

# 水稻节水栽培的生态和环境效应

程旺大<sup>1,2</sup>, 赵国平<sup>1</sup>, 张国平<sup>1</sup>, 姚海根<sup>2</sup>

(1. 浙江大学; 2. 浙江省嘉兴市农业科学研究院)

**摘 要:** 综述了节水栽培对稻田生态条件及温室气体生成和排放、肥料流失污染、稻田矿质营养平衡与水肥耦合效应以及病虫害发生动态等方面的影响。在此基础上, 提出了今后应加强水稻节水栽培对农田生态的综合效应、水稻节水栽培的高效灌溉指标及水肥耦合效应、水稻节水栽培对农田病虫害发生的影响、对土壤中盐分运移及再分布的影响以及无公害可降解的地膜覆盖旱作配套栽培技术等方面的研究。

**关键词:** 水稻; 节水栽培; 生态; 环境

**中图分类号:** S181

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2001)01-0191-04

水资源短缺已逐渐成为我国国民经济可持续发展的制约因素之一。水稻是我国种植面积和生产量最大的粮食作物, 也是耗水量最多的作物, 目前其耗水量占全国总用水量的 54% 左右, 占农业总用水量的 65% 以上<sup>[1]</sup>。因此, 提高稻作水分利用效率对于保证我国的粮食安全及社会的可持续发展具有重大意义。自 20 世纪 90 年代以来, 以地膜覆盖旱作栽培和节水灌溉等为主要技术措施的水稻节水栽培技术在各地推广应用, 取得了明显的节水增产效果<sup>[2]</sup>。水稻节水栽培是以高产、优质、高效为目标, 根据水稻的生理生态特性, 采用各种节水农艺技术和灌溉管理技术, 以提高水分利用效率的综合节水技术, 其实是降低灌溉用水过程中水的无效损耗<sup>[2]</sup>。水稻节水栽培在缓解水资源供需矛盾和扩大农作物灌溉面积的同时, 使水田生态环境发生明显变化, 对土壤理化性状、作物营养代谢、病虫害发生及农田温室气体和污染物的种类与排放量等都产生直接和间接的影响, 因此受到众多学科的广泛关注。

## 1 稻田生态效应

水稻节水栽培是通过科学的灌溉, 解决常规淹灌栽培“灌水过多”问题, 以协调土壤中的水、气、热各因素, 改善稻田生态环境, 促进水稻优质高产<sup>[2]</sup>。

水稻节水栽培有利于改善稻田水分状况, 促进水稻生长发育。水稻地膜覆盖旱作栽培对保持土壤水分作用明显, 尤其是土壤表层含水率显著增加。梁

永超等研究表明, 地膜覆盖抑制水稻棵间蒸发, 从而提高土壤含水率; 在易干旱地区, 覆膜旱作稻田水稻拔节期时 0~20 cm 和 40~60 cm 土层含水率分别为不覆膜旱作稻田的 1.5 倍和 1.3 倍; 在较湿润地区, 则是不覆膜旱作处理的 1.4 倍和 1.2 倍<sup>[3]</sup>。覆膜旱作的保水效果尤以分蘖期最为显著, 此时因地面蒸发基本上被阻挡, 地面上 15 cm 处的丛间相对湿度远较水田低<sup>[4]</sup>。水稻覆膜旱作使水稻的形态、生理发生了一系列改变, 如分支根和根毛增多等, 扩大了对土壤水分的适应范围, 因而覆膜旱作栽培有显著的保墒作用, 对水稻根系的发育和地上部生长具有促进作用<sup>[5]</sup>。水作水稻采用节水灌溉由于减少了灌水次数和灌溉水量, 土壤含水率显著低于常规淹灌栽培, 有利于协调稻田水、气、热条件, 为水稻生长创造较好的生态环境<sup>[6~8]</sup>。

