

水肥调控对西北地区马铃薯产量和水肥利用效率影响的 Meta 分析

苏丹丹^{1,2}, 张恒嘉^{1,2*}, 邓浩亮³, 周晨莉^{1,2}, 陈谢田^{1,2}

(1.甘肃农业大学, 兰州 730070; 2.聊城大学, 山东 聊城 252059; 3.河西学院, 甘肃 张掖 734000)

摘要:【目的】评估水肥调控对马铃薯产量、水分利用效率(WUE)和肥料偏生产率(PFP)的影响。【方法】采用数据整合(Meta)分析,以马铃薯产量和水肥利用效率为决策因子,筛选获得目标文献 29 篇,建立水-肥-产量(440 组)、水-肥-WUE(318 组)、水-肥-PFP(428 组)共计 1 186 组观测值的数据库。分析水肥调控对西北地区马铃薯产量和水肥利用效率的影响,优选西北地区马铃薯最优水肥调控区间。【结果】对宁夏马铃薯生产而言,适量增加灌水量和施肥量至最佳水肥调控区间可增产 14.12 t/hm²,增加 2.96 kg/m³的 WUE 和 32.83 kg/kg 的 PFP;对甘肃马铃薯生产而言,降低施肥量至最佳施肥区间可增加 27.58 kg/kg 的 PFP;对内蒙古马铃薯生产而言,降低灌水量并增加施肥量至最佳水肥调控区间,可增产 17.92 t/hm²,同时增加 3.33 kg/m³的 WUE 和 30.91 kg/kg 的 PFP。【结论】西北四省(自治区)马铃薯最优水肥调控区间分别为:宁夏(灌水量 900~2 100 m³/hm²,施肥量 345~531.6 kg/hm²)、甘肃(灌水量 2 895~3 550 m³/hm²,施肥量 420~630 kg/hm²)、陕西(灌水量 1 650~2 940 m³/hm²,施肥量 415~630 kg/hm²)、内蒙古(灌水量 1 350~2 070 m³/hm²,施肥量 435~675 kg/hm²)。本研究结果可为制定西北地区马铃薯高产高效的水肥管理策略提供参考。

关键词: 马铃薯; 水肥调控; 产量; 水分利用效率; 肥料偏生产率; Meta 分析

中图分类号: S27

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023359

OSID: 

苏丹丹, 张恒嘉, 邓浩亮. 水肥调控对西北地区马铃薯产量和水肥利用效率影响的 Meta 分析[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(3): 19-26.

SU Dandan, ZHANG Hengjia, DENG Haoliang, et al. Effect of irrigation and fertilization on yield and water and fertilizer use efficiency of potato in the northwestern China: A Meta-analysis[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2024, 43(3): 19-26.

0 引言

【研究意义】马铃薯是世界第四大粮食作物^[1]。2021 年,中国马铃薯产量高达 0.91 亿 t,占世界总产量的 25.09%,但平均单产为 16.30 t/hm²,仅为世界平均单产的 87.67%^[2]。西北地区是我国马铃薯种植规模最大的地区之一^[3],水资源短缺和栽培技术落后导致该地区马铃薯生产面临严峻挑战^[4]。水肥作为马铃薯产量的主要限制因子,其合理调控是促进马铃薯种植业可持续发展的关键^[5]。

【研究进展】西北地区地处干旱半干旱地区,降水量较低且缺乏规律性,传统雨养农业无法满足

马铃薯生长的水分需求^[6]。发展灌溉农业是保障西北地区马铃薯高产和稳产的重要途径。目前,西北地区绝大多数马铃薯种植仍采用大水漫灌和沟灌的方式,不仅耗水量大,还易造成深层渗漏并降低作物水分利用率^[7-8]。因此,亟需在保证马铃薯产量的前提下,采用高效的水资源管理策略来提高马铃薯水分利用效率。此外,在集约农业生产的“高投入,高回报”传统观念下,农户过度施肥现象普遍。过量施用肥料不仅降低肥料利用效率,还会对土壤和环境造成污染,甚至降低作物产量^[9-11]。

水肥一体化技术将灌溉和施肥相结合,通过滴灌等节水灌溉技术能更好地实现水肥配施,提高水肥利用率,减少水肥消耗^[12-13]。【切入点】目前,尽管围绕水肥因子对马铃薯生长、品质等方面的研究较多,但现有研究大都在站点尺度上分析水肥调控对马铃薯产量的影响^[14-16],鲜有研究在区域尺度上探讨水肥调控对西北地区马铃薯产量和水肥利用效率的影响。

【拟解决的关键问题】鉴于此,本研究采用 Meta 分析方法,研究水肥调控对马铃薯产量、水分

收稿日期: 2023-08-10 修回日期: 2023-12-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(52269008); 甘肃省教育厅产业支撑计划项目(2022CYZC-51); 甘肃省重点研发计划项目(18YF1NA073); 甘肃省科技支撑计划项目(1304FKCA095); 甘肃省优秀研究生“创新之星”项目(2023CXZX-688)

作者简介: 苏丹丹(1997-),女。硕士研究生,主要从事高效节水理论与技术方面研究。E-mail: 2258533255@qq.com

通信作者: 张恒嘉(1974-),男。教授,博士生导师,博士,主要从事园艺园林植物土肥水管理、农业水土工程及作物水分高效利用与节水机理研究。E-mail: 596088683@qq.com

