

不同施肥水平对旱地马铃薯水分利用效率的影响

王立为¹ 潘志华^{2,4} 高西宁^{1*} 陈东东² 张璐阳²

程路² 周蒙蒙² 李超² 赵沛义^{3,4}

(1. 沈阳农业大学 农学院, 沈阳 110866; 2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193;

3. 内蒙古农牧业科学院 植物营养与分析研究所, 呼和浩特 010031;

4. 农业部农牧交错带生态环境重点野外科学观测实验站, 内蒙古 武川 011700)

摘要 基于内蒙古武川县旱地农田试验, 研究施肥对马铃薯耗水量及水分利用效率的影响, 以期为区域农业可持续发展与生态建设提供科学依据。研究显示: 随着施肥量的增加, 耗水量加大, 但施肥量达到一定程度时耗水量开始减少; 在多雨年, 产量和耗水量都较高; 在少雨年, 产量和耗水量均较低。马铃薯产量与耗水量之间相关关系呈对数型曲线。综合考虑产量与水分利用效率, 在多雨年, 中肥处理既能保证较高的水分利用效率, 也能保证较高产量; 少雨年采取低肥处理, 正常年采取中低肥处理较适宜。研究表明, 农业生产中应根据不同降水水平, 通过适度施肥来提高马铃薯田水分利用效率, 从而达到稳产并节水保墒的目的。

关键词 马铃薯; 旱地; 施肥水平; 耗水量; 水分利用效率

中图分类号 S 14-33; S 532

文章编号 1007-4333(2012)02-0054-05

文献标志码 A

Influence of different fertility levels water use efficiency of the potato in the dry land

WANG Li-wei¹, PAN Zhi-hua^{2,4}, GAO Xi-ning^{1*}, CHEN Dong-dong², ZHANG Lu-yang²,
CHENG Lu², ZHOU Meng-meng², LI Chao², ZHAO Pei-yi^{3,4}

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. Plant Nutrition and Analysis Institute, Inner Mongolia Academy of Agricultural
and Animal Husbandry Sciences, Huhhot 010031, China;

4. Key Observation Station of Ecologic Environment of Ministry of Agriculture, Wuchuan 011700, China)

Abstract This paper is on the effect of fertilization on the water consumption and use efficiency for potato from the experiments of farmland in WuChuan County, Inner Mongolia, so as to provide a scientific basis for sustainable development and eco-regional agricultural building. It is shown that with the increase of fertilizer, water consumption increased, But it decreased when the fertilizer reached to a certain degree. In rainy years, production and water consumption were high, but in dry years they were low. The relationship between potato yield and water consumption is logarithmic. Considering the production and water use efficiency, in rainy years, the middle-fertilizer treatment is appropriate and low fertilizer in dry years and low or middle fertilizer in normal years. It indicates that agricultural production should be based on different levels of precipitation. So from moderate fertilization on potato fields, it would ensure production and section water conservation.

Key words potato; dry land; fertility levels; water consumption; water use efficiency

旱地作物生长发育所需水分主要来源于天然降水, 在半干旱地区, 土壤水分状况直接影响着作物的

分布、生长发育与产量^[1]。当前, 我国北方半干旱地区干暖化趋势增加, 土壤干旱化日趋严重^[2], 如何稳

收稿日期: 2011-10-24

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD09B00); 国家“973”计划项目(2012CB956200)

