

乌兰布和绿洲区土壤钾素形态特征及其综合评价

包耀贤 (北京北华中清环境工程技术有限公司, 北京 100176)

摘要 基于乌兰布和绿洲区林地和农地, 系统研究了土壤各形态钾素特征并进行土壤钾素综合评价。结果显示, 地类间的速效钾、有效性钾和缓效钾变异系数高于30%, 含量高出对照1.1~2.9倍, 而矿物钾和全钾差异小(<15%), 含量稍高于对照。大多地类速效钾充足, 部分林地和玉米、花葵地已缺钾, 钾素重要潜源缓效钾平均转化率高达22.7%。6个评价指标对土壤钾素指数(SKI)贡献高达92%, 排序依次为有效钾因子(有效性钾>速效钾>缓效钾)、储量钾因子(矿物钾=全钾)和缓效钾转化率; 82%的SKI>0.5, 51%的SKI>0.6, 综合供钾能力较强, 但部分农地需少量补钾。建议研究区林地种植二白杨、小美旱杨、柽柳及沙枣、柠条、沙棘等固氮植物(花棒除外), 农地种植低耗经济作物和苜蓿等固氮牧草, 也适合在其他干湿交替明显的干旱灌区推广。

关键词 乌兰布和绿洲区; 土地利用; 土壤钾素; 综合评价

中图分类号 X825

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)17-0140-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.17.037

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The Characteristics of Various Soil Kaliums and Their Comprehensive Evaluation in Ulanbuh Oasis Areas

BAO Yao-xian (Beijing BHZQ Environmental Engineering Technology Co., Ltd., Beijing 100176)

Abstract Based on forestland and farmland in Ulanbuh oasis areas, the characteristics of various soil kaliums were studied systematically and comprehensive evaluation of them were carried out. The results showed that the variation coefficients of available kalium (AK), readily available kalium (RAK) and slow available kalimu (SAK) were all above 30% respectively, and their contents were 1.1-2.9 times of the control sample, the difference of mineral kalium (MK) and total kalium (TK) among soil sample were all small (<15%) respectively, and the contents of both were slightly more than the control samples. AK contents of most land was rich, and lacking in some of the forestland, corn land and sunflower land. The average conversion of SAK (important potential source of RAK) was 22.7%. The six evaluation indexes contributed up to 92% to soil kalium index (SKI), and ranked as follows: available kalium factor (RAK>AK>SAK), reserve kalium factor (MK=TK) and the conversion of SAK. The proportion of SKI>0.5 and SKI>0.6 was 82% and 51% respectively. The comprehensive deliverability of kalium was strong, but some farmland needed a small supplement of kalium. In study area, it was recommended to plant *Populus gansuensis* C., *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) cv., *Tamarix chinensis* Lour and nitrogen fixation plants (except for *Hedysarum scoparium* Fisch.) as *Elaeagnus angustifolia* L., *Caragana korshinskii* Kom. and *Hippophae rhamnoides* L. in forestland, to plant low-consumption cash crops and nitrogen fixation grasses such as alfalfa in farmland, these recommendations will be also suitable for other arid irrigated areas with obvious alternations of dry and wet.

Key words Ulanbuh oasis areas; Land utilization; Soil kaliums; Comprehensive evaluation

地处华北和西北结合部的乌兰布和沙区是我国典型的生态脆弱农牧交错带和沙尘暴主要尘源地之一, 因乌兰布和沙区东南缘毗邻黄河而给植被恢复重建、改善生态环境、发展沙区农业创造了便利条件, 经过30多年的植被恢复建设和土地合理开发, 乌兰布和沙区东南缘现已形成了乔灌草结合、农灌配套、防护林网密集的人工绿洲6000 hm², 绿洲体系的形成逐渐改良了土壤结构状况, 有效减少尘源物质(粒径小于100 μm)而大大降低沙尘暴的发生频率, 也基本解决了风沙危害限制农业可持续发展的瓶颈问题。钾作为植物吸收最多且土壤中含量最高的大量营养元素之一, 钾素形态的相互转化在共同维持动态平衡的基础上对植物的有效性发挥着不同的重要作用, 绿洲体系的建成不但改善了土壤微生物区系和土壤质量, 势必也影响土壤各形态钾素的动态平衡、植物有效性和土壤供钾能力^[1-3]。我国北方普遍富钾, 但近年来土壤钾素的作物携走量明显增加, 导致施钾增产和土壤缺钾报道逐年增多^[4-6], 长期施氮磷肥也加速土壤钾素耗竭^[7-8]。笔者研究绿洲建成30多年来目前不同利用类型土壤(林地和农地)各钾素形态的含量特征并进行钾素综合评