水稻节水栽培田间水分的变化影响稻田温度状况, 有利于水稻生长。当稻田无水层而保持湿润时, 土壤的热容量减小, 白天易增温, 夜间则温度较低, 昼夜温差增大; 如果土壤含水率较低, 由于棵间蒸发量减小和水稻蒸腾减弱, 稻田空气湿度较低, 稻田增温加速, 稻田土表、土层日平均温度提高, 日最高温度上升。稻田水温和土温是稻田生态环境中两个最重要的气象要素, 水稻的光合作用、呼吸作用、分蘖及养分吸收等均与其有密切关系。这种增温效应可提高土壤微生物活性, 活化土壤养分, 从而促进根系和地上部的生长发育。地膜覆盖栽培增温效应的机制, 一是地膜隔绝了土壤与外界的水分交换, 削弱了潜热交换损失; 二是地膜减弱土壤与外界的湿热交换, 增大土壤热通量; 三是地膜及其内表面粘附的水层可减弱长波辐射交换, 使夜间土壤有效辐射减少, 温度下降减缓<sup>[9]</sup>。试验表明, 覆膜稻田土表、0~15 cm 土层日平均温度提高, 增温幅度可达 1~4℃, 日

收稿日期: 2001-07-23 修订日期: 2001-08-20

基金项目: 国家财政部“财政支农”项目和浙江省重点攻关课题项目(981004)资助

作者简介: 程旺大, 男, 农艺师, 硕士, 在职博士研究生, 主要从事作物生理生态与优质安全农产品生产的研究; 浙江杭州 浙江大学农业与生物技术学院农学系, 310029; Email: chwd228@yeah.net

最高温度和最低温度上升<sup>[3, 4, 10]</sup>。覆膜条件下, 土温的变化也与土壤水分运动相关。最近有研究发现, 随着土壤温度的升高, 湿润峰运移增大<sup>[11]</sup>。

节水栽培改变了稻田土壤长期淹水的状态, 土壤氧化还原电位和通透性提高, 不仅有利于水稻根系生长发育, 也有利于好气微生物的活动, 从而促进土壤有机质的分解和养分的有效性<sup>[10, 12, 14]</sup>。杨艳敏等测定了旱作稻生长中期的土壤容重和空隙度, 表明地膜覆盖处理的土壤容重降低, 空隙度提高, 土壤通透性改善<sup>[15]</sup>。节水灌溉使土壤含水率降低, 空气在大气压力作用下较易进入土壤孔隙, 灌溉时水中所含的氧气随水分充入土壤孔隙并吸附于土壤中, 增加土壤的氧气含量, 有利于根系生长和养分释放。

## 2 稻田温室气体生成与排放及肥料流失污染

由于水稻节水栽培改变了稻田土壤水分状况, 使土壤排放的温室气体总量、组成及其产生的潜在温室效应也相应发生变化。 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  是两种主要的温室气体。水田排放的  $\text{CH}_4$  每年达 40~60 Tg ( $1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g}$ ), 占全球  $\text{CH}_4$  气体总排放量的 10%~15%; 土壤排放的  $\text{N}_2\text{O}$  占从生物圈到大气圈  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量的 90%<sup>[16]</sup>。研究证明, 节水灌溉(如间歇灌溉)可以减少水田  $\text{CH}_4$  的排放量<sup>[17]</sup>, 但常导致  $\text{N}_2\text{O}$  排放量增加<sup>[18, 19]</sup>。由于大气中  $\text{N}_2\text{O}$  导致的温室效应大约是  $\text{CH}_4$  的 5 倍, 而且其半衰期比  $\text{CH}_4$  长得多, 因而研究和分析田间水分状况对温室效应的影响必须对其进行综合分析<sup>[20]</sup>。研究表明, 连续淹水条件下, 土壤仅排出微量的  $\text{N}_2\text{O}$ , 但排出大量的  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$ ; 好气条件下, 土壤不排放  $\text{CH}_4$ , 但排出大量的  $\text{N}_2\text{O}$ ; 淹水土壤排水促进  $\text{N}_2\text{O}$  排放, 但显著抑制  $\text{CH}_4$  排放, 淹水好气交替处理土壤排放的  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2\text{O}$  均在好气和连续淹水之间; 根据各种温室气体产生温室效应的相对潜力, 计算土壤排放温室气体的综合效应, 连续淹水条件下土壤产生的总温室效应最高, 干湿交替或湿润处理的土壤产生的总温室效应最小<sup>[21]</sup>。综合来看, 节水灌溉如间歇灌溉、湿润灌溉和覆膜旱作的水稻田可降低温室效应。