第一作者: 王立为, 硕士研究生, E-mail: wlwcau@163.com

通讯作者: 高西宁, 副教授, 博士, 主要从事农业气象学研究, E-mail: syaugxn@syau.edu.cn

定粮食产量,提高水分利用效率是促进农业可持续发展的迫切需要,同时加强生态建设也是社会各界十分关注的重大科学问题。

改善土壤水分状况,提高土壤水分利用效率是提高旱地作物产量的重要途径^[3],也是目前水资源日益紧张的形势下农业节水的研究焦点^[4]。一直以来,人们积极探寻旱地条件下提高水分利用效率的有效途径,努力提高农作物产量,以满足日益增长的人口对农产品的需求。美国、澳大利亚和以色列等国在综合提高水分利用率研究方面取得很大进展,并已在农业生产中发挥了作用,目前已开始把注意力转向如何改善植物蒸腾效率本身^[5]。在我国,通过施肥的调节、供水方法的改进来改善水分利用效率以促进农业增产是近些年来水分利用效率研究的重要内容^[6]。有研究认为^[7],在作物需水关键期进行有限供水是提高水分利用效率、增加产量的有效措施。戴庆林等^[8]提出,水肥耦合是提高和稳定产量的重要途径,当降水量达到一定值时,小麦产量与施肥量呈显著正相关,肥效显著,但降水量低于一定值时,肥效则为负值。前人^[9]研究表明,通过施肥水平的改变来调控对土壤水分的消耗,强化对农田作物以水肥为主体的生长因素的调控力度,全面提高北方旱地农业的生产水平,加强生态环境建设,对区域农业和农村可持续发展具有重要意义。

马铃薯是世界上仅次于稻、麦、玉米的第四大粮食作物之一,我国是世界上最大的马铃薯生产国,马铃薯总产量达到世界总产量的20%左右。马铃薯是高产喜肥作物,对肥料反应敏感^[10]。陕北丘陵地区氮肥是影响马铃薯产量的首要因子,其次是磷肥。由于施肥对马铃薯产量和农田耗水量均产生显著影响^[11],所以在气候干暖化背景下,如何合理施肥,在提高产量的同时降低耗水量,提高水分利用效率是当前旱地马铃薯生产中需要研究的重要问题。

本研究以半干旱地区内蒙古武川实验站(农业部呼和浩特农牧交错带生态环境重点野外科学观测实验站)为基地,研究不同施肥水平对旱地马铃薯耗水量、产量及水分利用效率的影响规律,提出适合当地的施肥方式,旨在为旱地农业生产与生态建设提供科学依据。

1 研究方法

1.1 试验区概况

试验区在内蒙古武川县,位于北纬 $40^{\circ}47' \sim$

$41^{\circ}23'$,东经 $110^{\circ}31' \sim 111^{\circ}52'$,海拔1500~2000 m。武川县地处北方农牧交错带中段,属于阴山北麓丘陵区,是我国典型的半干旱偏旱农业区。该区年降水量250~400 mm,且主要集中于夏季;无霜期90~120 d;全年月平均风速达4.5 m/s,5月份风速最大,月均风速可达6 m/s;土壤为栗钙土,0~100 cm的土壤容重在 $1.2 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$,土壤黏粒含量($<0.0002 \text{ mm}$) 在 $0.05\% \sim 0.6\%$,土壤田间持水量在 $10.84\% \sim 20.81\%$ ^[12]。种植制度为一年一熟,马铃薯是主要种植作物之一。

1.2 试验方案

试验为2008、2009和2010年。试验地点选取在内蒙古武川县上秃亥乡下乌兰村,马铃薯品种选取脱毒紫花白。

在旱地中N和P质量比分别为2:1和1:1,共设置11个肥力梯度处理,采用垄作方式,分别设置3次重复,采用播种时一次性施用底肥,小区设置为每个小区长10 m、宽3 m,面积为 30 m^2 。试验设计见表1。

表1 肥力梯度试验设计

Table 1 Fertility gradient experimental design

施肥水平	处理*	理论施肥量/ (kg/666.7 m ²)		实际施肥量/ (kg/30 m ²)	
		N	P	尿素	三料磷
不施肥	N ₀ P ₀	0	0.0	0.0	0.0
低肥	N ₁ P _{0.5}	3	3.3	293.5	146.7
	N ₁ P ₁	3	6.5	293.5	293.5
中肥	N ₂ P ₁	6	6.5	586.9	293.5
	N ₂ P ₂	6	13.0	586.9	586.9
中高肥	N ₃ P _{1.5}	9	9.8	880.4	440.2
	N ₃ P ₃	9	19.6	880.4	880.4
高肥	N ₄ P ₂	12	13.0	1 173.9	586.9
	N ₄ P ₄	12	26.1	1 173.9	1 173.9
超高肥	N ₅ P _{2.5}	15	16.3	1 467.3	733.7
	N ₅ P ₅	15	32.6	1 467.3	1 467.3