价, 以供绿洲体系后续营林和农耕参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 研究区设在内蒙古磴口县乌兰布和沙漠东北缘中国林业科学研究院沙漠林业实验中心第二、三、四实验场(106°09'~107°10'E, 40°09'~40°55'N), 属温带荒漠气候。年均气温7.8℃, ≥10℃有效积温3290℃; 年均降雨150 mm, 蒸发量2381 mm; 盛行西南风, 年均风速4.1 m/s, 风沙灾害是主要自然灾害; 地带性土壤为灰漠土; 因黄灌便利, 经过近30年建设, 在原固定、半固定沙地上已建成人工绿洲示范基地超过3333.3 hm², 绿洲内开垦耕地超过533.33 hm²。

绿洲区人工植被概况见表1, 林地不灌溉。农地多年来轮作种植作物名称和参考施肥量: 油葵与花葵(二铵300 kg/hm²+尿素563 kg/hm²+碳铵1125 kg/hm²), 番茄(二铵375 kg/hm²+尿素563 kg/hm²+碳铵1125 kg/hm²), 籽瓜(二铵375 kg/hm²+尿素563 kg/hm²+碳铵1500 kg/hm²), 玉米(二铵375 kg/hm²+尿素750 kg/hm²+碳铵2250 kg/hm²), 苜蓿地不施肥不灌溉, 农地每年按需足量灌溉4~5次。

1.2 研究方法 2018年11月, 按“X”型采集新疆杨、二白杨、小美旱杨、霸王、沙棘、柠条、沙枣、花棒、柽柳、沙木蓼、沙拐枣11类林地(10 m×10 m样方)和籽瓜、玉米、油葵、花葵、番茄、苜蓿6类农地0~20 cm土样, 每个土样是2个采样点的混合土样, 共采集混合土样188个(林地104+农地80+荒

基金项目 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFY-BB2008027)。

作者简介 包耀贤(1975—), 男, 甘肃漳县人, 副研究员, 博士, 从事土壤修复和土壤质量评价研究。

收稿日期 2021-04-11

漠对照 4),其中农地种植 3~28 年;土样经处理后按常规方法测定^[9-10]:有效性钾、速效钾、缓效钾(酸溶性钾与速效钾差值)、全钾、矿物钾(全钾与酸溶性钾差值);使用 Excel 和统计软件 DPS 进行数据计算、制图和方差分析。

表 1 人工林概况

Table 1 General situation of plantation

作物 Crop	林龄 Age a	高度 Height m	胸径/地径 DBH or GD/cm	冠幅 Crown size//cm
新疆杨 XJY	14~20	13.60	14.7	—
二白杨 EBY	30~36	15.20	27.1	—
小美早杨 XMHY	14	9.36	11.3	—
霸王 BW	17~27	2.60	GD 4.8	126
沙棘 SJ	14~20	4.50	GD 6.7	206
柠条 NT	17~27	3.50	GD 3.8	213
沙枣 SZ	9~21	4.90	GD 8.8	208
花棒 HB	17~27	3.60	GD 6.6	2 284
怪柳 CL	17~27	4.40	GD 4.7	292
沙木蓼 SML	17~27	2.60	GD 3.2	266
沙拐枣 SGZ	17~27	4.90	GD 4.3	231

注:新疆杨为 3 行稀林带,二白杨和小美早杨为多行密林带

Note:XJY is 3 rows of sparse shelterbelt, EBY and XMHY are multi-rows of dense shelterbelt

