

肥料配施对阴山北麓旱区马铃薯产量和水分利用效率的影响

肖 强¹, 蒙美莲¹, 陈有君², 杨丽辉¹, 宋树慧¹, 任少勇¹

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古农业大学生命科学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要: 以马铃薯克新 1 号品种为试验材料, 采用随机区组设计, 在阴山北麓地区连续 3 a 定位施肥, 研究了不同肥料配施对马铃薯产量和水分利用效率的影响。结果表明: 马铃薯各施肥处理各生育时期 0~80 cm 土壤含水量均低于对照, 全生育期总耗水量较对照提高 0.17%~4.16%, 干物质积累量明显高于对照; 肥料配施条件下各施肥处理马铃薯产量和商品薯率较对照显著提高, 增产幅度和商品薯率的增加幅度分别为 5.8%~49.67%, 13.97%~55.14%, 以 M+NPK 处理效果最明显, 2011 年和 2012 年产量分别达到 36 863.70 kg·hm⁻² 和 31 386.14 kg·hm⁻², 其次是 NPK 处理和 M 处理; 各施肥处理的水分利用效率均高于对照, 其中以 M+NPK 处理最高, 两年分别较 CK 处理高出 43.72% 和 44.09%, 与其它各施肥处理相比差异显著, 其次为 NPK 处理和 M 处理。有机肥和氮磷钾肥配施是最适合当地马铃薯种植的肥料配比。

关键词: 肥料配施; 马铃薯; 产量; 土壤含水量; 水分利用效率

中图分类号: S532.062 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)06-0112-07

Effects of fertilizer application on potato yield and water use efficiency in dry areas at northern foot of Yinshan Mountain

XIAO Qiang¹, MENG Mei-lian¹, CHEN You-jun², YANG Li-hui¹,
SONG Shu-hui¹, REN Shao-yong¹

(1. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University; Hohhot, 010019, China;
2. College of Life, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, 010018, China)

Abstract: Taking the potato variety of “Kexin 1” as the experimental material, using randomized block design, has studied the effects of different fertilizer on potato yield and water use efficiency, which was experimented for consecutive three years of fertilization at northern foot of Yinshan Mountain. The results showed that: For all fertilization treatments and potato growth stages, the soil moisture content in 0~80 cm was total lower than the control group. The total water consumption in whole growth period was increased 0.17%~4.16% comared with control; the dry matter accumulation was significantly higher than control. The potato yield and commodity rate of each treatment were significantly higher than control under fertilization condition; the increasing amplitudes of yield and commodity rate were achieeved 5.8%~49.67% and 13.97%~55.14%, respectively. The effect of M+NPK treatment was the most obvious, the yield in 2011 and 2012 was reached 36 863.70 kg·hm⁻² and 31 386.14 kg·hm⁻², respectively. The next was the NPK and M treatment. The water use efficiency of all fertilization treatments were total higher than the control. Among them, the M+NPK treatment was the highest in two years was higher 43.72% and 44.09% than CK, follow by the NPK and M treatment. Combined organic fertilizer with NPK was the most suitable fertilizer ratio for local potato planting.

Keywords: fertilizer application; potato; yield; soil water content; water use efficiency

肥料作为作物养分的主要来源, 直接参与或调节作物营养代谢与循环, 与作物的产量和品质有密切的关系。内蒙古阴山北麓地区是我国马铃薯主产区之一, 该区气候冷凉, 昼夜温差大, 适合马铃薯

收稿日期: 2014-03-11
基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-10-P17)
作者简介: 肖 强(1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事马铃薯栽培生理研究。E-mail: 327531828@qq.com。
通信作者: 蒙美莲(1960—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事马铃薯栽培生理方向研究。E-mail: mmeilian@126.com。
陈有君, 男, 研究员, 博士, 主要从事植物生理研究。E-mail: cyoujun@sina.com。