注: * 下脚标表示实际施肥量中N与P的质量比,下同。

观测项目包括:1)土壤水分测定。在每个小区测定土壤水分,取样点为垄上,3次重复。测定时间为发芽期、幼苗期、发棵期、结薯期和块茎休眠前期,各测定土壤水分,测定深度为100 cm,取样层次为0~5、5~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90和90~100 cm。

2)马铃薯物候期生长动态和产量测定。记载发芽期、幼苗期、发棵期、结薯期和块茎休眠前期的出现时间;在每一个物候期取样记载叶面积、地上部干质量、叶片数、叶片干质量等生长动态;在作物收获期,测定每窝薯数、单薯质量和单薯尺寸大小。

1.3 研究方法

土壤储水量的计算。土壤储水量是指一定深度或厚度的土壤中含水量的多少,以水层的深度,mm表示,计算公式为

$$SWS = (R \times H \times W) / 10G \quad (1)$$

式中:SWS为土壤储水量,mm; R 为土壤容重, g/cm^3 ; H 为土层厚度,cm; W 为土壤质量含水率,%; G 为水的比重, $1 g/cm^3$ 。

作物耗水量的计算,作物耗水量(CWU)是基于从播种到收获期间0~100 cm土层深度的土壤储水量(SWS)的变化,加上此期间的降水量与毛管上升水,减去径流和渗漏。武川地区地下水位较深,毛管上升水可以忽略。作物耗水量(CWU)可以用以下数学式表示

$$CWU = SWS_s - SWS_h + P - R \quad (2)$$

式中: SWS_s 和 SWS_h 分别为播种和收获时的土壤储水量,mm; P 为生长季的降雨量,mm; R 为径流和渗透总量,mm,在干旱平地区可以被忽略。

水分利用效率的计算

$$WUE = Y / CWU \quad (3)$$

式中:WUE为水分利用效率, $kg/(hm^2 \cdot mm)$;Y为作物经济产量, kg/hm^2 ;CWU为作物生育期耗水量,mm。

2 结果与分析

2.1 降水量及其年型分析

根据1961—2010年的降水资料分析,武川县多年平均降水量为344.6 mm。2008年全年降水量为419.4 mm,5—9月份生长季降水量为343.5 mm。2008年降水量高于多年平均降水量20%,属多雨年。2009年全年降水量为287.1 mm,低于多年平均降水量,属少雨年,其中5—9月份生长季降水量为244.0 mm。2010年全年降水量为341.9 mm,其中5—9月份生长季降水量为249.3 mm,属于正常年,但生育期降水量所占比例较低。其中2008和2009年生育期降水量均占全年降水量的80%以上,而2010年生育期降水量只达到全年降水量的72%,明显不足。

2.2 不同施肥水平对马铃薯耗水量的影响

表2为不同施肥水平下2008、2009和2010年马铃薯产量、耗水量和水分利用效率值。

表2 2008—2010年试验区马铃薯耗水量、产量和水分利用效率情况

Table 2 Water consumption, production and water use efficiency of potato in 2008—2010

编号	处理	2008年			2009年			2010年		
		全生育期耗水量/mm	产量/(kg/hm ²)	水分利用效率/(kg/(hm ² ·mm))	全生育期耗水量/mm	产量/(kg/hm ²)	水分利用效率/(kg/(hm ² ·mm))	全生育期耗水量/mm	产量/(kg/hm ²)	水分利用效率/(kg/(hm ² ·mm))
1	N ₀ P ₀	260.3	11 530.5	44.3	221.5	5 233.4	23.6	—	—	—
2	N ₁ P _{0.5}	326.9	12 600.0	38.5	220.4	5 570.0	25.3	241.2	5 421.0	22.5
3	N ₂ P ₁	322.0	13 870.5	43.1	281.6	6 163.4	21.9	250.9	6 101.2	24.3
4	N ₃ P _{1.5}	318.9	11 130.0	34.9	240.7	5 703.4	23.7	183.7	5 294.1	28.8
5	N ₄ P ₂	311.0	10 270.5	33.0	304.8	5 460.0	17.9	265.4	5 125.0	19.3
6	N ₅ P _{2.5}	319.9	10 669.5	33.4	242.1	5 300.0	21.9	222.5	4 780.3	21.5
7	N ₁ P ₁	282.6	11 329.5	40.1	230.3	5 626.7	24.4	160.2	5 660.7	35.3
8	N ₂ P ₂	316.8	12 600.0	39.8	277.5	5 956.7	21.5	264.2	6 011.7	22.8
9	N ₃ P ₃	350.5	11 670.0	33.3	242.3	5 633.4	23.2	202.1	6 212.3	30.7
10	N ₄ P ₄	359.2	11 200.5	31.2	265.7	5 170.0	19.5	235.3	6 491.4	27.6
11	N ₅ P ₅	337.1	11 130.0	33.0	235.4	4 816.7	20.5	244.2	5 462.3	22.4