2 结果与分析

2.1 不同地类各形态钾素特征 土壤各形态钾素相互转化,基于共同维持钾素动态平衡的基础上对植物发挥着不同的有效性^[1,11]。变异系数能较好地反映土壤各形态钾素受外界因素影响的敏感性和差异性。表 2 显示,有效钾素(速效钾和有效性钾)和缓效钾(潜在钾素)的变异系数平均在 30%以上,不同地类间多存在显著差异且明显高于对照 1.1~2.9 倍,说明绿洲区土壤供钾能力和钾素水平差异较大且分布不平衡,这与不同林地类型、不同林龄、水热条件、黄灌外源性钾素携入、施肥、耕作、作物类型等因素影响较大且

主为正向效应有关。反映钾储量的矿物钾和全钾的变异系数不足 15%,不同地类间的差异性整体不显著,分布相对均衡且整体平均稍高于对照 3%~5%,这与主因受制于土壤母质而非其他外界影响因素有关。

2.1.1 速效钾和有效性钾。速效钾和有效性钾是土壤钾库中最活跃的组分,反映土壤钾素的现实供钾能力和钾素水平^[1,3,9]。由表 2 和全国第二次土壤普查养分分级标准判断^[12],二白杨、怪柳、沙枣林地速效钾含量属“2 级”(150~200 mg/kg)高水平;苜蓿、花棒、沙棘等固氮植物速效钾属“3 级”(100~150 mg/kg)较高水平,表现出累钾效应;6 种农地中花葵和玉米地速效钾含量属“4 级”(50~100 mg/kg)较低水平,其他 4 种属“3 级”较高水平,这可能与花葵和玉米的高植株(>2 m)高耗钾量有关;其他部分林地速效钾属较低水平。除荒漠对照外,绿洲区速效钾(110.7 mg/kg)整体属较高水平,但也存在缺钾和北方未必“富钾”的情况。

有效性钾包括速效钾和缓效钾中的有效部分。由表 2 可知,速效钾平均占有效性钾的 47%(41%~55%),说明近 50%的土壤有效钾由缓效钾转化供给,也揭示出黄灌干湿交替(农地常灌、林地偶灌)更有利于缓效钾高效转换和释放。若以有效性钾含量衡量植物利用之钾素,则研究区土壤富钾。

2.1.2 缓效钾及其转化率。表 2 显示,二白杨和沙枣林地属高水平(>750 mg/kg),大部分地类属较高水平(500~750 mg/kg),部分地类低且近 500 mg/kg,属较低水平^[9],但均显著高于对照。经计算,缓效钾含量平均占矿物钾的 3.0%(2.0%~4.2%),缓效钾平均转化率达 22.7%(18.3%~32.2%),且随着植物消耗促使矿物钾向缓效钾再向有效钾的正向转化而平衡钾素动态^[9-11],也体现出缓效钾是研究区有效钾素极其重要的潜在给源。

表 2 研究区 0~20 cm 土壤钾素统计特征

Table 2 Statistical characteristics on various soil kaliums with 0~20 cm soil depth in study area

土地类型 Land types	速效钾 Readily available K-RAK//mg/kg	有效性钾 Available K-AK mg/kg	缓效钾 Slow available K-SAK//mg/kg	缓效钾转化率 Conversion rate of SAK//%	矿物钾 Mineral K-MK g/kg	全钾 Total K-TK g/kg	
农地 Farmland	苜蓿	113.3 bcd	242.7 abcd	536.3 bc	24.1 abc	18.2 ab	18.9 ab
	花葵	80.3 d	194.0 cd	509.0 bc	24.1 abc	17.7 ab	18.3 ab
	油葵	102.8 bed	215.7 abed	555.5 bc	20.4 bc	18.5 ab	19.1 ab
	番茄	148.0 bc	287.7 abc	615.7 ab	23.6 abc	17.5 ab	18.3 ab
	玉米	94.4 d	198.8 cd	518.8 bc	20.3 bc	18.9 a	19.5 ab
	籽瓜	102.5 cd	213.3 abed	629.7 ab	18.3 c	19.4 a	20.1 a
乔木林地 Arboreal land	新疆杨	82.0 d	183.0 cd	472.5 bc	20.6 bc	16.7 b	17.3 b
	二白杨	150.7 bc	333.4 ab	788.3 a	25.6 ab	18.6 ab	19.5 a
	小美早杨	103.4 bcd	215.9 abcd	448.4 bc	25.5 ab	17.9 ab	18.5 ab
灌木林地 Shrubland	怪柳	151.6 b	284.8 abc	439.0 bc	32.2 a	19.8 a	20.4 a
	霸王	79.5 d	185.3 cd	465.5 bc	24.8 abc	17.6 ab	18.1 ab
	柠条	83.6 d	201.5 cd	526.9 bc	22.7 abc	19.4 a	20.0 a
	沙木蓼	90.3 d	182.1 cd	459.7 bc	20.9 bc	18.9 ab	19.4 ab
	沙拐枣	83.2 d	205.8 bcd	630.0 ab	19.6 bc	18.1 ab	18.9 ab
	花棒	110.8 bed	203.2 cd	466.2 bc	19.9 bc	16.0 b	16.6 b
	沙棘	106.6 bed	209.5 abed	555.3 bc	19.1 c	18.6 ab	19.3 ab
	沙枣	198.3 a	358.4 a	763.0 a	21.2 bc	19.5 a	20.4 a
对照地 Control lands	69.4 d	155.2 d	352.9 c	25.9 ab	17.7 ab	18.1 ab	
变异系数 Coefficient of variation//%	47.3	36.1	32.5	34.0	13.8	13.5	

