

我国北方半干旱半湿润气候区防旱减灾技术述评

徐金芳^{1,2}, 邓振镛^{1*} (1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省(中国气象局)干旱气候变化与减灾重点(开放)实验室, 甘肃兰州 730020; 2. 甘肃省气象信息中心, 甘肃兰州 730020)

摘要 全面系统地总结了目前我国北方半干旱半湿润气候区防旱减灾采用的几项关键适用技术, 为进一步防旱减灾、保证粮食安全生产提供参考。

关键词 中国北方; 半干旱半湿润气候区; 防旱减灾技术

中图分类号 S166 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)29-14229-03

Evaluation on the Technologies of Preventing Drought and Reducing Disaster in Semiarid and Subhumid Region of North China

XU Jin-fang et al (Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, China Meteorological Administration and Gansu Province, Lanzhou Institute of Arid Meteorology of China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020)

Abstract Some key applicable technologies for drought prevention and disaster reduction in semiarid and subhumid regions in Northern China were systemically summarized, in order to provide reference for drought prevention and disaster reduction and ensuring the security production of food.

Key words North China; Semiarid and subhumid climatic region; Technologies of drought prevention and disaster reduction

我国北方半干旱半湿润气候区年降水量为 300~600 mm, 地域分布范围广, 涉及面积大, 包括西北、华北和东北的大部分地区, 面积约占全国的 1/5。近 30 年来, 在我国北方, 尤其在东北、华北和西北东部, 持续干旱化已严重威胁生存环境。降水减少和温度升高是形成当前我国北方大部分地区显著干旱化的主要原因^[1]。为应对气候变化及其影响, 应对极端气候事件趋强趋多, 笔者全面系统总结了干旱化严重、多发的半干旱半湿润气候区的适用防旱减灾技术, 以期为实现人类与自然和谐相处、粮食安全生产与农业可持续发展作出贡献。

1 加强干旱灾害生态监测预测与风险评估

1.1 加强干旱灾害生态环境动态监测预测 气候暖干化引发干旱化趋势非常明显, 干旱化的发生发展与生态环境、社会发展、经济建设关系十分密切, 其影响非常严重和深远。要重视和加强干旱灾害的监测预测和研究; 建立干旱灾害监测预警基地, 研究防御对策; 建立具有较好的物理基础、较强的监测和预测能力、有效服务功能的干旱灾害综合业务服务系统, 并能及时就干旱灾害对区域内农业生产和水资源影响提供科学的技术评估和对策服务, 为决策部门和社会用户提供优质服务。

对生态环境的动态监测能及时了解生态环境对气候变化和人类活动的响应, 是生态环境保护与建设的前提和基础性工作。要建立一套研究农业、森林、草原、土地资源和水资源等的生态环境科学评估方法和技术; 建立地面监测和卫星遥感监测相结合的生态环境立体监测系统, 为环境保护和建设提供连续、立体、动态的监测信息, 结合干旱灾害监测预测综合业务服务系统, 开展定期和不定期发布干旱生态环境监测预警公报, 为决策部门合理开发、建设规划提供宏观决策的科学依据。

1.2 加强干旱灾害风险评估 干旱灾害发生后, 要加强对干旱灾害风险评估, 以得出危害程度及今后的防御措施。干旱灾害是一个复杂的自然变异大系统, 从研究上说, 除干旱灾害本身(孕灾环境、致灾因子、承灾体)外, 还包括灾情评估、灾害监测与预警系统以及减灾对策等。干旱灾害风险评估就是以探索灾害可能造成的损失为核心, 其研究范围涉及到灾害系统的各个环节。它要回答“怎样才能安全”, 即评估已确定的风险因素(或称致灾因子)对可能受影响的承灾体的重要性, 以为决策者权衡风险的大小, 提出建议或提供减灾决策的科学依据。风险评估内容应包括评估技术方法、评估模型、评估指标、风险水平等级分布与分区等。

1.2.1 评估技术方法。 目前, 干旱灾害风险评估技术方法很多, 邓国等采用正态分布函数进行风险概率估算^[2]。经过“正态化”处理的相对气象产量序列可视为“正态序列”, 约占总样本 80%, 未通过正态性检验的约占 20%, 这就是受灾害影响的部分。宫德吉等提出以无气象灾害时农作物应当达到的期望产量为基础, 来评估因灾害减产的方法^[2]。蒲金涌等提出采用干旱灾害对粮食作物产量影响系数, 并建立定量评估模式, 对粮食作物种植风险程度进行定量评估^[3]。