生长发育。但长期以来,由于该地区降水少,水分利用效率低,且在马铃薯种植中存在肥料搭配不合理等问题,从而导致土壤理化性质变差,肥力下降,严重限制了马铃薯产量的提高。有机肥是一种缓效长效肥料,可改善土壤结构,增强土壤蓄水保肥能力,协调土壤水、肥、气、热等。许多研究表明,有机无机肥配施能明显的培肥土壤,改善土壤理化性质,促进作物充分利用土壤水分、显著提高作物产量和水分利用效率^[1-3]。因此,在水资源短缺问题日益突出的情况下,如何通过合理的施肥方案,在提高马铃薯产量的同时,促进作物对土壤水分的利用,达到以肥调水,提高马铃薯水分利用效率的目的,已经成为阴山北麓地区当前马铃薯生产亟待突破的重大课题。鉴于此,本研究通过设计田间不同施肥处理试验,连续 3 年定位施肥,探讨马铃薯产量和水分利用效率对不同施肥处理的响应特征,旨在为阴山北麓地区马铃薯合理施肥方案的制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2010—2012 年在内蒙古武川县哈乐镇大豆铺村进行,地处内蒙古中部阴山北麓,属温带大陆性季风气候,年日照时数 2 959.5 h,年均气温 2.4℃,≥10℃积温 1 955.2℃,年均降水量 352.1 mm 左右,年蒸发量 2 068.0 mm,无霜期 105 d 左右。试验地土壤类型为栗钙土。供试土壤 0~20 cm 耕层土壤有机质含量为 16.01 g·kg⁻¹,全氮 1.05 g·kg⁻¹,碱解氮 60.21 mg·kg⁻¹,有效磷 16.25 mg·kg⁻¹,速效钾 120.31 mg·kg⁻¹,pH 为 8.00。

1.2 供试材料

供试品种为‘克新 1 号’一级原种。供试肥料为尿素(含 N 46.4%),过磷酸钙(含 P₂O₅ 16.0%),硫酸钾(含 K₂O 51.0%),有机肥为羊粪肥(含有机质 31.4%,含 N 0.6%,含 P₂O₅ 0.5%,含 K₂O 0.2%)。

1.3 试验设计

试验设置有机肥(M)+NPK、有机肥(M)、NPK、NP、NK、PK 和 CK 7 个施肥处理,各处理的施用量见表 1。于 2010 至 2012 连续 3 年定位施肥。随机区组设计,4 次重复。小区面积 5 m×6 m=30 m²,播种密度 52 500 株·hm⁻²,行距 60 cm,株距 33.3 cm。重复之间留 60 cm 走道,小区间人工起高埂。播种时化肥按小区称量肥料,使用量器按行将肥料均匀施入播种沟,混土后点种;有机肥按小区称量撒施后,开沟播种。所有肥料均做基肥一次性施入。采用滴灌方式,分别于 2011 年 7 月 15 日、8 月 5 日、8 月 13

日灌溉 3 次,2012 年 7 月 10 日、7 月 28 日灌溉 2 次。田间管理按常规进行。

表 1 试验处理
Table 1 Experimental treatments

处理 Treatment	施肥量 Amount of fertilizer/(kg·hm ⁻²)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	M
M+NPK	150	75	270	22500
M	0	0	0	22500
NPK	150	75	270	0
NP	150	75	0	0
NK	150	0	270	0
PK	0	75	270	0
CK	0	0	0	0

1.4 测定指标与方法

1.4.1 土壤含水量测定 采用 TDR 土壤水分测定仪于马铃薯各生育时期测定土壤体积含水率。每次测试深度为 80 cm,每 20 cm 为一个测定层。测定用 PVC 管分别埋设在每小区种植行上相邻两植株之间。每小区埋设一根 PVC 管。

1.4.2 干物质积累量 分别于马铃薯苗期(6 月 27 日)、块茎形成期(7 月 12 日)、块茎增长初期(7 月 27 日)、块茎增长期(8 月 12 日)、淀粉积累期(8 月 27 日)进行田间取样,各时期每个小区取有代表性植株 3 株,分器官称量鲜重,并分别取各器官鲜样 100 g 于 105℃下杀青 30 min,然后降至 75℃烘干至恒重,测定干重,计算干物质积累量。

1.4.3 产量测定 成熟时各小区分别取 4.8 m² 内所有植株测定块茎产量。

1.4.4 农田耗水量及水分利用效率计算 水分利用效率计算公式为 $WUE = Y/ET$ 。式中, WUE 为水分利用效率/(kg·mm⁻¹·hm⁻²), Y 为马铃薯块茎产量/(kg·hm⁻²), ET 为全生育期耗水量。

耗水量(mm) = 播前土壤贮水量 - 成熟期土壤贮水量 + 田间灌溉量 + 生育期降水量。

土壤贮水量(mm) = 土层厚度(cm) × 土壤体积含水率(%)。

由于试验地平整,地下水位较深,且降雨量少,故未考虑深层渗漏量、毛管上升水和径流量。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 和 DPS 3.01 数据处理软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 马铃薯生育期间的降水情况

2011 年全生育期降水量为 172.5 mm,主要集中在

在 7 月份,6 月中旬和 8 月份降水较少。2012 年全生育期降水量为 234.76 mm,主要集中在 6 月下旬、7 月中下旬和 8 月上中旬,6 月上中旬、7 月上旬和 8 月下旬降水较少。

