

风沙土膜下滴灌灌溉水量对玉米生长和产量的影响

窦超银, 孟维忠, 佟威 (辽宁省水利水电科学研究院, 辽宁沈阳 110003)

摘要 [目的] 为了更好地为风沙土膜下滴灌灌溉制度的制定提供理论依据。[方法] 通过田间试验对不同灌溉水量条件下风沙土地区膜下滴灌玉米生长和产量的影响进行研究。[结果] 灌溉水量对玉米株高、茎粗、叶面积指数(LAI)和单株地上干物质重等营养生长指标影响较小; 穗长、穗粗、行粒数、百粒重、穗粒重、穗重等产量构成性状和产量均随着灌水量的增加先增大后减小, 灌溉水量为75% ET时产量最高, 达到7.67 t/hm²; 水分利用效率(WUE)随着灌水量的增加线性下降, 25% ET时WUE最大, 为1.30 kg/m³。[结论] 在风沙土地区, 玉米膜下滴灌灌溉水量宜控制在25% ET~75% ET。

关键词 产量; 灌溉水量; 风沙土; 膜下滴灌; 水分利用效率

中图分类号 S275.6; S274.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)05-01312-04

Effects of Irrigation Water on the Growth and Yield of Maize on Aeolian Sandy Soil under Mulch-drip Irrigation

DOU Chao-yin et al (Water Conservancy and Hydropower Science Research Institute of Liaoning, Shenyang, Liaoning 110003)

Abstract [Objective] In order to provide the theory basis for mulch-drip irrigation regime. [Method] Effects of irrigation water on the growth and yield of maize in aeolian sandy soil were studied by field experiment. [Result] The results showed that irrigation water had little effect on stem length, stem diameter, LAI, and dry matter accumulation over ground per plant; ear length, ear coarse, kernels per row, weight per 100 kernels, weight of kernels per ear, ear weight and yield all increased first and then decreased as irrigation water increased; the highest yield, which reached 7.67 t/hm², was got for WUE decreased linearly with increasing irrigation water, and its maximum was 1.30 kg/m³ for 25% ET treatment. [Conclusion] Therefore, in the aeolian sandy soil area, irrigation water about 25% - 75% ET was recommended.

Key words Yield; Irrigation water; Aeolian sandy soil; Mulch-drip irrigation; Water use efficiency

风沙土是辽宁西北部与内蒙古科尔沁沙地接壤地区普遍存在的土壤资源, 土壤以粉细沙为主, 含水率较低, 保水保肥性差。长期以来, 该地区土地利用以玉米种植为主, 依靠降雨补充灌溉, 广种薄收, 产量仅有4.5~6.0 t/hm², 土地生产效率低, 严重制约了地区农业和经济发展。近年来, 相关学者针对辽西北风沙区土地利用开展了大量研究^[1], 尤其是随着国家“东北四省区节水增粮行动”和辽宁省“千万亩滴灌灌溉工程”等工程的实施, 在辽西北地区大面积推广应用玉米大垄双行膜下滴灌技术, 为风沙土地资源的高效利用提供了契机。

膜下滴灌是将滴灌技术与覆膜种植技术有机结合起来的灌溉新技术, 其中地膜覆盖具有明显的增温保墒作用, 阻隔了土壤向大气蒸发的通道, 水分循环限于膜下, 减少了水分散失, 提高了水分利用的有效性; 而滴灌实现作物按需供水, 其高频率、低流量的灌水方式使作物根区土壤经常保持较高的含水量, 创造了有利于作物生长发育的水、肥、气、热环境, 因此, 膜下滴灌技术在节水灌溉和调控土壤水分运动等方面得到广泛应用, 并获得较好的节水增产效果^[2-3]。将膜下滴灌技术应用于风沙土玉米种植, 则可利用该技术对水分运动进行调控, 为作物生产提供良好的土壤环境, 但是, 目前相关研究还鲜有报道。因此, 笔者通过田间试验, 在辽西北风沙区以玉米辽单31为试验材料, 研究不同灌溉水量对玉米生长和产量等的影响, 旨在为风沙区膜下滴灌灌溉制度