1.2.2 评估模型。 在评估模型方面, 杜鹏等^[2]提出用风险度建立评价模型, 先对灾害风险进行原理分析, 建立一个实用的灾害风险分析模型并经过 3 个层次逐级放大: ①概念模型, 包括灾害模型、价值模型和抗灾性能模型; ②过渡模型; ③实用模型。最终计算出风险体系的风险度。

1.2.3 评估指标。 评估指标是评估体系中的重要组成部分。邓国等^[2]采用偏离趋势产量的波动幅值百分率, 提出减产率指标、减产率变异系数指标、风险指数指标和综合风险指数指标等。

1.2.4 灾害水平等级分布与分区。 灾害的风险区划是一个专项区划, 将灾害的发生、频率及危害程度以灾害风险指数确定为灾害风险区划指标进行分区划片。区划的目的是使每区内灾害风险程度尽量接近, 而区域间的差异甚大, 以便在减灾防灾工作中分类指导, 按区域制定适宜的政策、决策和措施。王书裕等^[2]对吉林省农业气象灾害风险进行评价

基金项目 国家科技部公益行业科研专项(GYHY200806021); 国家自然科学基金重点项目(40830957); 干旱气象科学研究基金项目(IAM200811)。

作者简介 徐金芳(1961-), 女, 宁夏银川人, 工程师, 从事应用气候研究。*通讯作者, E-mail: dengzhy23@sohu.com。

收稿日期 2009-05-13

及区划工作,以灾年平均减产率与综合风险指数为指标,将吉林省划分为灾害风险高、中、低的5个区和2个亚区,并提出各区的防灾减灾对策。李世奎提出3种灾害综合区划方法^[2]:①以季节为主导灾害的种类组合类型及其发生频率而分区;②以开展农业保险为目的,根据灾害类型的地域差异特征及灾种易灾的风险而分区;③按照主要灾种的多发区作出气象灾害种类综合区划。

2 改进农业耕作技术,提高水资源利用率

2.1 积极开发土壤水库

土壤可以看成是一个蓄水量相当大的水库,具有庞大的蓄水库容。如黄土高原旱作农业区,作物用水的主要来源是自然降水。该区土壤质地良好,土层深厚,结构疏松,对水分具有良好的渗透性、持水性、移动性及相对稳定性的特征和吐纳调节功能,素有“土壤水库”之称。开发好土壤水库是提高水资源利用率的关键。

经测算,黄土高原200 cm土层内可容纳564~664 mm的水分。但是在正常年份200 cm土层土壤水库平均贮水量只有230~280 mm,只占库容量的40%~60%。在雨季可容纳600~650 mm的降水量,全年可接纳800 mm或以上的降水量,承载量很大。可以发挥土壤水库中季节间的调节作用,使“伏雨春用”、“春旱秋抗”。深层的土壤水分对旱地作物供水是十分重要的,因为降水入渗深度达2 m,甚至更多,而且60~100 cm以下的深层贮水,具有更高的稳定性和有效性。当降水补给得不到满足时,可以发挥土壤深层贮水的调节作用。因此,麦收后应采取增加蓄水能力的综合农业生产措施。土壤贮水量是旱作区小麦生产力的最重要因素。试验表明,在降水正常年份,冬、春小麦土壤水分的生产力分别为0.85 kg/mm和0.75 kg/mm^[4]。由此可见,旱作小麦仍有很大的生产潜力。

要采取增加土壤水库库容的各种措施^[5]。①深耕:能提高土壤孔隙度和降水入渗速度,达到多蓄降水的目的。②早秋耕:在北方旱地农业区秋季作物收获后,应早秋耕蓄纳秋雨。③耙耱保墒:在黄土高原旱作区推广“三耙三耱”以抑制土壤水分蒸散、提高持水能力。