2.2 不同施肥处理各生育时期土壤水分的垂直变化

图 1、图 2 的数据结果显示,全生育期不同施肥处理 0~80 cm 各土层土壤含水量变化趋势大致相同,表现为随着土层深度的增加总体呈先升高后降低再升高的波动性变化。这是由于受田间灌溉、降

雨和蒸散的影响,上层 0~40 cm 土壤含水量波动性较大,而下层 40~80 cm 土层含水量变化较稳定。不同施肥处理各土层含水量随生育时期变化趋势基本相同,苗期到块茎形成期期间气温逐渐上升,降水较少,地表蒸发和植株蒸腾使土壤含水量呈下降趋势;块茎形成期和块茎增长期虽有大量降水和灌水补充,但由于气温较高,马铃薯生长旺盛,使土壤水分迅速降低;进入淀粉积累期以后,马铃薯植株耗水量减少,土壤含水量又有一定幅度的升高。

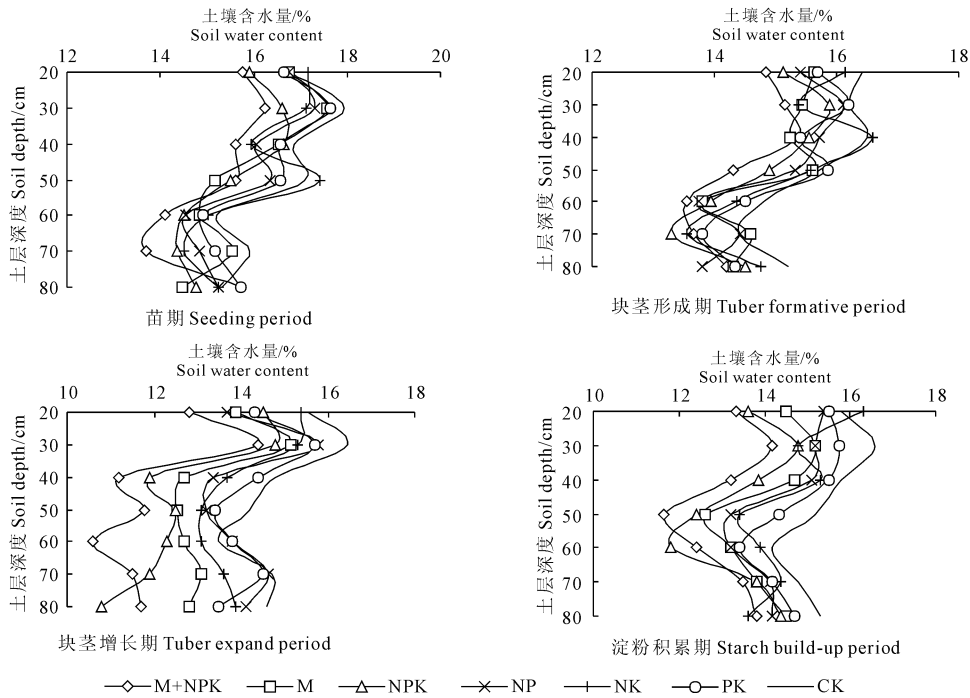


图 1 2011 年马铃薯生育期间土壤水分的垂直变化

Fig.1 The vertical change of soil water content in potato growth period of 2011

两年数据还显示,不同施肥处理对土壤水分垂直变化的影响不同。各施肥处理在各生育时期 0~80 cm 土层平均土壤含水量均低于对照 CK 处理。以 2011 年块茎增长期为例,各处理 0~80 cm 土层平均土壤含水量从低到高表现为 M+NPK<NPK<M<NK<NP<PK<CK,分别比 CK 处理降低了 19.08%、14.55%、10.51%、5.50%、5.01% 和 4.05%,各施肥处理与 CK 处理差异显著。说明施肥为土壤提供了更多的养分,使马铃薯植株生长旺盛,从而消耗了更多的水分。

2.3 肥料配施对 0~80 cm 土层土壤贮水量的影响

从图 3 可以看出,随着生育的推进,各施肥处理 2011 年 0~80 cm 土层土壤贮水量均表现出先降低后升高的趋势。2012 年 0~80 cm 土层土壤贮水量的变化相似于 2011 年,所不同的是从苗期到块茎形成期土壤贮水量略有增加。两年的结果均表明,从

块茎形成期至块茎增长期土壤含水量明显下降,淀粉积累期又有所增加。这是由于在马铃薯生育前期植株小、长势弱,对水分需求量也较少,所以土壤贮水量相对较高;进入生育中期,茎叶生长与块茎生长并进,植株蒸腾量迅速加大,加之气温逐渐升高,田间蒸散量加大,使土壤贮水量明显降低;进入马铃薯生育后期,地上部基本停止生长,主要以块茎积累有机物为主,马铃薯耗水量逐渐减少,因此土壤贮水量又有一定幅度的升高。