的制定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况 试验区位于辽宁省彰武县北甸子村(E122°23'、N42°50'), 地处科尔沁沙地南缘, 属于温带半干旱季风气候区, 其主要特征是干燥, 风沙大。多年平均降雨量412 mm, 降雨量年内分布不均, 夏季降雨量占全年降雨量的60%~70%; 多年平均蒸发量1781 mm; 年平均气温6.1℃, 平均风速3.7~4.2 m/s, 最大瞬时风速达24.0 m/s, 沙尘暴天气10~15 d; 植物生长期145~150 d, 无霜期154 d。试验区土壤主要为流动风沙土, 干容重1.69 g/cm³, 田间持水率为6.3%, 凋萎含水率为1.7%, 饱和持水率为16.9%。土壤机械组成以细沙为主, 占70%, 物理性黏粒和粗沙很少; 有机质含量为0.66 g/kg。

1.2 供试材料与试验设计 试验于2012年5~9月进行, 共计16个试验对比小区, 小区长2.8 m, 宽2.4 m, 面积6.67 m²。种植作物为玉米辽单31, 采用滴灌灌溉, 灌溉水量根据布置在冠层顶部20 cm蒸发皿7 d累积水面蒸发量(ET)为参考, 分别设定25% ET(DI1)、50% ET(DI2)、75% ET(DI3)、100% ET(DI4)和125% ET(DI5)5个处理, 当灌水周期内发生降雨时, 从计算灌水量中减去降雨量。玉米垄距1.2 m, 宽行距0.8 m, 窄行距0.4 m, 株距0.27 m, 每个处理设3个重复。

1.3 田间管理 播种前种子进行晾晒处理, 各处理均在春播前翻地, 平整土地, 施农家肥(鸡粪)1.5 t/hm², 5月11日起垄铺设滴灌带, 覆膜播种。底肥施磷酸二铵225 kg/hm², 玉米复合肥225 kg/hm²。5~6叶期定苗, 拔节期中耕除草, 喷施农药甲胺磷一次, 防治虫害。9月10日后不再灌溉, 10月3日收获。

1.4 测定指标与方法 降雨利用试验区附近的小型气象站

基金项目 国家科技支撑计划项目(2014BDA12B04)。

作者简介 窦超银(1982-), 男, 江苏如皋人, 工程师, 博士, 从事节水灌溉原理与技术研究。

收稿日期 2014-01-16

监测,在试验区从南到北在冠层上方 20 cm 分别放置 3 套 20 cm 蒸发皿测量冠层水面蒸发,每天 08:00 测量一次。灌溉水量通过水表观测。在玉米成熟期前,每 7 d 测量一次玉米株高、茎粗和单株全部展开叶的叶面积,按长×宽×系数法调查叶面积,叶面积指数(LAI)通过叶面积与单位土地面积折算求得^[4];在乳熟期随机取 3 株玉米,截取地上部分物质,称鲜重,在 105 °C 下杀青 30 min,再于 80 °C 下烘干至恒重,称干重;收获时在各小区随机取样 10 株,收获后室内考种,考查项目包括穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、穗粒数和百粒重等主要农艺性状,并计算产量。水分利用效率(WUE)根据文献[5]的算法计算。

2 结果与分析

2.1 降雨量和灌溉量分析 由图 1 可知,玉米生育期内共降雨 39 次,降雨量达到 394.2 mm,其中有效降雨 11 次,累积 273.9 mm,最大降雨量发生在 8 月 8 日,降雨量达到 38.3 mm,其次发生在 7 月 22 日,降雨量为 30.8 mm。5 月 11~9 月 9 日冠层水面累积蒸发量 731.9 mm,全生育期共灌水 8 次,DI1、DI2、DI3、DI4 和 DI5 分别灌水 91.2、168.5、252.8、337.0 和 421.3 mm。