2.2 实施集雨节灌农业

据测算,半干旱半湿润地区降雨在地面的分配比例大致是:20%~35%形成初级生产力,60%~70%为无效蒸发,10%~15%形成径流流失。采用集雨节灌技术,可以把降雨径流的1/3~1/2收集起来供灌溉利用。一般情况下,面积100 m²的硬化集流场或道路、场院、屋面等场地,在日降水量为10~25 mm(中雨)时,每10 mm降水可分别集水3~5 m³或6~8 m³。从不同年降水量的集水深度以及集水深度供给人畜饮水和补灌的综合研究得出,半干旱半湿润气候区在年降水量300~800 mm地域推广集雨节灌技术具有普遍意义,在年降水量400~700 mm地域推广该项技术的有效性最为显著^[6-7]。

在半干旱半湿润地区每户确保1个面积为100~200 m²的雨水集流场,配套修建2个蓄水窖,富集雨水50~100 m³,在解决人畜饮水困难的同时,发展666.7 m²节灌面积的庭院经济或保收田,即甘肃省委、省政府倡导的“121”集雨节灌工程,效果非常好。这一工程被国际雨水集流系统协会认为是人类社会在水利建设领域的一项创举,并荣获世界水论坛特

等奖^[8]。甘肃省从1997年开始实施“121”集雨节灌工程,截至2002年底,已建成集雨节灌水窖194.36万眼,发展集雨补灌面积30.49万hm²。该项技术具有强大的生命力和显著的生态、社会 and 经济效益。它不仅适用于我国半干旱半湿润地区,同时对全世界面临同样缺水问题的国家和地区具有重要的借鉴意义。

2.3 推广节水灌溉技术^[9-10]

农业节水措施分为工程节水、农艺节水和科学用水管理等方面,采用一系列节水灌溉技术。①喷灌技术:可省水30%~50%,粮食作物和经济作物采用喷灌比一般沟灌增产20%~30%,蔬菜可增产1~2倍。②滴灌技术:比喷灌省水15%~25%,为地面灌溉用水的1/5~1/4。与地面灌溉相比,粮食作物可增产30%左右。③渗灌技术:灌水质量高,能很好保持土壤结构,避免地表板结;蒸发损失少,较能稳定地保持土壤水分,节约灌溉水量;少占耕地,便于机耕,灌水效率高。地面节水灌溉技术主要确定合理的灌溉定额、灌溉时间及次数,以便把有限的水资源用在关键时期。①小畦“三改”灌水技术:在灌溉时,采用长畦改短畦、宽畦改窄畦、大畦改小畦的灌溉方式,可节水30%以上,增产10%~15%。②长畦分段畦灌技术:省水40%~60%,灌溉效率提高1倍以上。③宽窄式畦沟结合浸润灌技术:适宜间作套种作物“二密一稀”种植的畦、沟相结合式的灌水方法,使畦田和灌水沟相间交替更换。优点是灌水定额小,次数减少1~2次。④封闭式直形沟灌技术:沟灌技术不但能节水,还能防止土壤表层板结。

掌握作物需水规律浇好关键水。禾谷类作物,自穗分化至抽穗期是需水的临界期,这一时段缺水对产量影响最大,其次是开花至灌浆期,这2个时段进行灌水就能提高水的利用效率。选用优化灌溉技术,通过多次试验,适当压缩灌溉次数和灌溉量,减少水分的无效消耗,达到用水少、产量高的效果。建立节水灌溉制度,制订适时适量灌水的具体方案,充分发挥水对作物生长环境的调节作用,收到增产、节水、节能的综合经济效益。采用精准农业中的精准灌溉管理系统,以便提高农业用水的有效性和单位面积产量。

2.4 推广旱作地膜覆盖技术

旱作地膜带田是集增温保墒、集水调水、边行优势等农田小气候效应和作物高低空间层带性、生长时间演替性、不同品种性状差异互补性等生态效应于一体的高效综合丰产栽培技术^[11]。地膜带田具有节水调水效应。越冬期覆膜麦田100 cm土层内含水量比单作麦田多28~32 mm,土壤湿度高1.1%~3.0%。玉米带覆膜田,100 cm土层内含水量比单作田多30~40 mm,土壤湿度高1.5%~3.5%。当过程降水量在15 mm以上时,覆膜地带给相邻地带增水75%左右,而且降水量越大,其调水量越多,基本上实现两带降水一带用。邓振镛等研究表明,旱作小麦-玉米地膜带田比对照单作小麦和单作地膜玉米增产41%~163%^[12]。水分利用率为1.02 kg/mm,比单作小麦水分利用率0.58 kg/mm和单作玉米0.99 kg/mm高76%和3%。在年降水量450~600 mm半湿润区,≥10℃积温2200~3000℃的温和区采用地膜覆盖在保墒增温方面作用更大,效益显著。近年来,在甘肃陇东地区推广全膜双垄集雨沟播为主的旱作农业综合新技术,从根本上解决了在春旱