不同肥料配施能向作物提供更多的营养物质,对土壤水分的影响也存在差异。比较不同施肥处理的剖面水分状况可以发现,2011 年除苗期外,各生育时期 0~80 cm 土层土壤贮水量的高低均表现为 M+NPK<NPK<M<NP<NK<PK<CK,各施肥处理均显著低于 CK($P<0.05$)。M+NPK 处理 0~80 cm 土层土壤贮水量最低,其次为 NPK,除块茎形成

期外,均显著低于其它施肥处理。再次为 M 和 NP 处理,除苗期外,均显著低于 NK 和 PK 处理。NK 和 PK 处理之间除块茎增长期外,差异不显著。2012 年除块茎增长期外,0~80 cm 土层土壤贮水量也以 M+NPK 处理最低,其次是 NPK 处理,第三位低的是 M。其中 M+NPK 和 NPK 均显著低于 CK 和 NP、NK、PK($P<0.05$),各时期 M+NPK 处理较 NP、NK、

PK 和 CK 处理分别降低了 4.24%~17.38%、6.09%~20.68%、5.01%~15.43% 和 8.76%~23.60%,NPK 较 NP、PK、NK 和 CK 处理分别降低了 2.45%~13.95%、5.16%~17.39%、4.07%~11.92% 和 7.85%~20.43%。两年的结果均表明,有机肥和无机肥配施,或 NPK 配施,均可增加植株的生长势,消耗较多的土壤水分。

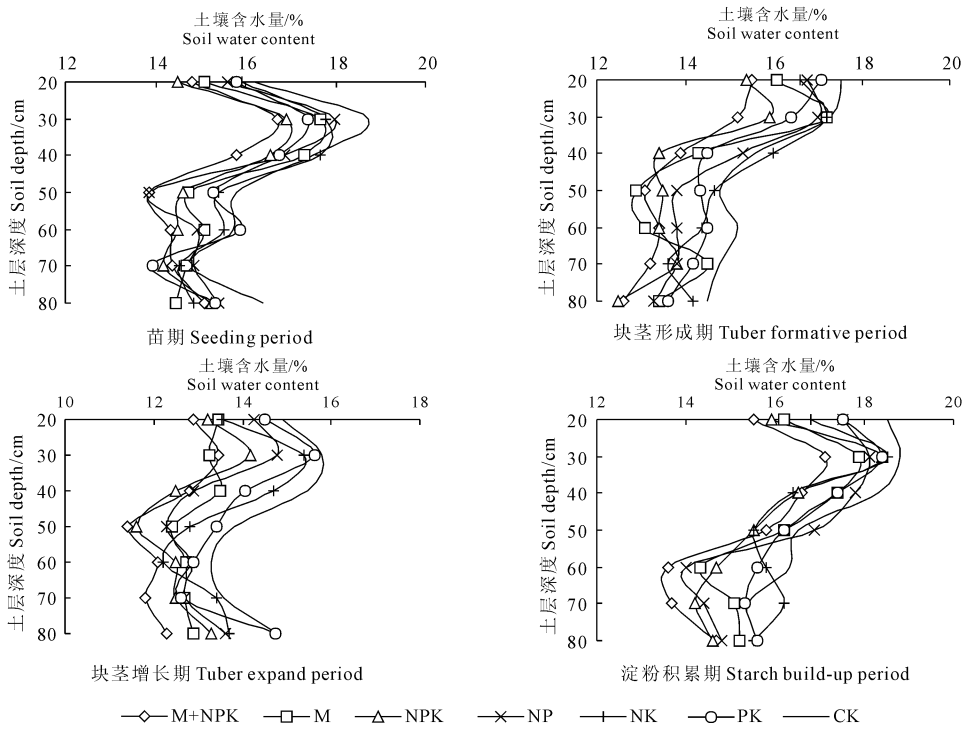


图 2 2012 年马铃薯生育期间土壤水分的垂直变化

Fig. 2 The vertical change of soil water content in potato growth period of 2012

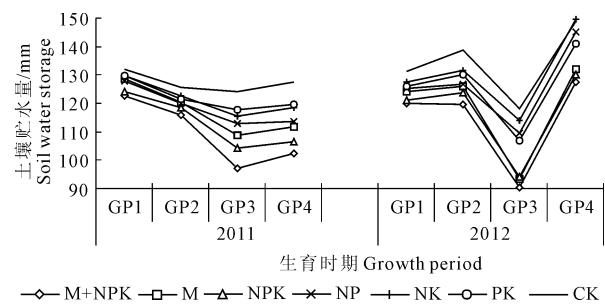


图 3 马铃薯生育期间 0~80 cm 土层贮水量变化

Fig. 3 Change of soil water storage in 0~80 cm depth in potato growth period

注:GP1:苗期;GP2:块茎形成期;GP3:块茎增长期;GP4:淀粉积累期。

Note: GP1, seeding period; GP2, tuber formative period; GP3, tuber expand period; GP4, starch build-up period.