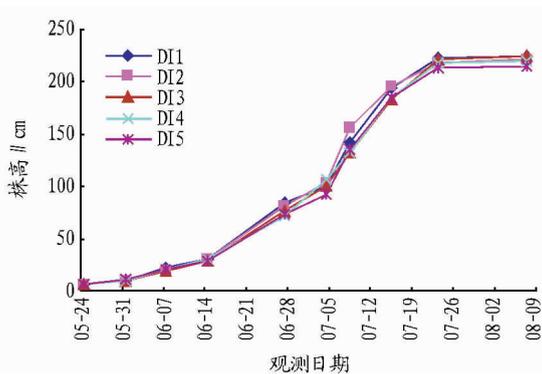


图 2 灌溉处理对玉米株高的影响

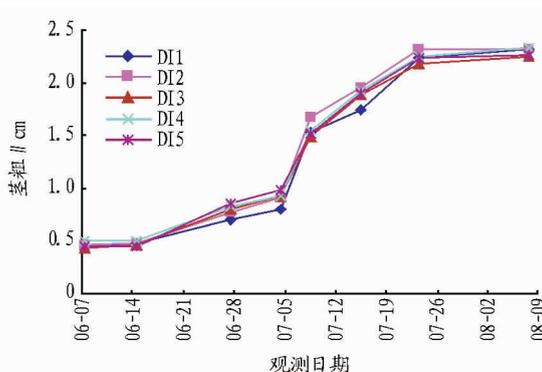


图 3 灌溉处理对玉米茎粗的影响

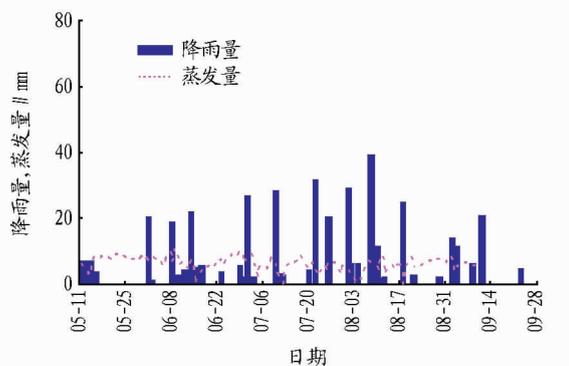


图 1 降雨量和冠层水面蒸发量

2.2 不同处理对玉米生长的影响

2.2.1 对株高的提高。由图 2 可知,不同处理下玉米株高在生育期内总体变化趋势相同,随着生育期的进行,株高持续增大,拔节期和抽雄期株高增加最为迅速,灌浆期后株高相对稳定。苗期~拔节期,各处理株高相近,变幅一般在 10%~15%;拔节~抽穗期,DI2 处理株高高于其他处理,DI5 处理株高最矮;抽穗期后,各处理株高差距逐渐缩小,最终稳定在 15 cm 以内,变幅小于 10%。

2.2.2 对茎粗的影响。由图 3 可知,拔节~抽雄期,随着玉米生育进程的推进,茎粗逐渐增大;抽雄期后,茎粗相对稳定。不同处理之间茎粗差异根据玉米生育期可以分为 3 个阶段:苗期~拔节期,灌水量相对较多的 DI3、DI4 和 DI5 处理茎粗大于灌水量相对较少的 DI1 和 DI2 处理;拔节期后,处理之间变化规律相反,其中 DI2 处理茎粗最粗;灌浆期,各处理茎粗相近,变幅仅在 3%~8%。

2.2.3 对 LAI 的影响。由图 4 可知,各处理 LAI 随着生育进程的推进先增大后减小;苗期, LAI 增长缓慢;拔节~灌浆期, LAI 增长明显;灌浆期后, LAI 逐渐下降。苗期~拔节期,不同