严重的情况下保墒保苗和增产增收的难题。

甘肃省黄土高原区年降水量为 300 ~ 600 mm, 大多属半干旱半湿润气候区。该地区以旱作农业为主, 经过 10 年的试验示范, 在全省大力推广全膜双垄沟播玉米或马铃薯的旱作农业新技术。在覆盖方式上由半膜改为全膜, 在种植方式上由平铺穴播改为沟垄种植, 在覆盖时间上由播种时覆膜改为秋覆膜或顶凌覆膜, 即先在田间起大小双垄, 用地膜进行全覆盖。不但起到大面积保墒作用, 还能形成自然的集流面, 使有限的降水被沟内种植的作物有效吸收, 从而形成了地膜集雨、覆盖抑蒸、垄沟种植为一体的多种抗旱保墒新技术。试验示范表明, 年降水量在 250 ~ 550 mm、海拔在 2 300 m 以下的地区, 为农作物生长创造一个良好的小环境。采用这种新技术种植玉米比相同条件下的半膜平覆增产 35% 以上, 种植马铃薯比露地栽培增产 30% 以上, 增产效果非常显著。目前全省推广面积达 33.33 万 hm^2 , 将大大提高旱作农业的集约化水平和土地产出率^[13]。

覆盖抗旱技术方面除地膜覆盖以外, 还有秸秆覆盖、有机物覆盖以及甘肃中部地区的砂砾覆盖等, 均可达到减少农田蒸散、保住土壤水分、提高产量的目的。

2.5 发展设施农业 用塑料大棚抗干旱最早成功的例子出现在波斯湾的阿拉伯联合酋长国。在我国北方地区, 温室、塑料大棚、小拱棚不但能增加热量, 而且有明显的抗旱作用。特别是为高产的庭院经济发展提供了技术条件。温室和塑料大棚在节约用水效益方面效果非常显著。一般情况下用水可以节省 50%, 但产量提高 1 倍多。尤其小拱棚在北方春季多风季节不但可保护土表, 还能减少土壤水分蒸发, 以防御干旱产生。

3 优化资源配置, 调整农业结构

农业对干旱最为敏感, 受其影响也最大。减轻干旱对农业的影响, 实现农业跨越式发展、经济效益与生态效益双赢的出路是推进农业结构的调整。研究认为^[14-16], 年降水量 350 ~ 400 mm 为农牧分界线。在年降水量 400 mm 以下地域, 因地制宜, 荒山、荒坡、荒沟实行退耕还林草, 以牧为主, 农林业为辅。种植业以耐旱作物和品种为主, 如谷子、糜子、荞麦、苜蓿、豆类、胡麻、马铃薯等。种地与养地相结合, 重视发展沙草产业。在年降水量 400 ~ 550 mm 地域, 要实施农林牧比例协调综合发展, 种植业可选择多种耐旱作物和品种, 秋收作物的比例大于夏收作物。年降水量在 550 mm 以上的地域, 以农为主, 林牧为辅, 秋粮作物与夏粮作物比例要协调。

要大力发展地方特色农业和特色作物。利用当地特有的土壤、气候条件, 调整作物结构, 发展特色农业, 生产特色农产品。如甘肃的油橄榄、黄花菜、百合、蕨菜、木耳、黑瓜子、啤酒大麦、啤酒花、酿酒葡萄、药材等, 新疆的棉花、甜菜、瓜果等。特色农业要走专业化、规模化、产业化的路子, 建立有地方特色的农产品品牌, 提高农产品的知名度, 扩大产品的外销量。要大力发展草地畜牧业。我国的主要牧区几乎全部集中在西部地区, 大多在干旱半干旱区, 畜牧业有很大的发展潜力和空间。这些地区要加强草原建设, 增加人工牧草和改良草场面积; 引进优质牧草, 发展草业; 采用畜产品的

先进加工技术, 创办现代化的畜牧产业。在农区也要建设人工牧草基地, 大力发展畜牧业。甘肃省酒泉、定西等地发展牧草基地, 已成为当地支柱产业之一, 就是成功的范例。