注:产量和耗水量分别与施肥水平通过95%显著性检验,差异显著。

旱地作物耗水主要来源于生育期间的有效降水和播种前的土壤蓄水^[13]。2008年降水量较多,马铃薯

薯长势好,耗水量高。2009和2010年由于降水少和降水季节不均,马铃薯长势较差,耗水量较少。由

施肥量与耗水量的关系,可以看出随着施肥量的提高,耗水量也随之升高,但施肥量达到一定程度时耗水量开始减少。在表 2 中,无论是什么年型,施肥量最高的第 6 和第 11 个 2 个处理的耗水量都要低于施用中肥水平的处理;施肥量最少的第 1 和第 7 个处理,耗水量均接近或处于最低水平。可以得出,在不考虑产量的前提下,施用低肥水平和高肥水平都可以减少马铃薯田的耗水量。具体到不同年型,2008 年多雨年型下, N_4P_4 和 N_3P_3 2 个处理的耗水量相对较高,2009 年少雨年和 2010 正常年型下,均为 N_4P_2 的耗水量最高,可见不同的降水年型下施用中肥水平的耗水量均偏高。

2.3 施肥水平对马铃薯产量及水分利用效率的影响

马铃薯产量与耗水量之间的关系呈对数型(图 1),一般降水量比较多的年份,产量和耗水量也同时比较高。降水比较少的年份,产量随之下降,耗水量减少。在不同的降水年型下,产量最高的处理相应的耗水量也均偏高,产量最低的处理耗水量均偏低。

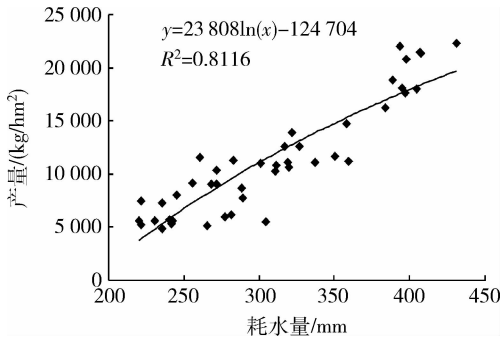


图 1 马铃薯耗水量与产量关系

Fig. 1 Water consumption and yield of potato

图 2 为 1 m 土层储水量情况图。由图可以看出,2008 年马铃薯产量较高,作物耗水量相应较大,储水量比 2009 和 2010 年都低;2009 和 2010 年产量较 2008 年低,土壤储水量比 2008 年高,说明产量低时耗水量也比较少。图 2 也同时说明,马铃薯产量较高时,需要消耗较多的土壤水分,致使土壤储水量在一个较低的平衡点上波动;反之,当产量较低时,消耗较少的土壤水分,土壤储水量将维持在一个较高的平衡点上。

由表 3 可知,2008 年马铃薯产量与氮肥施用量相关性呈中度相关,与磷肥施用量相关性不显著, $R=0.24$ 。2009 年马铃薯产量与氮肥施用量相关显著,与磷肥施用量成中度相关,相关系数 $R=0.60$ 。2010 年马铃薯产量与氮肥施用量中度相关,与磷肥