灌溉处理 LAI 都较小,随着灌溉水量的增加, LAI 有减小的趋势, DI1 处理高出 DI5 处理 10%~25%;随着玉米的生长,各处理之间差异逐渐减小,到灌浆期时,各处理 LAI 均接近 4,变幅低于 10%。

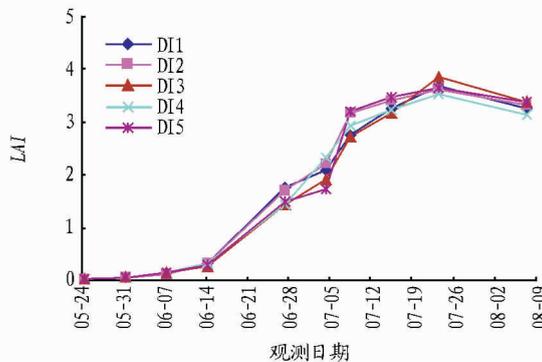


图 4 灌溉处理对玉米叶面积指数(LAI)的影响

2.2.4 对单株地上干物质重的影响。由表 1 可知,随着灌溉水量的增加,地上干物质重先增大后减小, DI3 处理地上干物质重最大,达到 0.30 kg;地上物质在不同器官中的分配从重到轻依次为:穗部>叶>茎秆,穗部物质累积明显高于其他器官,且穗重和叶重随灌水量增加的变化趋势和地上物质干重相同。DI3 处理穗重和叶重高于其他处理。不同处理穗部、叶片和茎秆干重分别为地上部分物质干重的 53.9%~59.6%、24.0%~29.4%和 13.2%~17.2%;叶干重所占比例随灌水量的增加先增大后减小,而茎秆干重所占比例呈先减小后增大的变化趋势,其中 DI3 叶干重占地上干物质重的 28.7%,高于其他处理,这一分配比例为干物质的形成提供

了有利条件。

表1 不同灌溉处理对玉米地上物质累积的影响 kg

处理	单株地上干物质积累			总计
	穗	叶	茎秆	
DI1	0.16(59.6%)	0.07(24.1%)	0.05(16.3%)	0.28
DI2	0.17(59.0%)	0.07(25.3%)	0.05(15.7%)	0.29
DI3	0.17(58.2%)	0.09(28.7%)	0.04(13.2%)	0.30
DI4	0.15(53.9%)	0.09(29.4%)	0.05(16.7%)	0.29
DI5	0.15(58.8%)	0.06(24.0%)	0.05(17.2%)	0.27

注:括号内百分数表示该器官干物质重占地上干物质重的百分比。

2.3 不同处理对玉米产量及其构成的影响

2.3.1 对产量构成的影响。由表2可知,穗长和穗粗分别

表2 不同灌溉处理对玉米产量及产量构成性状的影响

处理	穗长 mm	穗粗 mm	秃尖长 mm	行数 行	行粒数 粒	百粒重 g	穗粒重 g	穗重 g	产量 t/hm ²	WUE kg/m ³
DI1	176.4a	48.7a	3.6a	15.4a	40.2a	27.8a	163.2ab	211.0ab	7.00a	1.30a
DI2	192.6b	48.4a	3.4a	14.8a	42.6a	27.6a	168.1a	231.5ab	7.14a	1.16ab
DI3	195.2b	49.0a	2.9a	14.4a	43.3a	28.3a	178.9a	242.6a	7.67a	1.10b
DI4	185.2ab	47.3ab	7.7b	14.2a	40.3a	26.7ab	153.1ab	196.7bc	6.40ab	0.81c
DI5	172.3a	46.3b	5.0ab	15.1a	39.1a	24.0b	137.9b	178.8c	5.56b	0.64c