2.4 肥料配施对马铃薯干物质积累的影响

物质生产是作物产量形成的物质基础,干物质积累量的多少是物质生产的主要表现。由图 4 所

示,两年 7 个处理的马铃薯公顷干物质积累量均表现为“S”型曲线变化规律。即出苗后 15 d(苗期)干物质积累速率小,积累量少,出苗后 30 d(块茎形成期)地上部茎叶生长与块茎形成同时进行,植株对营养物质的需求量增大,干物质积累加速,积累量增加,至块茎增长期,干物质几乎呈直线增长,并达到一生中的最大值。之后干物质积累速度放缓,甚至略呈下降的趋势。

两年的试验结果还显示,马铃薯生育期间各施肥处理公顷干物质积累量均高于对照,尤其以块茎形成期至淀粉积累期期间表现明显。以出苗后 60 d(块茎增长期)为例,2011 年和 2012 年两年公顷干物质积累量均以 M+NPK 处理最高,分别较 CK 处理增加了 14.89% 和 48.74%;其次为 NPK 处理和 M 处理,分别较 CK 处理增加了 13.41%、38.30% 和 11.30%、32.52%。NP、NK、PK 处理略高于 CK 处理。

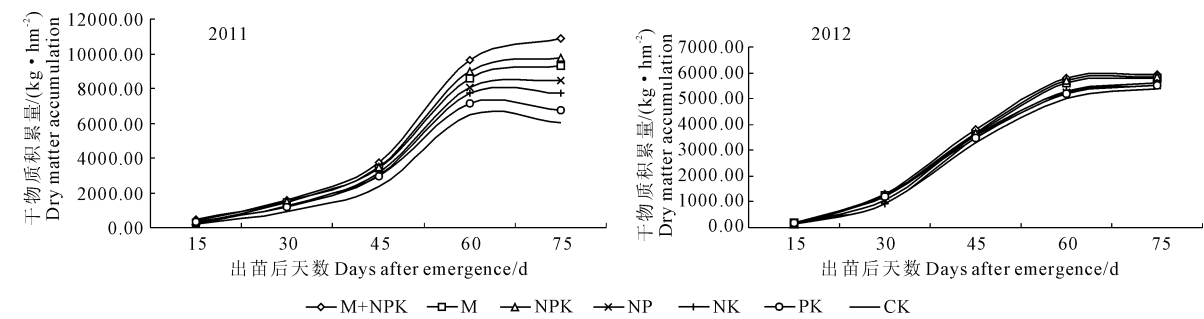


图 4 不同施肥处理对马铃薯干物质积累量的影响

Fig.4 Effects of different fertilizer treatment on dry matter accumulation of potato

2.5 肥料配施对马铃薯产量及产量构成因素的影响

两年的试验结果(表 2)显示,肥料配施可以增加马铃薯的产量,其中 M + NPK 处理产量最高,2011 年为 36 863.70 kg·hm⁻²,比 CK 增产 49.70%,且显著高于 NP、NK、PK 各处理,2012 年产量为 31 386.14 kg·hm⁻²,比 CK 增产 48.64%,也显著高于 NP、NK、PK 各施肥处理;其次是 NPK 处理和 M 处理,两年的结果均显著高于 CK 处理($P < 0.05$)。除 2012 年与 NK 处理差异不显著外,均显著高于其它各施肥处理。各施肥处理均可增加马铃薯单株块茎产量,且与 CK 处理间差异均达到显著水平。其中以 M + NPK 处理最高,其次为 NPK 和 M 处理。各施肥处理均可增加马铃薯单个块茎重量,其中以 M + NPK 处

理最高,分别为 0.16 kg 和 0.12 kg,显著高于 CK 处理。2011 年除 NK 和 PK 处理外,其它施肥处理也显著高于 CK 处理。2012 年除 M + NPK 和 NK 处理外,其它处理与 CK 处理差异不显著。不同施肥处理对单株结薯数的影响不同,以 M + NPK 处理最高,分别为 4.80 个和 5.17 个,显著高于其它各处理。2011 年除 M + NPK 和 PK 处理外,其它施肥处理与 CK 处理差异不显著。2012 年各施肥处理均显著高于 CK 处理。从表 3 中还可以看出,两年中肥料配施均可提高马铃薯商品薯率,以 M + NPK 处理最高,2011 年和 2012 年分别达到 80.29%和 82.54%,均显著高于 CK。其次 M、NPK 处理的商品薯率也显著高于 CK 处理。