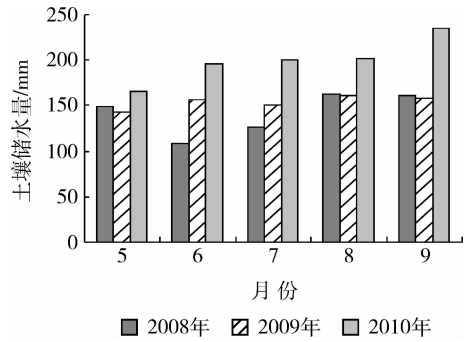


图 2 2008—2010 年土壤储水量

Fig. 2 Soil water storage in 2008—2010

表 3 马铃薯产量与肥力水平的回归关系

Table 3 Regression of potato yield and soil fertility levels

年份	肥料	回归方程	相关系数 R
2008	尿素	$y=11\ 771.8+1.79x-0.001\ 9x^2$	0.54 *
	三料磷	—	0.24 n. s.
2009	尿素	$y=5\ 280.3+1.68x-0.001\ 3x^2$	0.72 *
	三料磷	$y=5\ 452.6+1.02x-0.001\ 0x^2$	0.60 *
2010	尿素	$y=5\ 392.2+1.56x-0.001\ 2x^2$	0.57 *
	三料磷	—	0.19 n. s.

注: * 为 $P<0.5$; n. s. 为不显著。

施用量相关性不显著, $R=0.19$ 。马铃薯产量与磷肥的相关性要比与氮肥的相关性低很多,在氮肥不同磷肥相同的情况下,产量差距很大,接近 10%,而氮肥相同磷肥不同时,产量差距不足 5%。说明氮肥对马铃薯生长的影响要高于磷肥的影响。

从施肥量来分析,随着施肥量的不断增加,马铃薯的产量随之提高,但施肥量最多的小区并不是产量最高的小区。2008 年降水较多,产量要高于 2009 和 2010 年,说明水分是影响产量的主要因素。2008 年的最高产量处理是 N_2P_1 ,为 $13\ 870.5\ \text{kg}/\text{hm}^2$,比不施肥增产 20%。说明通过增加施肥,可使马铃薯产量水平大幅度提高。2009 年的最大产量处理是 N_2P_1 为 $6\ 163.4\ \text{kg}/\text{hm}^2$,最小值是 N_5P_5 为 $4\ 816.7\ \text{kg}/\text{hm}^2$,2009 年是少雨年,严重影响马铃薯的生长,导致生育期延后,到 9 月份下霜时还不能完成完整的生育期,不仅产量受到严重影响,而且影响马铃薯的品质。2010 年的最高产量处理是 N_4P_4 为 $6\ 419.4\ \text{kg}/\text{hm}^2$,最低值是 $N_5P_{2.5}$ 为 $4\ 780.3\ \text{kg}/\text{hm}^2$,2010 年水分是正常年,但其生育期降水量不足,远不能满足马铃薯的需水要求,所以产量也比较低。2009 和 2010 年产量最低值出现在施肥水平最高值小区上,原因是该小区马铃薯由于早期肥力充足,导致植株高大,后期水分需求较其他小区偏高,

但水分远远满足不了其需求,导致块茎形成时水分不能充分供给,所以施肥水平最高的小区反而产量最低。这种情况在缺水年份表现尤为明显。

由图3可以看出,2008年多雨,水分利用率普遍较高;2009年是少雨年,水分利用效率普遍很低;2010年正常年处于多雨与少雨年中间。图3还可以看出,水分不足时各个施肥水平的处理之间水分利用效率差异相对较小,而水分相对充足的年份各施肥水平的处理之间水分利用效率差异就比较大;特别可以看出的是,随着施肥水平的提高,水分利用效率没有增加,反而下降;在多雨年型下更为明显,其相关系数达到0.87,少雨年和正常年的相关系数分别为0.68和0.54,均通过95%显著性检验。