注:表中同列数据后无相同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3.2 对产量及WUE的影响。由表2可知,在试验设置的5个处理中,产量从大到小依次为DI3 > DI2 > DI1 > DI4 > DI5,DI3处理产量达到7.67 t/hm²,分别高出DI2、DI1、DI4、DI5处理7.4%、9.5%、14.3%和29.8%,其中DI5处理与DI1、DI2和DI3处理差异达到显著水平。WUE从大到小顺序为DI1 > DI2 > DI3 > DI4 > DI5,即WUE随着灌水量的增加而减小,与DI1处理相比,DI2、DI3、DI4和DI5处理WUE分别下降12.1%、17.9%、36.4%和49.8%,其中DI1处理WUE显著高于DI3、DI4和DI5处理,DI2和DI3处理与DI4和DI5处理之间差异也达到显著水平。

回归分析表明,在试验设置的灌溉水量范围内,产量与耗水量之间具有良好的非线性关系,而WUE和耗水量之间具有较好的线性关系:

$$Y_{\text{yield}} = -0.35X^2 + 4.27X - 5.49, R^2 = 0.90$$

$$Y_{\text{WUE}} = -0.22X + 2.51, R^2 = 0.98$$

式中, Y_{yield} 为产量, t/hm²; Y_{WUE} 为水分利用效率, kg/m³; X 为耗水量, 10³ m³/hm²。这说明在风沙土地地区,补充灌溉在一定范围内可以增加玉米产量,但产量提高的同时也增加了灌溉水的无效消耗,因此,在以提高WUE为目标时,该地区滴灌灌水量以接近25%ET为宜,雨水丰沛年份,依靠雨养种植也可以获得较高的水分利用效率。

3 结论与讨论

3.1 讨论 一般研究均表明,玉米生长对水分条件较为敏感。如张芮等研究表明,灌水不充分时易导致叶龄推迟,植株矮小,LAI一直较小,最终影响生物产量和经济产量^[6]。姚启伦等研究表明,水分缺乏时,株高、总叶面积、地上部干质重等均不同程度地下降^[7]。焦艳平等研究也表明,株高、茎粗、叶面积指数、地上部分干物质积累量等均随着土壤水势

在172.3~195.2和46.3~49.0 mm,随着灌水量的增加先增大后减小,DI3处理最大;秃尖长随灌水量的增加先减小后增大,DI3处理秃尖长最短,较DI4处理减少62.2%;行粒数变化趋势与穗长一致,DI3处理行粒数最多,高出DI5处理10.7%;各处理行数接近,一般均为14或16行;百粒重、穗粒重和穗重分别在24.0~28.3、137.9~178.9和178.8~242.6 g,均随着灌水量的增加先增大后减小,DI3处理最大,DI5处理最小。方差分析表明,DI5处理穗长、穗粗、百粒重和穗重显著低于DI1、DI2和DI3处理,穗粒重显著低于DI1和DI2处理,其他处理之间除DI4处理穗重显著低于DI3处理外,差异均不显著。

的升高而增加^[8]。也有研究认为,玉米形态和生理特征变化和水分胁迫程度相关,只有重度水分亏缺才对玉米苗株高、茎粗、叶片数和叶面积等产生一定的抑制作用^[9]。该试验中,不同灌溉水量对玉米生长影响并不明显,这与前人研究结论不完全一致。原因可能是:①降雨量及降雨在生育期内的分布使各处理玉米均未受到重度水分胁迫;②风沙土特殊的理化性质有别于其他研究区的土壤条件,风沙土持水保肥性能差,而灌溉水量的增加相应延长了灌水时间,长时间灌溉并没有显著增加土壤根系分布层蓄水量,相反加剧了对土壤养分的淋洗,降低了土壤温度,不利于玉米营养生长。