注:缓效钾转化率=(有效性钾-速效钾)/缓效钾×100%;不同小写字母表示不同地类间差异(LSD法)显著(P<0.05)

Note:Conversion rate of SAK=(AK-RAK)/SAK×100%;different lowercases in the same column were significant difference among all lands at 0.05 level

2.1.3 矿物钾和全钾。表2显示,研究区全钾含量为16.6~20.4 g/kg,属“3级”(15~20 g/kg)较高水平^[12],钾储量较富足。矿物结构中难以释放的矿物钾含量占全钾的95.4%~97.8%,即95%以上土壤钾素在短期内对植物无效,因为矿物钾转化为缓效钾再转化为有效钾的动态有效化进程缓慢,有时也会造成研究区土壤缺钾(速效钾<100 mg/kg)现状^[12]。因此,矿物钾和全钾含量仅反映土壤钾储量而非供钾能力。

2.2 不同地类土壤钾素综合评价 土壤钾素是一个动态转化平衡体系,有效钾素反映土壤现实供钾能力,缓效钾及其转化率体现潜在供钾水平,矿物钾和全钾表达整体钾储量高低,而衡量区域整体钾素状况并非单一形态钾素所能体现,而应通过多项评价指标综合呈现。为此,通过6个钾素指标尝试引入土壤钾指数(Soil Kalium Index, SKI)进行研究区土壤供钾能力综合评价。

2.2.1 评价模型选择。采用加权综合法指数评价模型,该模型同时考虑了评价指标值、权重、评价指标间的交互作用和最小因子限制率对综合评价的共同影响,较符合实际^[13-18]。土壤钾指数(SKI)模型:

$$SKI = \prod_{i=1}^n C_i^{K_i}$$

式中, C_i 和 K_i 为评价指标的隶属度和权重; $C_i^{K_i}$ 反映各评价指标对SKI的贡献; n 为评价指标个数;连乘运算符 \prod 体现各评价指标间的交互作用和最小因子限制率。

2.2.2 临界值确定和隶属度计算。土壤钾素符合常规“S”型土壤功能效应,即在一定范围内钾素评价指标值与土壤

功能呈正相关,而低于或高于此范围,评价指标值的变化对土壤功能的影响很小。在实际评价中常将S型隶属函数简化:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x \geq x_0 \\ \frac{x}{x_0} & x < x_0 \end{cases}$$

式中, x 为评价指标实测值或计算实际值, x_0 为各评价指标上临界值。

参照以往研究成果并结合研究区实际^[12-18],确定土壤钾素指标上临界值:速效钾200 mg/kg、有效性钾400 mg/kg、缓效钾900 mg/kg、缓效钾转化率40%、矿物钾25 g/kg、全钾25 g/kg。根据上述隶属函数和6个钾素评价指标实际值计算出所有指标的隶属度值,将其转化为0~1的数值。

2.2.3 因子分析和权重确定。利用DPS软件对6个钾素指标实际值进行因子分析,根据分析结果中的共同度(公因子方差)计算权重,即对应指标的共同度(0.808)与共同度总值(5.519)之比为对应指标权重,以此类推(表3)。