水稻节水栽培有利于提高水分利用效率, 减少稻田的排水量, 从而可降低稻田肥料流失对水体的污染。目前我国氮肥的作物利用率仅为 30%~40%, 农田的径流损失和淋溶排出农田的氮素中有 20%~25% 是当季施用的氮素化肥<sup>[22]</sup>, 就地表水硝态氮的污染源而论, 氮素化肥占了 50% 以上<sup>[23]</sup>。氮、磷肥料等通常通过农田排水和地表径流的方式进入地表水体造成污染<sup>[24]</sup>。施肥后 3~6 d 早稻漏水样

中的亚硝酸( $\text{NO}_2^-$ )含量最高达 0.643 mg/kg, 超过了对人类影响的 0.6 mg/kg 国家标准(GB 3838)<sup>[25]</sup>。大量研究已证实, 减少田面水的排出是降低农田氮、磷流失的关键。大水漫灌、淹灌使氮、磷肥料还没有来得及被作物吸收或被土壤固定就被排出农田, 从而污染水体。在太湖地区的试验证实, 通过节水灌溉, 干湿交替, 减少排水量, 可有效地降低农田氮、磷排出负荷, 相同施氮量, 节水灌溉下氮肥利用率提高 3%, 氮素渗漏量下降 8.9 kg/ha<sup>2</sup>, 增产稻谷 4.1%。节水灌溉已成为当前降低太湖地区水体污染的有效措施之一<sup>[26]</sup>。

## 3 稻田矿质营养平衡与水肥耦合效应

水稻节水栽培有利于提高氮肥的利用率, 但对磷素营养的协调和供应有一定抑制作用。土壤中养分的形态转化和移动因土壤水分不同而异<sup>[27]</sup>。长期淹水条件下, 土壤中氧气亏缺而  $\text{CO}_2$  和  $\text{HCO}_3^-$  等含量上升, 土壤中养分的分解和矿化过程缓慢, 影响养分释放<sup>[28]</sup>。水稻覆膜条件下, 氮肥的挥发、淋失及反硝化作用引起的肥料损失受到抑制, 肥料利用率提高, 氮肥用量可减少至常规水作栽培的 40%~60%<sup>[29]</sup>。土壤水分条件对尿素氮的利用率及去向影响显著, 适当的灌溉是充分发挥氮肥效益的关键措施之一。采用同位素稀释法对间歇灌溉和浅水灌溉水稻氮素利用率的测定表明, 间歇灌溉的达 34.27%, 比对照提高 5.17%; 土壤中的速效氮含量提高 25.3%<sup>[12]</sup>。节水栽培条件下水稻对磷的吸收受到一定抑制<sup>[30, 31]</sup>。在氧气含量和氧化还原电位较高时, 由于土壤中的一些金属离子以高价形态存在, 如土壤中的铁离子以  $\text{Fe}^{3+}$  离子存在, 易与土壤中的速效磷反应, 形成溶解度很低的化合物, 影响磷的有效性<sup>[28, 32]</sup>。

节水栽培条件下应充分注意水分与肥料间的耦合效应, 以制订最佳的施肥和灌溉制度, 提高养分和水分利用率。杨建昌等对不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的研究表明, 氮肥对受水分胁迫的水稻有一定的“以肥调水”效应, 在土壤干旱条件下水稻的“以肥调水”作用受到土壤干旱程度及施氮量的影响; 土壤干旱程度轻, 增施氮肥有明显的“以肥调水”作用, 而在土壤干旱程度较重时, “以肥调水”的效应降低, 特别是在高氮水平下, “以肥调水”的作用不明显<sup>[33]</sup>。生育后期施氮量过多, 引起水稻贪青时, 采用早落干使土壤水分呈中度胁迫, 不仅可促进植株茎、叶、鞘贮藏物质向穗部的转运, 而且可促进灌浆, 提高产量<sup>[34]</sup>。水稻的正常生长离不开水肥的协调配合, 采用节水灌溉, 田间水分干湿交替, 有利