4 大力开发空中水资源^[17]

据计算, 空中云水资源有 28 万亿 t (仅占全球总水量的 0.002%), 虽然总量少, 但循环快, 周期仅 8.7 d。一年之内空中水可以循环 42 次, 空中水量就是 1 176 万亿 t, 这远超出地表水的总量, 为地表水总量的 8.4 倍。在西北地区, 有 85% 左右的水汽直接穿过该地区上空出境, 只有约 15% 形成降水; 在西南地区有 20% 左右形成降水, 约 80% 流出境外。

气象卫星探测资料分析得出, 西北地区平均云量最大区出现在天山、昆仑山和祁连山北坡, 祁连山的空中水汽主要来自西风环流携带的大西洋及欧亚大陆蒸散的水汽, 是我国西北的 3 个主要水汽来源之一。据测算, 祁连山区空中水汽特别是较高层的水汽资源比较丰富, 基本具备形成降水的空中水汽条件, 并通过祁连山脉地形的动力作用有利于形成降水。应该充分利用有利条件, 抓住有利时机, 及时开展大规模祁连山区人工增雨(雪)作业, 取得最佳的作业效果。人工增雨(雪)是开发利用空中云水资源的主要途径。大量试验结果表明, 在一定条件下对冷云催化可增加降水量 10% ~ 25%。据统计测算, 飞机人工增雨的投入和效益比为 1:30。因此开发空中水资源可缓解陆地水资源的不足。人工增雨雪的手段, 主要运用飞机、火箭、高炮和焰弹为作业工具, 对 0 °C 以下云层施放人工冰核如碘化银等或者制冷剂, 进行人工催化, 以提高降水云系的降水率。

目前我国大部分地区都已经开展人工增雨雪的工作。1995 ~ 2003 年, 全国有 23 个省共组织实施人工增雨作业 4 231 次, 累计飞行 9 881 h, 增雨面积达到 300 多万 hm^2 , 增加降水约 2 100 亿 m^3 , 在减轻和缓解干旱对国民经济带来的不利影响方面, 发挥了显著的作用。

5 小结

目前我国北方半干旱半湿润气候区防旱减灾主要采用 4 项关键适用技术。首先, 加强干旱灾害动态监测预测与风险评估。为决策部门和社会提供动态的干旱灾害监测信息, 准确的干旱气候预测和灾后风险评估。第二, 改进农业耕作技术, 提高水资源利用率。积极采取开发土壤水库、实施集雨节灌农业、推广节水灌溉、推广旱作地膜覆盖、发展设施农业等 5 项适用技术。第三, 优化资源配置, 调整农业结构。根据不同气候类区调整农林牧业结构比重, 采取调整夏粮、秋粮、经济作物、饲料作物种植比例、大力发展地方特色农业和特色作物、大力发展草地畜牧业等 3 项措施。第四, 大力发展空中水资源, 补充陆地水资源不足。

参考文献

- [1] 符滨斌. 解读全球变暖背景下的区域干旱化[N]. 中国气象报, 2009-03-27(3).
- [2] 李世奎. 中国农业灾害风险评价与对策[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 109-281.
- [3] 蒲金涌, 张存杰, 姚小英, 等. 干旱气候对陇东南主要农作物产量影响的评估[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 167-171.
- [4] 邓振镛. 高原干旱气候作物生态适应性研究[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 25-89.
- [5] 程纯枢. 中国的气候与农业[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 488-500.

改进和突破。

3.3 固定化酵母在改进果酒品质及风味上的应用 酵母细胞固定化后常会伴随生理及发酵特性的改变,从而使果酒中各种挥发性副产物的生成受到影响,造成风味和品质的改变。朱建华等^[17]探讨了通过 Al^{3+} 置换固化海藻酸钠固定化酵母菌种制备猕猴桃果酒的发酵工艺,结果表明,酵母用海藻酸钠固定化后用 Al^{3+} 置换,于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下发酵,测得果酒的酒度和 Vc 保留率高,吸光度小,比传统发酵更具猕猴桃典型风味,色泽金黄透亮。