作物产量与其生育期总耗水量关系的看法已被大多数人所接受,即认为在作物达到最大产量后再增加灌水是一种浪费^[10],而产量与地上物质积累量密切相关,在一定范围内地上物质积累越多,子粒产量也就越高。该研究中产量变化规律与前人研究结果一致^[11]。张晓伟等研究表明,WUE随着灌水量的增加而增加^[12];Al-onlran等研究也表明,WUE值随灌溉水量增加而呈线性增加,灌溉水量高于120%ET后减小^[13]。但该研究中WUE随灌水量的增加而减小,这与研究区土壤有关,风沙土持水性差,土壤在灌溉后很快饱和,湿润区与干燥区水势梯度大,灌溉水向根区以外扩散,停止灌溉后,湿润区失水快,因此,增加灌溉水量并未改善作物根区土壤环境,WUE降低速度高于增产率,导致WUE随灌水量的增加呈递减趋势。

3.2 结论

(1)在风沙土地地区,在膜下滴灌玉米种植利用条件下,灌溉水量对玉米营养生长的影响较小,当灌水量在25%ET~125%ET时,株高、茎粗、LAI和单株地上干物质重变幅均在10%内;地上部分干物质重随着灌溉水量的增加先增大后

减小。

(2) 穗长、穗粗、行粒数、百粒重、穗粒重和穗重均随着灌水量的增加先增大后减小, 灌水量为 75% ET 时达到最高; 行数受灌溉影响较小; 秃尖长随着灌水量的增加呈先减小后增大的趋势。

(3) 玉米产量随着灌溉水量的增加呈“抛物线”型变化, 灌水量近 75% ET 时可以获得最高产量; WUE 随着灌溉水量的增加线性下降。

因此, 在风沙土地区, 利用膜下滴灌技术增加粮食产量和提高土地资源利用率时, 灌溉水量以 75% ET 为宜; 在以减小地下水资源开采利用, 提高灌溉水利用效率为目标时, 灌溉水量可控制在 25% ET 以内。

参考文献

- [1] 窦超银, 李春龙, 李光永, 等. 吸力式微润灌水器水力特性试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(4): 83-86.
- [2] 李援农, 孙志武, 何林望, 等. 膜下滴灌技术研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2001, 29(4): 90-92.
- [3] 万素梅, 胡守林, 翟云龙. 膜下滴灌棉花土壤水分动态变化研究[J]. 水土保持学报, 2007, 14(1): 90-91.

- [4] 胡小平, 薛永祥. 玉米单株叶面积的快速测定[J]. 玉米科学, 1993, 1(3): 77-78.
- [5] ZHANG Y Q, KENDY E, YU Q, et al. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain [J]. Agricultural Water Management, 2004, 64: 107-122.
- [6] 张芮, 成自勇, 李有先. 水分亏缺对膜下滴灌制种玉米生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 125-128.
- [7] 姚启伦, 陈秘. 干旱胁迫对玉米地方品种苗期植株形态的影响[J]. 河南农业科学, 2010(2): 20-23, 27.
- [8] 焦艳平, 康跃虎, 万书勤, 等. 干旱区盐碱地覆膜滴灌条件下土壤基质势对糯玉米生长和灌溉水利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 144-151.
- [9] 郑盛华, 吕昌荣. 水分胁迫对玉米苗期生理和形态特性的影响[J]. 生态学报, 2006(4): 1138-1143.
- [10] 蔡焕杰, 康绍忠, 张振华, 等. 作物调亏灌溉的适宜时间与调亏程度的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 24-27.
- [11] 刘伟, 吕鹏, 苏凯, 等. 种植密度对夏玉米产量和源库特性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1737-1743.
- [12] 张晓伟, 黄占斌, 李秧秧, 等. 滴灌条件下玉米的产量和 WUE 效应研究[J]. 水土保持研究, 1999, 6(1): 72-75, 98.
- [13] AI-ONLRAN A M, SHETA A S, FALATAH A M, et al. Effect of drip irrigation on squash (*Cucurbita pepo*) yield and water-use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits[J]. Agricultural Water Management, 2005, 73(1): 43-55.