于肥料养分的转化与吸收,使肥料利用率 and 水分利用效率提高<sup>[35]</sup>。

#### 4 病虫害的发生与为害

水稻节水栽培下水、气、热条件的变化,必将影响稻田病虫害的发生规律。覆膜旱作稻田湿度大大降低,显著降低伴湿性病害如纹枯病的发生程度<sup>[29,36]</sup>,有研究表明,节水灌溉稻田由于湿度低,稻瘟病的发生程度相对较轻<sup>[30]</sup>。与常规淹灌水稻相比,覆膜旱作稻田纵卷叶螟为害率、灰飞虱和蚜虫类虫口密度无显著差异,但由于目前用于防治二化螟等螟虫的药剂(如杀虫单)需经水体由水稻根部吸收传导,而覆膜旱作稻田不仅无水,且地膜隔离了药液入土被吸收的途径,影响了药效,螟虫的防效降低,为害加剧,施肥量仅对照田一半的早稻覆膜旱作田螟虫为害株率比对照增加 2.4%~8.5%<sup>[36]</sup>。因此,覆膜旱作稻田要特别加强虫害的防治。覆膜旱作稻田杂草中的细毛毡类与常规栽培无显著差异,但细双子叶杂草减少,新的阔双子叶杂草增加。同时,覆膜旱作下地表温度较高,常可导致膜下杂草生长受阻,甚至被蒸烫而死,表现出不施用除草剂情况下与常规栽培杂草发生无显著差异的结果<sup>[29,36]</sup>。覆膜旱作田天敌及腐食者密度低于常规栽培,但后期捕食者类群无差异<sup>[36]</sup>。

#### 5 存在的问题及今后研究的课题

由上可见,水稻节水栽培总体上有利于改善稻田生态条件,减少对环境的不良影响,但在温室气体的排放、磷肥的有效性以及虫害的发生与为害等也存在着一定的负面效应。目前国内外在水稻节水栽培研究上多偏重于对水资源的可持续利用、农田理化性状和水稻生理生态效应等方面的研究,对水稻节水栽培条件下环境变化(特别是长期效应)、水肥耦合效应和病虫害发生动态及防治对策等研究较少。而这些研究对于完善水稻节水栽培技术体系,进一步提高节水栽培技术水平,促进农业可持续发展具有重要意义。目前水稻节水栽培亟需进一步研究和解决的问题主要有:

##### 1) 水稻节水栽培对农田生态效应的综合研究

水稻节水栽培极大地改变了农田水热状况,从而影响水稻的生长发育和产量形成。要加强研究节水栽培条件下稻田土壤水分和温度的变化规律,覆膜旱作对近地面水热条件及农田蒸散量变化的影响,土壤温度变化与农田水分运移的相关性,以及它们对水稻生长、产量、品质及稻米安全性的影响及其生理和生态机理;稻田长期实行节水栽培后水稻土

壤的物理、化学、生物学变化及对水稻生长的影响等。

##### 2) 水稻节水栽培的高效灌溉指标及水肥耦合效应研究

水稻节水栽培所引起的灌溉方式及田间水热状况的改变,势必对养分的吸收和利用产生一定影响。因此,探求水稻节水灌溉下的高效合理而又适用的灌溉指标;研究水、肥对水稻产量与品质影响的交互作用,分析不同土壤水分条件下氮、磷、钾肥的相互作用及施肥方法,探明其对肥料利用效率、稻田温室气体生成与排放及肥料流失污染的影响,求出其合理配比及肥料的优化组合,提出提高肥料利用率特别是磷肥的吸收利用率的途径,建立水、肥互作效应的耦合模型,对节本增效、改善生态环境均具有重要意义。

##### 3) 水稻节水栽培对农田病虫害发生的影响

传统灌溉方式中,水分的作用之一是以水抑草,采用节水灌溉后,稻田生态环境的改变必将影响农田杂草和病、虫种群的发生,从而要求在防病、治虫和除草等技术上提出相应的有效措施。因此需要研究节水灌溉后田间病虫害发生规律及其防治策略。