因子分析通过方差极大正交旋转载荷矩阵相对集中提取主成分,便于找出可合理解释其物理意义的每个主因子。表3主因子和下划线因子载荷顺序:对钾素整体状况贡献排序为第一有效钾主因子(有效性钾>速效钾>缓效钾)、第二储量钾主因子(矿物钾=全钾)、第三转化钾主因子(缓效钾转化率)。3个主因子累计贡献高达92%,能很好地解释研究区钾素整体变异量和影响程度,也说明其他影响因素很小。

表3 各形态土壤钾素指标因子分析结果和权重

Table 3 Principal component factors and weight of various soil kaliums

指标 Indicator	因子1 Factor 1	因子2 Factor 2	因子3 Factor 3	共同度 Communality	权重 Weight
速效钾 RAK	<u>0.899</u>	0.017	0.018	0.808	0.146
有效性钾 AK	<u>0.975</u>	0.084	0.161	0.983	0.178
缓效钾 SAK	<u>0.745</u>	0.087	-0.625	0.815	0.148
缓效钾转化率 CR of SAK	0.189	0.079	<u>0.935</u>	0.916	0.166
矿物钾 MK	0.024	<u>0.998</u>	0.048	0.998	0.181
全钾 TK	0.086	<u>0.996</u>	0.005	1.000	0.181
特征值 Eigenvalue	2.217	2.009	1.293	Σ 5.519	Σ 1.000
累计贡献率 Cumulative percent//%	37	70	92		

2.2.4 SKI 计算和钾素综合评价。根据评价模型、隶属度、权重计算188个样点的SKI值。参照以往研究成果^[13-18]将研究区SKI更直观分等级:(0,0.2](V,低)、(0.2,0.4](IV,较低)、(0.4,0.6](III,中)、(0.6,0.8](II,较高)和(0.8,1.0](I,高)。从图1频率累计曲线和计算可知,SKI均在III级以上,其中,SKI>0.5(中间值)占82%,51%属II级以上较高水平,部分(3.7%)属I级高水平(0.81~0.92)。表明研究区综合钾素质量(SKI)整体较高,供钾能力整体较强,但不富足。

从图2按地类进行LSD多重比较和5%差异显著性分析看出,各地类SKI有a、b、c 3级显著差异,如沙枣SKI最大与

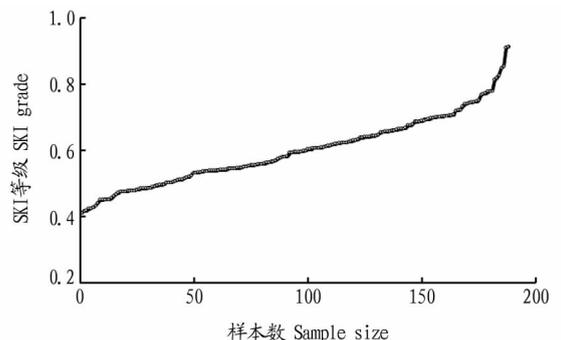
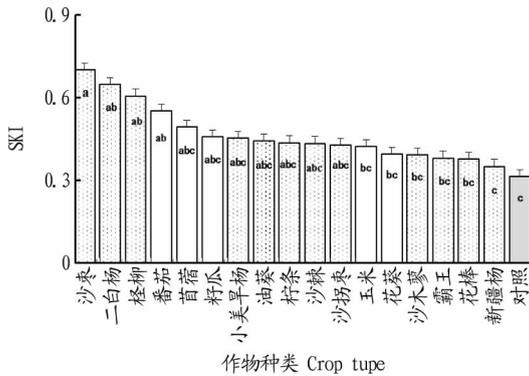


图1 SKI 频率分布

Fig. 1 Frequency distribution curve on SKI

对照差异显著且高 51%，新疆杨 SKI 最小与对照无差异且仅高 4%。体现出对研究区综合钾素影响因子的差异性和复杂性，但各地类 SKI 整体处于中上水平。



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases indicated significant difference at 0.05 level