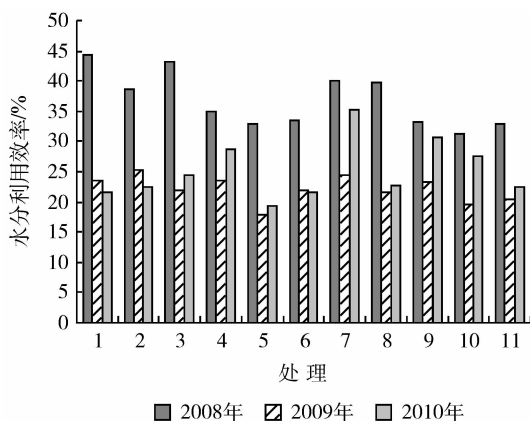


图3 2008—2010年施肥量与水分利用效率的关系

Fig. 3 Water consumption and water use efficiency in 2008—2010

如果同时比较产量与水分利用效率,可以发现,在多雨年, N_2P_1 效果最好,既可以保证产量又达到了农田水分的充分利用;在少雨年, $N_1P_{0.5}$ 的效果最好;在正常年, N_3P_3 的效果最好。以上表明,在多雨年,中肥处理能有效提高水分利用效率,而且也有相对较高的产量;在少雨年,低肥处理可以提高水分利用效率,也可以有效提高产量;在正常年,采用中低肥处理最适宜。依此可以通过预测不同年型降水水平,通过有效施肥来提高马铃薯田水分利用效率,从而达到稳产并节水保墒的目的。

3 结论与讨论

基于半干旱地区(武川县)3种不同年型下的田间试验研究了旱地条件下肥力水平对马铃薯产量、田间耗水量及水分利用效率的影响特征,研究表明:

1)随着施肥量的提高,耗水量也随之升高,但施

肥量达到一定程度时耗水量开始减少。在不考虑产量的前提下,施用低肥和高肥都时马铃薯耗水量都较低,适量施肥增加了马铃薯田间耗水量。在不同的降雨年型中,耗水量的峰值也随之变化,在多雨年,耗水量的峰值相应较高,少雨年则较低。

2)马铃薯产量与耗水量之间的关系呈对数型,一般降水量比较多的年份,产量和耗水量也同时比较高;降水比较少的年份,产量随之下降,耗水量减少。产量增加,耗水量也随之增加,土壤含水量在一个较低的平衡点上波动;产量下降,耗水量随之减少,土壤含水量在一个较高的平衡点上变化。

3)在旱地条件下,过多施肥不利于水分利用效率的提高,多雨年型下表现更为明显。如果同时考虑产量与水分利用效率,则在多雨年,中肥水平既能保证较高的水分利用效率,也能保证较高的产量,可以增产20%;在少雨年采取低肥处理,也可以增产17.8%,在正常年则采取中低肥处理最适宜。在农业生产中,应该根据不同降水水平,通过适度施肥来提高马铃薯田水分利用效率,从而达到稳产并节水保墒的目的。

参 考 文 献

- [1] 王砚田,徐祝龄. 内蒙古武川半干旱偏旱地区农田土壤水分特征[J]. 干旱地区农业研究, 1990, 8(4): 14-19
- [2] 符淙斌,马柱国. 全球变化与区域干旱化[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 752-760
- [3] 山仑. 旱地农业中有限水高效利用的研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(1): 8-13, 21
- [4] 邹君,杨玉蓉. 农田水分研究的意义、进展及存在的问题[J]. 衡阳师范学院学报: 自然科学版, 2002, 23(6): 101-104
- [5] 山仑. 植物水分利用效率和半干旱地区农业用水[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 61-66
- [6] 姚晓晔,旺德水,程宪国,等. 不同施肥水平下旱地冬小麦水分效应研究[J]. 土壤肥料, 1994, 6: 15-18
- [7] 何华,陈国良,赵世伟. 水肥配合对马铃薯水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 59-66
- [8] 戴庆林,杨文耀. 阴山丘陵旱农区水肥效应与耦合模式的研究[J]. 干旱地区农业研究, 1992, 13(1): 20-24
- [9] 李立科,吕向贤. 在渭北一年一熟的旱地农区改引水灌溉为就地开发[J]. 陕西农业科学, 2011(2): 126-129
- [10] 段玉,妥德宝,赵沛义,等. 马铃薯施肥肥效及养分利用率的研究[J]. 中国马铃薯, 2008, 22(4): 197-200
- [11] 李云平. 马铃薯施肥效应与施肥技术研究[J]. 陕西农业科学, 2007(5): 150-151
- [12] 郑大玮,妥德宝,王砚田. 内蒙古阴山北麓旱农区综合治理与增产配套技术[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 2000
- [13] 严昌荣. 中国北方旱地农田水分动态变化特征[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 11-14

责任编辑: 苏燕