##### 4) 水稻节水栽培对土壤盐分运移及再分布的影响

研究不同土壤含水率对土壤盐分含量变化及其分布规律,以及这种变化对土壤理化特性的影响机理及对作物生长发育的影响,对采取有效措施防止土壤盐渍化具有重要指导意义。

##### 5) 可降解地膜覆盖旱作配套栽培技术研究

普通地膜的“白色污染”问题已对环境带来许多负面效应,如大面积应用水稻覆膜旱作栽培技术,这个问题将更为突出。因而急需研究无公害可降解地膜的使用技术,无公害可降解地膜覆盖下的土壤水、热变化规律,无公害可降解地膜对土壤理化性状与作物生育的影响,不同土壤水分对无公害可降解地膜降解过程的影响等。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张 岳 中国水资源与可持续发展[J]. 中国农村水利水电(农田水利与小水电), 1998(5): 3~ 6
- [2] 程旺大, 赵国平, 王岳钧等 浙江省发展水稻节水高效栽培的探讨[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(3): 197~ 200
- [3] 梁永超, 胡 锋, 杨茂成等 水稻覆膜旱作高产节水机理研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(1): 26~ 32
- [4] 黄义德, 张自立, 魏凤珍等 水稻覆膜旱作的生态生理效应[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 305~ 308

- [5] W. 拉夏埃尔 植物生理生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1980 180~ 185
- [6] Tuong T P, Bhuiyan S I. Increasing water use efficiency in rice production: farm level perspectives[J]. Agricultural Water Management, 1999, 40: 117~ 122
- [7] Bouman B A M, Tuong T P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated low land rice [J]. Agricultural Water Management, 2001, 49: 11~ 30
- [8] Chi D C, Wang X A, Zhu T Y, et al. Water saving and high yield irrigation models of rice and soil moisture potential control criteria [J]. Trans of the CSAE (农业工程学报), 2001, 17(2): 59~ 64
- [9] 王树森, 邓根云. 地膜覆盖增温机制研究[J]. 中国农业科学, 1991, 24(3): 74~ 78
- [10] 齐学斌, 庞鸿宾. 节水灌溉的环境效应研究现状及研究重点[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 37~ 40
- [11] 冯宝平, 张建丰, 汪志荣等. 温度对土壤水分运动影响的研究[J]. 灌溉排水, 2001, 20(1): 46~ 49
- [12] 李远华, 张祖莲, 赵长友等. 水稻间歇灌溉的节水增产机理研究[J]. 中国农村水利水电(农田水利与小水电), 1998(11): 12~ 15
- [13] 朱庭云. 水稻灌溉的理论与技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998
- [14] 徐 华, 邢兴熹, 蔡祖聪等. 土壤水分状况和氮肥施用及品种对稻田  $N_2O$  排放的影响[J]. 应用生态学报, 1999, 10(20): 186~ 188
- [15] 杨艳敏, 刘小京, 孙宏勇等. 旱稻夏季地膜覆盖栽培的生态学效应[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(3): 50~ 53
- [16] Wang Z Y, Xu Y C, Li Z, et al. Methane emission from rice fields as affected by water regime and organic manure input[J]. ACTA Agronomica Sinica (作物学报), 1998, 24(2): 133~ 138
- [17] Wassman R, Papen H, Rennenberg H. Methane emission from rice paddies and possible mitigation strategies[J]. Chemosphere, 1993, 26: 201~ 217
- [18] Flessa H, Beese F. Effects of sugarbeet residues on soil redox potential and nitrous oxide emission [J]. Soil Sci Soc Am J, 1995, 59: 1044~ 1051
- [19] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, et al. Impacts of soil moisture on nitrous oxide emission from croplands: a case study on the rice-based agroecosystem in Southeast China [J]. Chemosphere Global Change Sci, 2000, 2: 207~ 224
- [20] Bouwman A F. Soil and Greenhouse Effect [M]. New York: John Wiley and Sons, 1990 25~ 32
- [21] 蔡祖聪. 水分类型对土壤排放的温室气体组成和综合温室效应的影响[J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 484~ 491
- [22] 韦鹤平主编. 环境系统工程[M]. 上海: 同济大学出版社, 1993: 183
- [23] 朱荫湄. 施肥与地面水富营养化[C]. 施肥与环境学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1994 40~ 44
- [24] Hector M, Carls E, Noemi R. Agricultural wastes [J]. Water Environment Research 1998, 70(4): 601~ 620
- [25] 张 薇, 司徒淞. 吨粮田节水灌排调控指标研究[J]. 灌溉排水, 1998, 17(2): 22~ 25
- [26] 李荣刚, 夏源陵, 吴安之等. 太湖地区水稻节水灌溉与氮素淋失[J]. 河海大学学报, 2001, 29(2): 21~ 25
- [27] Viets F G. Water deficits and nutrient availability [C]. In Kozłowski T T ed, Water Deficits and Plant Growth, Vol. 1, 1972 21~ 23
- [28] Neue H U, Bloom P R. Nutrient kinetics and availability in flooded rice soils [C]. Progress in irrigated rice research. Manila Pilip: IRRI, 1989 173~ 190
- [29] 吴良欢, 祝增荣, 梁永超等. 水稻覆膜旱作节水节肥高产栽培技术[J]. 浙江农业大学学报, 1999, 25(1): 41~ 42
- [30] 彭世彰, 郝树荣, 刘 庆等. 节水灌溉水稻高产优质成因分析[J]. 灌溉排水, 2000, 19(3): 3~ 7
- [31] 吕国安, 李远华, 沙宗尧等. 节水灌溉对水稻磷素营养的影响[J]. 灌溉排水, 2000, 19(4): 10~ 12
- [32] Patrick W H Jr, Mikkelsen D S, Wells B R. Plant nutrient behavior in flooded soil [C]. Fertilizer technology and use 3d ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 1985 197~ 228
- [33] 杨建昌, 朱庆森, 王志琴. 不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制的研究[J]. 中国农业科学, 1996, 29(4): 58~ 66
- [34] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, et al. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice [J]. Field Crops Research, 2001, 71: 47~ 55
- [35] 崔远来, 李远华, 余 峰. 水稻高效利用水肥试验研究[J]. 灌溉排水, 2001, 20(1): 20~ 24
- [36] 祝增荣, 吴良欢, 吴国强等. 水稻覆膜旱作对病虫害发生程度的影响[J]. 植物保护学报, 2000, 27(4): 295~ 301