采用游离细胞活性干酵母发酵生产的杨梅酒表现为柔润感差,原香、风味不足,色泽较淡。张卫国等^[30]通过对比试验,研究了海藻酸钙固定化细胞发酵杨梅果酒的发酵条件,结果表明,与传统发酵相比,固定化细胞发酵的果酒酒液不仅呈现杨梅特有的色泽,且澄清度更高。薛海燕等^[28]研究发现,固定化酿酒酵母进行发酵的葡萄酒的色泽比游离酵母发酵的要好;在用固定化酿酒酵母进行发酵第 2 批次及后续的发醇时,其口感也比游离发酵的口感要好;固定化发酵还能增加葡萄酒的营养功能,减少葡萄酒中的多酚类物质和单宁的含量,从而获得高质量的葡萄酒。夏红等^[31]以 2% 海藻酸钠和 6% PVA 为载体,4% $CaCl_2$ 为载体交联剂,将 SNS07 菌株细胞进行固定,考察固定化酵母对柿酒产品品质的影响,结果表明,与游离酵母相比固定化酵母发酵柿酒的各项指标一致性更强,产品质量更稳定。

4 结语

综上所述,利用固定化酵母发酵生产果酒与传统的游离酵母发酵相比具有生长快、反应迅速、可连续使用、产物易分离等优点,但在生产技术上还存在载体使用时间短、重复使用一段时间后易染杂菌、占罐容积大和启动时间长等关键问题。目前固定化酵母发酵生产果酒的技术还未大量应用于果酒生产中,但固定化酵母发酵作为一种新型的果酒发酵方式,已经引起国内外研究者的瞩目。随着各方面研究的进一步深入和固定化细胞各项技术的日渐成熟,固定化细胞技术必将在果酒酿造工业中得到愈来愈广泛的应用。

参考文献

[1] 赵霖. 果酒与健康[J]. 中国酿造, 1998(6): 36-37.
 [2] 张磊, 张焯, 侯红萍. 固定化细胞技术的研究进展[J]. 四川食品与发酵, 2006, 42(1): 5-7.
 [3] 张茵, 杜双奎, 于修焯, 等. 酿酒酵母细胞固定化研究[J]. 中国酿造, 2006, 155(2): 12-15.
 [4] 耿曙光. 固定化酵母应用于酵母工序大生产试验研究[J]. 中国酿造, 2006, 159(6): 45-46.

