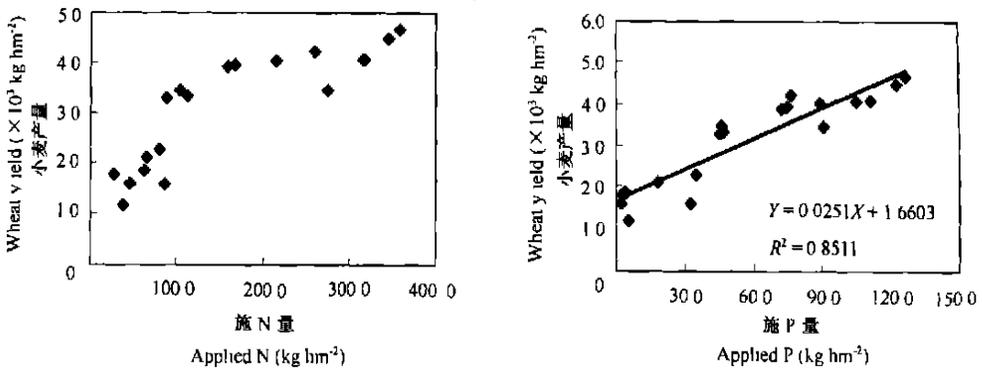


图7 封丘县化学肥料施用量与小麦产量之间的关系(1976~1994年资料)

Fig. 7 Correlation between applied chemical fertilizers and wheat yield in the period of 1976 to 1994 in Fengqiu county

从1976至1995年20年期间,封丘县粮食产量增加了214%,而农田总耗水量只增加5.8%。粮食的水分利用率由 2.03 提高到 $8.54\text{kg hm}^{-2}\text{mm}^{-1}$,其中施肥起到了很重要的作用。从图9的资料可以看出,粮食的水分利用率与化肥(包括氮、磷和钾肥)用量之间呈显著的正相关。它们的关系可表述为: $Y = 1.7948 + 0.0151X$,公式中 Y 表示水分利用

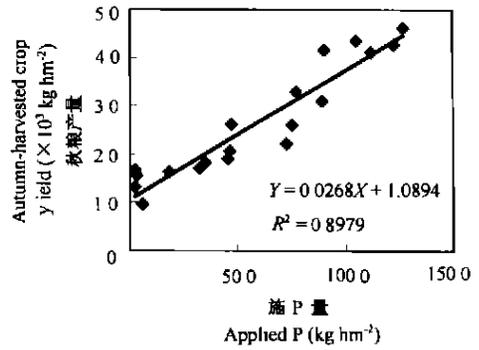
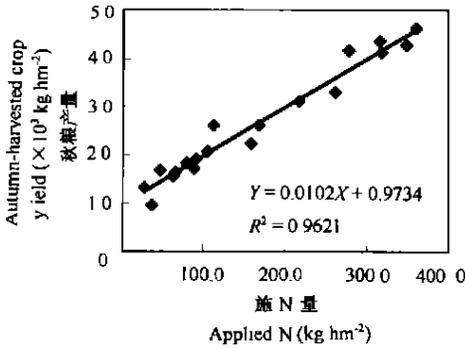


图 8 封丘县化学肥料施用量与秋粮产量之间的关系(1976~ 1994 年资料)

Fig. 8 Correlation between applied chemical fertilizers and autumn-harvested crops yield in the period of 1976 to 1994 in Fengqiu county

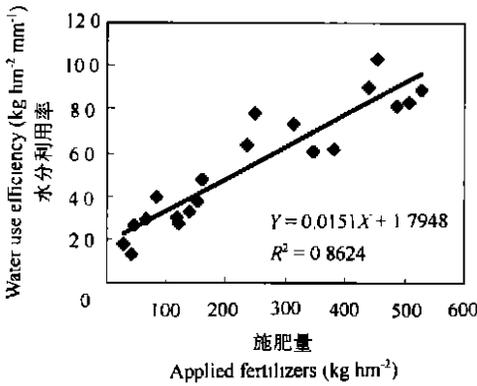


图 9 封丘县粮食生产水分利用率与施肥量之间的关系(1976~ 1995)

Fig.9 Correlation between water use efficiency and chemical fertilizers application in the period of 1976 to 1995 in Fengqiu County

率, X 为化肥用量, 相关系数 $R^2 = 0.8624$ 。

2.2 提高水分利用率的对策

在加强提高节水效益的技术研究和示范推广方面。应根据技术难易程度, 资金投入强度和承受能力进行近、中、远期的纵深布局。举例说, 近期我们通过施肥, 薄膜覆盖等实用技术推广以提高作物的水利用效率。如上所述, 在秋熟作物上氮、磷肥仍有较大增产潜力。在缺水地区, 覆盖薄膜能较大幅度提高小麦和玉米产量, 在经济上也能明显获利, 作为提高水分利用效率的实用技术十分有效。但不同的情况下, 如何覆膜仍有技术问题可以探讨。如在干旱地区采用滴灌覆膜条件下种植玉米, 土面全部覆盖还不如覆盖一半的为好; 全面覆盖下, 苗期土表过分湿润情况下不利于发展良