ambient temperature, in cold storage or with controlled atmosphere storage, antiseptics, irradiation, heat treatment, technological process of postharvest treatment, establishment of quality assurance and control system are comprehensively summarized in this paper

**Key words:** longan; fruits; postharvest physiology; postharvest pathology; technologies of storage and transport; research advance

**Ecological and Environmental Effect of Water-Saving Rice Cultivation ..... (191)**

Cheng Wangda<sup>1,2</sup>, Zhao Guoping<sup>1</sup>, Zhang Guoping<sup>1</sup>, Yao Haigen<sup>2</sup> (1. *Department of Agronomy, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;* 2. *Jiaxing Academy of Agricultural Science Research, Jiaxing 314016, China*)

**Abstract:** The ecological and environmental effect of water-saving rice cultivation (W SRC) on paddy fields was reviewed, mainly by analyzing the effects on ecological conditions of paddy soil, greenhouse gas production and releasing, contamination and eutrophication of water bodies due to fertilizer losses, the balance of mineral nutrition and fertilizer-by-water interactions, and occurrence and control of diseases, pests and weeds under the condition of W SRC. The main issues were suggested for further research of W SRC in the paper, including studies on integrated effects of W SRC on plant-soil ecosystems, on the high efficient irrigation approaches, on fertilizer-by-water interaction, on the occurrence and controlling of diseases, pests and weeds, on soil salinization and its alleviation and on the techniques of non-pollution film mulched dry cultivation to the environment

**Key words:** rice (*Oryza sativa* L.); water-saving cultivation; ecology; environment

**· Introduction to Institute ·**

College of Food Science, Southwest Agricultural University ..... *Inside Front Cover*  
Center for Land Consolidation & Rehabilitation, Ministry of Land and Resources .....  
..... *Inside Back Cover and Back Cover*