(上接第 1311 页)

率[生物学效率 = (鲜菇重/培养料干重) × 100%], 取平均值进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同培养料配方下秀珍菇菌丝生长速度分析 从表 1 可以看出, 配方 3 菌丝生长速度最快, 平均为 2.96 mm/d, 生长势数值为 4, 菌丝洁白浓密, 长势旺盛。其次为配方 4、5、2、1, 生长速度分别为 2.80、2.70、2.44、2.06 mm/d, 生长势数值分别为 3、4、4、3。配方 6(CK) 菌丝生长速度最慢, 平均为 1.33 mm/d, 生长势数值为 3。配方 3、4 和 5 之间相比较, 菌丝生长速度差异不显著, 但与 CK 比较, 差异均极显著。

表 1 不同培养料配方对秀珍菇菌丝生长速度的影响 mm/d

配方	菌丝生长速度	差异显著性		生长势
		0.05	0.01	
3	2.96	a	A	4
4	2.80	a	AB	3
5	2.70	ab	AB	4
2	2.44	b	BC	4
1	2.06	c	C	3
6(CK)	1.33	d	D	3

注: 同列无相同小、大写字母表示配方间比较有显著 ($P < 0.05$)、极显著差异 ($P < 0.01$)。

2.2 不同培养料配方下秀珍菇产量分析 从表 2 可以看出, 霉变废料栽培秀珍菇各配方的生物学效率不同。配方 6(CK) 的生物学效率最高, 平均为 57.37%; 其次为配方 1 和 5, 生物学效率分别为 50.74% 和 43.20%; 配方 2 和 4 的生物学效率分别为 35.48% 和 33.83%; 配方 3 的生物学效率最低, 平均为 28.53%。方差分析表明, 配方 6(CK) 与配方 5、2、4、3 相比较, 差异均达显著水平, 而与配方 2、4 和 3 相比, 差异均达到极显著水平。

表 2 霉变废料栽培秀珍菇不同配方产量比较 %

配方	生物学效率	差异显著性	
		0.05	0.01
6(CK)	57.37	a	A
1	50.74	ab	AB
5	43.20	bc	ABC
2	35.48	cd	BC
4	33.83	cd	BC
3	28.53	d	C

注: 同列无相同小、大写字母表示配方间比较有显著 ($P < 0.05$)、极显著差异 ($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

(1) 在废料中添加适量的石灰可有效地杀灭杂菌, 加强灭菌环节, 降低污染率。同时又可调适培养料的酸碱度, 创造适于食用菌菌丝生长的环境, 使菌丝迅速占领料面, 阻止杂菌入侵。在发菌阶段, 配方 3(废料 80% + 棉子皮 14% + 小麦麸 1% + 糖 1% + 石膏 1% + 石灰 3%) 效果较好, 由于废料所占比例较高, 并在有过一次高温灭菌和发菌阶段放置了一段时间后, 材料质地比较松软, 增大了空隙度, 为菌丝的快速生长创造了有利条件, 使发菌速度明显高于对照。

(2) 霉变废料是在培养菌丝生长阶段陆续发生被杂菌污染的菌袋。由于高温处理及堆置后, 料中的 pH 有所下降, 特别是杂菌污染后, 酸败现象更为严重。因此, 为了避免霉变菌袋随处乱堆乱弃对环境造成污染和原材料的浪费, 可充分利用生产过程中废弃的霉变菌料经过处理后进行再生产使用。这样不但能节省原料、降低成本, 还可净化食用菌生产周边环境, 消灭杂菌污染源, 使食用菌栽培生产得以良性循环发展。

参考文献

- [1] 储莉慧, 陈生良, 俞田华, 等. 食用菌废料栽培鸡腿菇[J]. 浙江食用菌, 2009, 17(2): 52-53.
- [2] 刘淑变, 陈棉子壳料袋栽培平菇[J]. 菇农之友, 2009(2): 51.
- [3] 周延斌, 刘海英, 孟祥元, 等. 食用菌培养料不同处理方法效果的研究[J]. 北京农学院学报, 2003, 18(2): 89-91.