图 2 各地类 SKI 分布

Fig. 2 Distribution on SKI in different lands

林地 SKI:沙枣、二白杨、柽柳明显好于其他,可能与三者片林密度大、造林时间长和土壤水分明显高于 2~3 行新疆杨等有关,说明干旱区无钾肥和较高土壤水分基础上的干湿交替更有利于微生物滋长和钾素转换,特别是缓效钾和矿物钾释放^[19-20];小美早杨、柠条、沙棘、沙拐枣等 SKI 值也相对较高,而沙木蓼、霸王、花棒、新疆杨 SKI 值明显较低。

农地 SKI:番茄>苜蓿>籽瓜>油葵>玉米>花葵。研究区长期仅施氮磷肥不施钾肥情况下因植物消耗钾素而促使土壤自然钾素转化和释放^[4,8,19],建议少种或不种植株高(>2 m)耗钾大的花葵和玉米。

从防护、经济和改良土壤角度看,林地建议种植二白杨、柽柳、小美早杨以及沙枣、柠条、沙棘等固氮植物(花棒除外);农地种植番茄、籽瓜、油葵等低矮经济作物和苜蓿等豆科固氮牧草。

3 讨论

林类、林龄、植物耗钾量、农地开垦年限和熟化程度、干湿交替、轮作、氮磷肥施入量、有机质、黏粒、CEC、CaCO₃、pH 等因素使研究区钾素整体存在不同程度的差异性^[3-6,10-11]。研究区平均近 47%的土壤有效钾(速效钾+缓效钾中的有效部分)由缓效钾转化供给,这一比例明显高于陕西渭北高原和延安地区的梯田与坝地(11.5%~23.4%)。整体看,梯田常年干旱缺水和坝地常年水丰表明干湿交替不明显,而该研究绿洲区黄灌干湿交替、水热条件等更明显,为土壤矿物钾转化为缓效钾再转化为有效钾素提供了不可或缺的外部条件和转化速率累积^[9-10,19-20],也说明缓效钾是有效钾素极为重要的潜源,只是在黄灌干湿交替条件下表现更充分。鲍士旦^[9]研究发现缓效钾转换为有效钾的贡献比例在部分区域高达 80%。

土壤各形态钾素相互牵连、相互协调、相互转化,共同表达钾素的有效性、潜源和储量,通过因子分析和 SKI 明确各形态钾素交叉影响整体钾素状况的主次之分、贡献大小和综合钾素供给状况,符合实际。应根据 SKI 值和研究区实际选

择造林树种和作物类型,苜蓿、沙枣、柠条、沙棘等固氮植物 SKI 整体较高,增钾效应明显,王月福等^[21]研究认为固氮植物在富钾情况下根瘤菌固氮能力提高 42.5%~48.3%,即缺钾情况下,固氮植物的改土增肥效应较差,研究区花棒 SKI 较低可能与亏钾多有关。研究区整体钾素富足,但速效钾缺乏现象仍然存在,农地要针对性采取施有机肥、钾肥、秸秆还田等增钾措施。

4 结论

(1)绿洲区地类间,有效钾(速效钾和有效性钾)和潜在钾(缓效钾)普遍差异显著且高出对照 1.1~2.9 倍,而储量钾(矿物钾和全钾)差异小且整体稍高于对照;大多地类速效钾含量属“2~3 级”富钾情况,部分林地和农地(玉米、花葵)已显缺钾;有效性钾中近 50%由缓效钾转化供给,钾素潜源缓效钾平均转化率高达 22.7%;矿物储量钾较富足但 95%以上对植物短期无效。

(2)6 个钾素评价指标对钾素整体贡献和影响高达 92%,评价科学可靠,排序为有效钾因子(有效性钾>速效钾>缓效钾)、储量钾因子(矿物钾和全钾)和转化钾因子(缓效钾转化率);SKI>0.5 的达 82%,SKI>0.6 的达 51%,供钾能力整体较强,但不富足。

(3)建议林地种植二白杨、小美早杨、柽柳和沙枣、柠条、沙棘等固氮植物(花棒除外);农地种植番茄、籽瓜、油葵经济作物和苜蓿等豆科固氮牧草;在干旱黄灌区干湿交替促进钾素高效转化和持续供应,虽然整体钾素较高但部分农地需少量补钾。