[5] 王杏文, 邱兴天, 季更生, 等. 发酵抑制物和环境因子对游离及固定化酵母发酵的影响[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(5): 833-836.
 [6] 余冬生, 张海波, 马立志, 等. 固定化酵母发酵制备菠萝酒[J]. 酿酒科技, 2004, 122(2): 107-109.
 [7] 贺江, 樊明涛, 包飞. 固定化酵母粒子的制备及特性[J]. 酿酒科技, 2007, 161(11): 29-33.
 [8] 程江峰, 何国庆. 陶瓷拉西环固定化酵母细胞生物催化剂制备过程研究[J]. 浙江树人大学学报, 2001, 1(2): 64-68.
 [9] 程江峰, 何国庆. 固定化酵母细胞啤酒连续后发酵工艺条件的优化[J]. 中国食品学报, 2004, 4(2): 31-34.
 [10] LOMMI H, AHVENAIMEN J. Method using immobilized yeast to produce ethanol and alcoholic beverages: European, 0361165 [P]. 1990.
 [11] BAKOYIANIS V, KANELLAKI M, PSARIANOS K, et al. Low-temperature, continuous wine-making by immobilized cells: a comparative study of the effect of temperature on volatile byproducts[J]. Food Biotechnol, 1998, 12: 187-207.
 [12] 肖美燕, 徐尔尼, 陈志文. 包埋法固定化细胞技术的研究进展[J]. 食品科学, 2003, 24(4): 158-161.
 [13] 吕跃钢, 马家津. 固定化细胞颗粒珠制备条件的研究[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2007, 22(4): 21-41.
 [14] 江俊明, 周典湘. 固定化细胞包埋剂的筛选[J]. 食品与发酵工业, 1998(3): 34-38.
 [15] 严复, 吴怡莹, 王运吉, 等. 固定化酵母的研究[J]. 食品与发酵工业, 1981(2): 68-71.
 [16] 谭峰, 易欣欣. 酵母细胞固定化的研究[J]. 北京农学院学报, 1996, 11(2): 45-50.
 [17] 朱建华, 钟瑞敏, 陈崇贵. 海藻酸铝固定化酵母猕猴桃酒发酵工艺及酒体澄清研究[J]. 酿酒, 2006, 33(4): 75-77.
 [18] 周世水, 丁金国, 姚汝华, 等. 固定化酿酒酵母发酵香蕉酒的研制[J]. 酿酒, 2002, 29(3): 64-66.
 [19] 刘锋, 钟瑞敏, 曾庆孝, 等. 固定化细胞酿造杨梅果酒的研究[J]. 食品与机械, 2005, 21(1): 7-9.
 [20] 叶日英. 固定化酵母低温发酵菠萝酒研究[J]. 食品科技, 2000(2): 46-47.
 [21] 侯红萍, 王家东. 固定化酵母菌在白葡萄酒生产中的应用研究[J]. 中国食品学报, 2005, 5(2): 60-63.
 [22] 李桂银, 黄可龙, 蒋玉仁, 等. 壳聚糖球固定化酵母细胞的研究[J]. 现代生物医学进展, 2007, 7(7): 981-984.
 [23] 蒋挺大. 甲壳素和壳聚糖作为酶和细胞的固定化载体的研究进展[J]. 工业微生物, 1998, 28(3): 32-37.
 [24] 梁峙, 赵孝华. 海藻酸钠固定化酵母菌的应用研究[J]. 食品科技, 2002, 123(12): 34-35.
 [25] 武运, 黄文书, 胡丽红, 等. 固定化酵母细胞发酵杏酒的研究[J]. 食品工业, 2008(5): 19-21.
 [26] 武运, 杨海燕, 郭才亮, 等. 固定化酵母发酵蟠桃酒的工艺研究[J]. 酿酒, 2008, 25(1): 102-105.
 [27] 黄国清, 华洋林, 肖仔君. 西番莲干型果酒固定化发酵工艺[J]. 酿酒, 2006, 33(4): 43-45.
 [28] 薛海燕, 方淼春. 新型固定化工艺酿造低醇葡萄酒对酒品质的影响[J]. 酿酒科技, 2008, 168(6): 92-94.
 [29] 阙振荣, 苏明, 李春荣, 等. 固定化酵母制备枣酒的条件探讨[J]. 河北大学学报, 1993, 13(3): 55-60.
 [30] 张卫国, 黄华海, 张木灿, 等. 固定化酵母细胞发酵杨梅酒的研究[J]. 食品工业, 2006(1): 38-39.
 [31] 夏红, 曹卫华, 吴涛, 等. 固定化酵母酿造柿酒工艺及产品质量分析[J]. 扬州大学学报, 2007, 28(4): 69-99.

(上接第 14231 页)

[6] 邓振镛, 董安祥, 郝志毅, 等. 干旱与可持续发展及防旱减灾技术的研究[J]. 气象科技, 2004, 32(3): 187-190.
 [7] 邓振镛, 张毅, 郝志毅. 半干旱半湿润气候区实施集雨节灌农业技术的研究[J]. 中国农业气象, 2003, 24(4): 16-18.
 [8] 张生贵, 蒲振刚. 当惊世界殊——写在我省“雨水利用行动”荣获世界水论坛特等奖之际[N]. 甘肃日报, 2003-04-10(1).
 [9] 宋连春, 邓振镛, 董安祥. 干旱[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 32-33.
 [10] 李玉中, 程延年, 安顺清. 北方地区干旱规律及抗旱综合技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 317-333.
 [11] 董宏儒, 邓振镛. 带田农业气候资源的利用[M]. 北京: 气象出版社, 1988.

[12] 邓振镛, 仇化民. 旱作小麦-玉米垄沟盖地膜带田集水调水与增产效应研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 253-257.
 [13] 陆浩. 旱作农业的一场革命——关于总结推广全膜双垄沟播技术的思考[N]. 甘肃日报, 2008-08-06(1).
 [14] 张书余. 干旱气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 262-292.
 [15] 裘国旺, 赵艳霞, 王石立. 气候变化对我国北方农牧交错带及其气候生产力的影响[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 23-28.
 [16] 樊江文, 梁璐, 霍桂林. 北方农牧过渡带典型地区农牧业生产系统分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(1): 77-80.
 [17] 尹宪志, 邓振镛, 徐启运, 等. 甘肃省近 50 年干旱灾情研究[J]. 干旱区研究, 2005, 22(1): 120-124.