表 2 不同施肥处理对马铃薯产量及产量构成因素的影响

Table 2 The effect of different fertilization treatments on potato yield and yield components							
年份 Years	处理 Treatment	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	比 CK 增产 Increase /%	单株结薯数 Tuber amount per plant	单块茎重 Weight per tuber/kg	单株产量 Tuber weight per plant/kg	商品薯重率 Commodity rate/%
2011	M + NPK	36863.70a	49.70	4.80a	0.16a	0.77a	80.29a
	M	34600.65ab	40.51	4.41c	0.16a	0.71b	78.49b
	NPK	35613.00ab	44.62	4.43c	0.16a	0.71b	80.27a
	NP	31503.90b	27.93	4.12d	0.16a	0.65c	78.26b
	NK	29538.60bc	19.95	4.36c	0.14c	0.59d	67.54c
	PK	26054.70c	5.80	4.60b	0.11c	0.51e	63.54d
	CK	24625.35c	—	4.50bc	0.10c	0.47f	51.75e
2012	M + NPK	31386.14a	48.64	5.17a	0.12a	0.60a	82.54a
	M	27008.33b	27.91	4.57c	0.11ab	0.51bc	81.68a
	NPK	27329.17b	29.43	4.81b	0.11ab	0.52b	78.60b
	NP	23749.19cd	12.47	4.13d	0.11ab	0.45d	70.88c
	NK	26398.24bc	25.02	4.09d	0.12a	0.50c	73.51d
	PK	22620.83d	7.13	4.19d	0.10b	0.43e	66.60e
	CK	21115.99d	—	3.84e	0.10b	0.40f	59.51f

2.6 肥料配施对马铃薯水分利用效率的影响

由表 3 可以看出,各施肥处理的耗水量均大于 CK,其中以 M + NPK 处理的耗水量最多,其次是 NPK 处理,两年的结果表现出相似的变化趋势。各

施肥处理的水分利用效率(WUE)均高于对照 CK,其中以 M + NPK 处理最高,2011 年较 CK 处理显著提高 43.72%,且显著高于 NP、NK、PK,2012 年较 CK 显著提高 44.09%,且与其它各施肥处理间差异也

达到了显著水平。其次,NPK 和 M 处理的水分利用效率也显著高于 CK,增幅在 25.00% ~ 40.45% 之间。NP、NK 和 PK 处理的 *WUE* 虽高于 CK 处理,但差异不明显,两年中 3 个处理仅 2011 年的 NP 处理

和 2012 年的 NK 处理与 CK 处理差异显著。试验结果表明,施用有机肥或 NPK 配施能显著提高马铃薯水分利用效率,特别是有机肥与化肥配施,提高马铃薯水分利用效率的幅度更大。

表 3 不同施肥处理对马铃薯水分利用效率的影响
Table 3 Effects of different fertilization treatments on potato *WUE*

年份 Years	处理 Treatment	播前贮水量 Soil water storage before sowing/mm	收获后贮水量 Soil water storage after harvest/mm	生育期降雨量 Precipitation in growth period /mm	灌溉量 irrigation amount /mm	耗水量 Water consumption /mm	水分利用效率 <i>WUE</i> /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	较 CK ± Increase /%
2011	M + NPK	123.80	119.14	172.50	180	357.16	103.21a	43.72
	M	126.75	127.39	172.50	180	351.86	98.33ab	36.93
	NPK	124.50	123.94	172.50	180	353.06	100.87a	40.45
	NP	128.52	128.15	172.50	180	352.87	89.28bc	24.31
	NK	126.20	130.59	172.50	180	348.11	84.85cd	18.15
	PK	129.35	131.02	172.50	180	350.83	74.27d	3.41
	CK	131.10	140.71	172.50	180	342.89	71.82d	—
2012	M + NPK	115.40	124.80	234.76	120	325.36	96.46a	44.09
	M	120.58	132.60	234.76	120	322.74	83.68b	25.00
	NPK	118.60	128.60	234.76	120	324.76	84.15b	25.70
	NP	124.60	138.20	234.76	120	321.16	73.95c	10.46
	NK	124.30	138.40	234.76	120	320.66	82.32bc	22.97
	PK	127.60	146.40	234.76	120	315.96	71.59c	6.94
	CK	133.40	152.75	234.76	120	315.41	66.95d	—