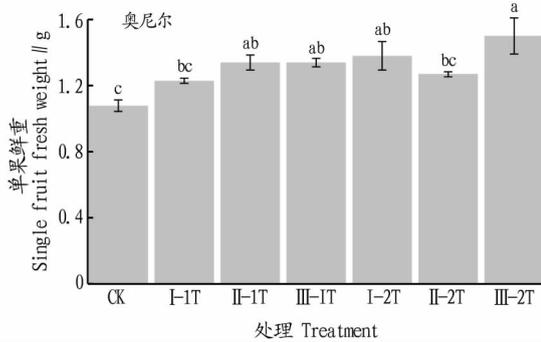
参考文献

- [1] HAN G Z, HUANG L M, TANG X G. Potassium supply capacity response to K-bearing mineral changes in Chinese purple paddy soil chronosequences[J]. Journal of soils and sediments, 2019, 19(3): 1190-1200.
- [2] HE P, YANG L P, XU X P, et al. Temporal and spatial variation of soil available potassium in China (1990-2012)[J]. Field crops research, 2015, 173: 49-56.
- [3] 廖育林, 鲁艳红, 谢坚, 等. 长期施用钾肥和稻草对红壤双季稻田土壤供钾能力的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 456-467.
- [4] 张会民, 徐明岗, 张文菊, 等. 长期施肥条件下土壤钾素固定影响因素分析[J]. 科学通报, 2009, 54(17): 2574-2580.
- [5] 焉莉, 王寅, 冯国忠, 等. 吉林省农田土壤肥力现状及变化特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4800-4810.
- [6] 王寅, 高强, 李翠兰, 等. 吉林省玉米施钾增产效应及区域差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(8): 1335-1344.
- [7] 岳龙凯, 蔡泽江, 徐明岗, 等. 长期施肥红壤钾有效性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(6): 1543-1550.
- [8] 王婷, 周海燕, 李利利, 等. 长期不施化学钾肥对陇东旱塬作物产量及土壤速效钾含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(5): 44-49.
- [9] 鲍士旦. 土壤化学分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [10] 赵志强, 包耀贤, 廖超英, 等. 乌兰布和沙漠东北部沙区人工林土壤钾素特征研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 176-180, 185.
- [11] 韩逸, 江叶枫, 郭熙, 等. 基于增强回归树的鄱阳湖平原区耕地土壤钾素空间变异影响因素研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(4): 622-634.
- [12] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [13] 徐建明, 张甘霖, 谢正苗, 等. 土壤质量指标与评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [14] 包耀贤. 黄土高原坝地和梯田土壤质量特征及评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [15] BO Y J, ZHU Q K, BAO Y X, et al. Soil quality assessment of micro-landforms in the semi-arid region of the Loess Plateau, China[J]. Journal of food agriculture and environment, 2013, 11(3): 2393-2398.

标检测样品,果实要求果皮整体呈蓝色、成熟度一致、表皮果粉完整、无机械伤或病虫害。每株 100 个果实。

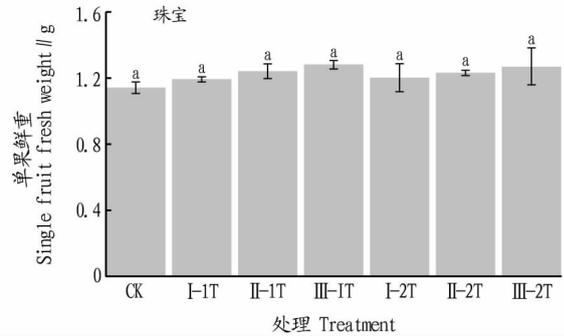
品质指标测定:①使用万分之一电子天平测量单果鲜重;②使用游标卡尺测量果实横纵径;③使用手持式折光仪测量可溶性固形物含量;④采用蒽酮比色法测定果实可溶性糖含量^[16];⑤采用氢氧化钠滴定法测定可滴定酸含量^[16];⑥通过计算可溶性糖与可滴定酸含量比值获得糖酸比;⑦用 2,6-二氯酚靛酚法^[17]测定蓝莓维生素 C 含量;⑧采用分光光度法测定花青素含量^[18]。