好的根系, 因此不利于抵御干热风天气的危害^[19]。

喷滴灌技术能有效地提高水分利用效率。据我们试验, 在麦田采用薄壁滴灌灌溉时比常规灌溉节省灌溉水 80% 左右; 水分利用效率由 14.25 提高到 17.85~ 22.2kg hm⁻² mm⁻¹。由于资金等因素, 喷滴灌技术的普遍推广仍需时日, 目前应做好技术发展的前期准备工作。

对于咸水处理, 耐旱植物的转基因品种培育等一些技术难度和投资强度更大的基础和应用技术研究, 也应积极部署和投入。一旦有所突破, 将会有重大的经济和社会效益。

参 考 文 献

1. 王遵亲等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993

2. 付积平,王遵亲. 豫北平原旱涝盐碱综合治理. 北京: 科学出版社, 1987, 52~ 82
3. 祝寿泉. 坚持综合防治盐碱, 促进农业持续发展. 见: 唐登银主编, 黄淮海平原农业可持续发展研究. 北京: 气象出版社, 1999. 40~ 45
4. 王遵亲. 天然文岩河流域农业自然资源研究. 北京: 科学出版社, 1987
5. 中国农业科学院编著. 黄淮海平原治理与农业开发. 北京: 中国农业科技出版社, 1989. 53~ 73
6. 黎立群等. 天然文岩河流域盐碱土发生演变及其防治. 见: 王遵亲主编, 天然文岩河流域农业自然资源研究. 北京: 科学出版社, 1987. 56
7. 韩江, 刘兴文. 天然文岩河流域主要低产土壤资源的现状和历史演变的遥感分析. 见: 王遵亲主编, 天然文岩河流域农业自然资源研究. 北京: 科学出版社, 1987. 69~ 77
8. 周明枞等. 天然文岩河流域土壤资源与改良利用分区. 见: 王遵亲主编, 天然文岩河流域农业自然资源研究. 北京: 科学出版社, 1987. 22~ 29
9. 杜国华等. 天然文岩河流域土体养分贮量评价. 见: 王遵亲主编, 天然文岩河流域农业自然资源研究. 北京: 科学出版社, 1987. 61~ 68
10. 曹志洪等. 土壤肥力特征和合理施肥. 见: 付积平主编, 黄淮海平原区域治理技术体系研究. 北京: 科学出版社, 1987. 57~ 63
11. 王遵亲等. 天然文岩河流域农业发展战略和综合治理研究. 北京: 科学出版社, 1987. 43~ 45
12. 王重九等. 天然文岩河流域水资源开发利用和合理调节. 见: 王遵亲主编, 天然文岩河流域农业自然资源研究. 北京: 科学出版社, 1987. 1~ 21
13. 陈志雄, 赵其国. 黄淮海平原的节水农业问题(重点讨论黄河以北地区). 土壤, 1989, 21(4): 196~ 199
14. 陈玉民等. 中国主要作物需水量与灌溉. 北京: 水利电力出版社, 1995
15. 程维新等著. 农田蒸发与作物耗水量研究. 北京: 气象出版社, 1994. 91~ 126
16. 左大康, 谢贤群. 农田蒸发研究. 北京: 气象出版社, 1991. 180~ 192
17. 周凌云, 陈志雄. 河南省封丘地区小麦节水灌溉研究. 见: 许越先主编, 节水农业研究. 北京: 科学出版社, 1992, 153~ 157
18. 周凌云, 陈志雄等. 华北平原浅水位地区的水分条件与小麦生产. 见: 许越先主编, 节水农业研究. 北京: 科学出版社, 1992. 158~ 164
19. Wang XF, Xu FA, Shani U. Corn Growth as Affected by Plastic Cover Under Drip Irrigation Condition in Desert, Pedosphere, 1994, 4(3): 243~ 249

DEVELOPMENT OF CROP YIELD AND WATER USE EFFICIENCY IN FENGQIU COUNTY, CHINA

Xu Fu-an Zhao Bing-zi

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Summary

The change of water use efficiency over the years was calculated from the long-term data of crop yields, precipitation, the amount of irrigation water diverted from the Yellow River or pumped wells and replenishing water from ground water in Fengqiu county. Results showed that water use efficiency in this county has enhanced steadily from 2.25 to more than 9.00 kg hm⁻² mm⁻¹ due to technological development. The increase of water use efficiency was mainly caused by the establishment of water conservancy facilities, soil improvement, extension of new crop varieties and continuously increasing application rates of N, P fertilizers. According to our studies, fertilizers had a great potential for the further increase of the efficiency of water use in Fengqiu county, especially for crops with growth period in autumn. With economic development, advanced technologies, such as plastic cover and trickle irrigation shall be steadily made popular.

Key words Development, Crop yield, Water use efficiency, China