3 结论与讨论

施肥既能增加土壤养分,又能够“以肥调水”,促进作物对土壤水分的利用。前人研究结果表明,施肥可促进作物根系生长,扩大作物的吸水空间,提高了作物对于土壤水分的利用量和利用效率,因而加剧了作物对土壤水分的消耗^[4-6]。有机、无机肥配施可增加植株的生长势,同时降低了作物叶片水势,提高土壤水势,增加了深层土壤水分上移的动力,使下层暂时处于束缚状态的水分活化,扩大了土壤水库的容量,从而提高土壤水分的有效性,使植物能吸收利用更多的土壤水分^[8-9]。不同施肥条件对作物耗水量和土壤含水量影响不同,曹靖等^[7]研究发现,有机肥与化肥组合土壤含水量最低。本试验结果与之类似,与 CK 相比,各施肥处理生育期内土壤含水量均有不同程度的降低,其中 M + NPK 降幅最大,达 8.76% ~ 23.60%,其次为 NPK 和 M。说明有机肥与氮磷钾配施、氮磷钾配施及单施有机肥均可有效提高不同生育时期马铃薯对土壤水分的利用程度。

物质生产是作物产量形成的物质基础,干物质积累是物质生产的主要表现,不同施肥处理对马铃薯干物质累积的影响程度不同。本试验的研究结果表明,各施肥处理均可提高马铃薯的干物质积累量,其中有机肥与氮磷钾配施效果显著,其次为 NPK 处

理和 M 处理,这与王国兴等^[10]的结论一致。说明合理的氮、磷、钾、有机肥配比施用可促进植株积累更多的干物质。

穆俊祥等^[11]的研究结果表明,有机肥与氮磷钾肥合理配施,可促进马铃薯生长发育,提高马铃薯产量,培肥效果优于单施有机肥和不同化肥配施。本试验也得出类似结论,各施肥处理均可增加马铃薯产量和商品薯率,其中 M + NPK 处理的效果最好,两年产量平均较对照 CK 增加 49.21%,商品薯率平均较对照 CK 增加 46.35%。

土壤肥力是限制农田作物生产力和水分利用效率提高的关键性因素^[12]。王怡等^[13]研究得出,提高作物对土壤水分利用程度和水分利用效率,就是增强作物摄取水分和对水分的有效消耗。本试验的研究结果表明,与对照不施肥处理相比,各施肥处理全生育期总耗水量增加了 0.17% ~ 4.16%,马铃薯产量比 CK 增加了 7.13% ~ 49.70%,*WUE* 提高了 3.41% ~ 44.09%。其中尤以 M + NPK 处理水分利用效率最高,其次为 NPK 处理和 M 处理。说明不同肥料配施,特别是有机肥与氮磷钾肥配施,在增大马铃薯耗水量的同时,更大幅度地提高产量,进而提高了马铃薯水分利用效率,这与王立为等人的研究结果类似^[14-16]。

阴山北麓地区地处农牧交错带,牧业产值一般

占到农业总产值的 30% ~ 50%,与农区相比有机肥相对较多,加之马铃薯是该区域的传统作物和优势作物,农民种植马铃薯历来具有施用有机肥的习惯。即使在有机肥不充足的情况下,宁可其它作物不施,也要给马铃薯田施有机肥。近年来随着国家农业投资力度的加大,阴山北麓旱区节水灌溉农业迅速发展起来,特别是滴灌和膜下滴灌马铃薯面积迅速增加,因此,滴灌条件下,有机肥配施 NPK 肥效果最好的研究结论不仅对提高马铃薯产量和水分利用效率栽培措施的制定具有重要的指导意义,而且具有生产可行性,值得在生产中大力推广。

参 考 文 献:

[1] 唐小明.有机肥的保水培肥效果及对冬小麦产量的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):130-132.
[2] 王贵寅,张兰松,宋加杰,等.有机肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理研究[J].河北农业科学,2002,6(2):25-28.
[3] 谷 洁,李生秀,高 华,等.有机无机复混肥对旱地作物水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):142-145.
[4] 张仁陟,李小刚,胡恒觉.施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理[J].植物营养与肥料学报,1999,5(3):221-226.
[5] 李生秀,李世君,高亚清,等.施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果[J].干旱地区农业研究,1994,12(1):