1.4 数据分析 统计分析采用 SPSS 19.0 软件进行,图表、数据处理采用 Excel 2010 进行。



2 结果与分析

2.1 喷施钾肥对蓝莓果实单果鲜重的影响 由图 1 可知,对照组奥尼尔的单果重最低,为(1.07±0.20)g,而钾肥喷施处理组II-1T、III-1T、I-2T、III-2T 的单果重显著高于对照组($P < 0.05$),分别增加了 24.30%、24.30%、28.04% 和 39.25%。喷施钾肥后,珠宝的单果鲜重与对照组均差异不显著,各个处理的果实单果重也均无显著差异,III-1T 处理后,珠宝的单果重均达到最大值,相比对照组提高了 12.28%,珠宝的单果重随着叶面钾肥浓度的增高而增大,喷施相同浓度叶面钾肥的情况下,喷施 2 次叶面钾肥后的珠宝果实单果重均小于只喷施一次叶面钾肥的单果重。



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level

图 1 喷施钾肥对奥尼尔和珠宝单果鲜重的影响

Fig. 1 Effect of potassium fertilizer spraying on fruit fresh weight of O'Neil and Jewelry

2.2 喷施钾肥对蓝莓果实横纵径和果形指数的影响 由表 1 可知,对照组奥尼尔果实横径与I-1T 处理的横径差异不显著,与其他处理的果实横径差异显著($P < 0.05$)。I-2T 处理的奥尼尔果实纵径最大,为(12.05±0.43)mm,显著高于II-1T 处理[(11.14±0.29)mm]以及对照组[(11.04±0.59)mm] ($P < 0.05$)。对奥尼尔喷施叶面钾肥后,蓝莓果实横纵径和果形指数均有变化,III-2T 处理下蓝莓果实横纵径相比对照组分别提高了 11.00%、3.99%。喷施 2 次叶面钾肥与只喷施

一次相同浓度的叶面钾肥相比,I-2T 和III-2T 处理后的奥尼尔果实横纵径均更大,但II-2T 处理后的蓝莓果实横纵径均小于II-1T 处理后的奥尼尔果实横纵径。施用叶面钾肥后,蓝莓珠宝的果实横纵径与对照组差异均不显著,III-1T 处理后,珠宝的横纵径均达到最大值,相比对照组分别提高了 5.72%、3.33%。喷施钾肥后,奥尼尔和珠宝的果形指数均小于对照组。

表 1 喷施钾肥对蓝莓果实外观品质的影响

Table 1 Effect of potassium fertilizer spraying on appearance quality of blueberry fruit

处理 Treatment	横径 Transverse diameter/mm		纵径 Vertical diameter/mm		果形指数 Fruit shape index	
	奥尼尔	珠宝	奥尼尔	珠宝	奥尼尔	珠宝
CK	12.54±0.90 b	12.40±0.73 a	11.04±0.59 b	11.10±0.53 a	0.88	0.90
I-1T	13.39±0.39 ab	12.98±0.55 a	11.47±0.16 ab	11.30±0.57 a	0.86	0.87
II-1T	13.78±0.50 a	12.80±0.26 a	11.63±0.36 ab	11.27±0.22 a	0.84	0.88
III-1T	13.84±0.09 a	13.11±0.45 a	11.62±0.12 ab	11.47±0.20 a	0.84	0.87
I-2T	13.81±0.40 a	12.70±0.47 a	12.05±0.43 a	11.26±0.46 a	0.87	0.89
II-2T	13.60±0.28 a	12.72±0.44 a	11.14±0.29 b	11.17±0.44 a	0.82	0.88
III-2T	13.92±0.64 a	12.82±0.58 a	11.48±0.29 ab	11.40±0.22 a	0.82	0.89

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

2.3 喷施钾肥对蓝莓果实可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸和糖酸比的影响 由表 2 可知,奥尼尔各处理组之间果实的可溶性固形物含量差异不显著。珠宝对照组的可溶性固形物含量只与III-2T 处理的可溶性固形物含量差异显著($P <$

0.05)。2T 处理下,叶面钾肥浓度越高,珠宝果实中可溶性固形物含量越高。II-2T 处理下,奥尼尔可溶性糖含量达到最高(7.22±0.18)%,显著高于可溶性糖含量最低的对照组($P < 0.05$);珠宝对照组的可溶性糖含量也最低,处理III-1T、