38-46.
[6] 梁宗锁,康绍忠.植物水分利用率及其提高途径[J].西北植物学报,1996,16(6):79-84.
[7] 曹 靖,胡恒觉.不同肥料组合对冬小麦水分供需状况的研究[J].应用生态学报,2000,11(5):713-717.
[8] 汪德水.旱地农田肥水协同效应与耦合模式[M].北京:气象出版社,1999:1-49.
[9] 赵立新,荆家海.旱地冬小麦施肥效应研究[J].干旱地区农业研究,1991,(4):46-51.
[10] 王国兴,徐福利,王渭玲,等.氮磷钾及有机肥对马铃薯生长发育和干物质积累的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):106-111.
[11] 穆俊祥,曹兴明,弓建国,等.有机肥和氮磷钾肥配施对马铃薯产量和品质的影响[J].石河子大学学报,2009,27(4):428-432.
[12] 张益望,刘文兆,王 俊,等.定位施肥对冬小麦生长、产量及水分利用的影响[J].生态经济,2009,(10):35-39.
[13] 王 怡,高 华.冬小麦陕 229 在旱地不同施肥水平的水分利用效率研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(3):35-39.
[14] 陈光荣,郭天文,高世铭,等.水肥对旱区马铃薯水分利用效率的影响[J].核农学报,2010,24(1):142-148.
[15] 王立为,潘志华,高西宁,等.不同施肥水平对旱地马铃薯水分利用效率的影响[J].中国农业大学学报,2012,17(2):54-58.
[16] 苏 秦,贾志宽,韩清芳,等.宁南旱区有机培肥对土壤水分和作物生产力影响的研究[J].植物营养与肥料学报,2009,(6):1466-1469.

(上接第 86 页)

[11] Radu C, Victor D, Mona P, et al. The biological effect of the electrical field treatment on the potato seed: agronomic evaluation[J]. Journal of Electrostatics, 2005,63(6-10):837-846.
[12] Weaver J C. Electroporation of biological membranes from multicellular to nano scales[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2003,10(5):754-768.
[13] Koziolok C, Grams Thorsten E E, Schreiber U, et al. Transient knockout of photosynthesis mediated by electrical signals[J]. New Phytologist, 2003,161(3):715-722.
[14] Fromm J, Lautner S. Electrical signals and their physiological significance in plants[J]. Plant, Cell & Environment. 2007,30(3):249-257.
[15] Zhang Xiaohui, Yu Ningmei, Meng Xiaoli, et al. Power spectrum analysis of maize based on wavelet de-noising[C]. The 2nd international conference on information science and engineering, Changchun, China, 2010:419-422.
[16] Zhang Xiaohui, Yu Ningmei, Xi Gang, et al. Changes in the power spectrum of electrical signals in maize leaf induced by osmotic stress[J]. Chinese Science Bulletin, 2012,57(4):413-420.
[17] 习 岗,刘 锴,杨运经,等.基于玉米电位波动的脉冲电场生物学效应[J].高电压技术,2013,39(1):129-134.
[18] 习 岗,刘 锴,徐永奎,等.极低频脉冲电场与高压静电场对作物种子萌发影响的差异[J].农业工程学报,2013,29(1):265-271.

[19] 张泽燕,张耀文.干旱胁迫下 21 份山西地方绿豆品种芽期抗旱性鉴定[J].植物遗传资源学报,2011,12(6):1010-1013.
[20] 郭中校,张连学,王明海,等.绿豆品种抗旱性早期鉴定方法研究[J].西北农林科技大学学报,2012,40(7):77-83.
[21] 杨运经,习 岗,张社奇,等.极低频高压脉冲电场生物学效应仪的设计与应用[J].农业工程学报,2012,28(2):49-54.
[22] 李少华,习 岗,樊琳琳,等.渗透胁迫下萌发小麦种子超弱光子辐射的变化及其意义[J].光子学报,2011,40(2):282-288.
[23] 习 岗,刘 锴,张晓辉,等.UV-B 诱导的大豆愈伤组织超弱光子辐射的动力学分析[J].光子学报,2010,39(8):1449-1454.
[24] 张玉荣,周显青,张 勇.储藏玉米膜脂过氧化与生理指标的研究[J].中国农业科学,2008,41(10):3410-3414.
[25] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2006:167-192.
[26] 毛大璋,沈 恂,张月敬,等.代谢抑制剂对萌发绿豆超弱发光的影响[J].生物物理学报,1988,4(2):116-120.
[27] 顾 樵.生物光子学(第二版)[M].北京:科学出版社,2012.
[28] 姚陈果,陈 新,李成祥,等.脉冲电场作用下细胞频率特性仿真及窗口效应[J].生物医学工程学杂志,2011,28(1):12-17.
[29] Ye Q, Wiera B, Steudle E. A cohesion/tension mechanism explains the gating of water channels (aquaporins) in Chara internodes by high concentration[J]. Journal Experimental Botany, 2004,55:449-461.
[30] Susanna T H, Yi W, Kristina H, et al. Structural mechanism of plant aquaporin gating[J]. Nature, 2006,439(9):688-694.