©《灌溉排水学报》编辑部,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

利用效率（*WUE*）和肥料偏生产率（*PF_P*）的影响，基于产量和水肥利用效率，优选宁夏、甘肃、陕西和内蒙古马铃薯最佳水肥调控区间，为西北地区马铃薯高产高效、节水减肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

通过中国知网（CNKI）和 Web of Science 数据库进行文献检索，收集 1980—2023 年已发表的关于中国西北地区水肥调控对马铃薯产量、*WUE* 和 *PF_P* 影响的学术论文。以“马铃薯”、“水肥”、“水氮”、“水磷”和“水钾”作为检索词，按照以下标准将筛选的学术论文纳入本研究数据库：①数据来自中

国西北地区的田间试验；②每组试验必须基于水肥调控条件；③试验必须同时报告关于马铃薯产量、灌水量和施肥量指标；④必须包含明确的试验地点和试验年份。

根据上述原则，本研究重点关注水、肥双因子对马铃薯产量的影响，从全国范围内筛选出关于马铃薯水肥调控的学术论文 32 篇，其中 29 篇研究在西北地区开展，共包括 1 186 组观测数据，能较好地反映西北地区马铃薯水肥调控的研究现状。表 1 为文献当中的播种期、收获期、气象条件及土壤理化性质信息。优先从文中和表格中收集数据，其次利用图形化数字转换器 GetData Groph Digitizer（2.25）将图片信息转化为数据后再提取。

表 1 基于文献总结的各省研究区概况

Tab.1 Summary of provincial study area based on literature summary				
区域	甘肃	内蒙古	宁夏	陕西
播种日期	4 月中旬—下旬	4 月下旬—5 月中旬	4 月下旬—5 月中旬	4 月上旬—5 月中旬
收获日期	8 月下旬—9 月下旬	9 月下旬—10 月上旬	9 月下旬—10 月下旬	9 月下旬—10 月上旬
马铃薯品种	陇薯 3 号 大西洋	冀张薯 12 号 克新 1 号（紫花白） 夏波蒂	冀张薯 8 号 青薯 168 青薯 9 号 宁薯 4 号 大西洋	冀张薯 8 号 克新 1 号（紫花白） 荷兰 15 号 榆树 4 号
年平均气温/℃	7.8~8.8	2.5~3.1	6.5~8.6	8.6
年平均降水量/mm	118~164.4	200~400	200~430	371~473
年平均蒸发量/mm	2 000~2 028	2947	1 371~2 814	1 400~1 900
无霜期/d	150~160	95~135	120~180	167
种植密度/(株·hm ⁻²)	61 600~75 000	46 500~58 305	33 345~84 333	45 000~60 000
总氮量/(g·kg ⁻¹)	0.44	0.87~1.48	0.27~1.2	0.36~0.38
速效氮量/(mg·kg ⁻¹)	22.58~58	38.41~40.22	25~80.4	6.82~48.9
速效磷量/(mg·kg ⁻¹)	6.27~27.82	6~53.6	5~22.85	4.43~38.2
速效钾量/(mg·kg ⁻¹)	138.25~192	104~137	120.32~251	55.52~101.65

1.2 数据分析

将马铃薯产量最高时的最小水肥投入量定义为优水优肥，高于或低于优水的水分投入量定义为超优水和次优水，高于或低于优肥的肥料投入量定义为超优肥和次优肥，因而得到 9 种水肥组合（表 2）^[17]。

对每项研究各试验年份下的产量、*WUE* 和 *PF_P* 的观测值和最大值进行比较，以评估不同水肥投入量对西北地区马铃薯产量、*WUE* 和 *PF_P* 的影响。本研究使用响应比（Response ratio, *RR*）的自然对数作为效应值（ln*RR*），以量化不同水肥投入对产量、*WUE* 和 *PF_P* 的影响。

表 2 水肥双因素调控下的 9 种水肥组合方式

Tab.2 9 water and fertilizer combinations under two-factor water and fertilizer coupling

施肥水平	灌水水平		
	次优水（W-）	优水（W）	超优水（W+）
次优肥（F-）	次优水次优肥（W-F-）	优水次优肥（WF-）	超优水次优肥（W+F-）
优肥（F）	次优水优肥（W-F）	优水优肥（WF）	超优水优肥（W+F）
超优肥（F+）	次优水超优肥（W-F+）	优水超优肥（WF+）	超优水超优肥（W+F+）

2 结果与分析

2.1 西北地区马铃薯产量、水分利用效率、肥料偏生产率概况

受不同研究中马铃薯品种及管理措施等因素的影响,不同文献中的马铃薯产量、*WUE*、*PFP*、灌溉水投入量、总水分输入量和 N-P-K 投入量存在较大差异(图 1),具体表现为:440 组马铃薯产量的分布范围为 5.51~65.3 t/hm²(平均值为 38.58 t/hm²),

318 组 *WUE* 的分布范围为 1.67~24.77 kg/m³(平均值为 9.72 kg/m³);428 组 *PFP* 的分布范围为 8.35~214.25 kg/kg(平均值为 82.05 kg/kg);408 组灌溉水量分布范围为 0~600 mm(平均值为 178.85 mm);318 组总水分输入量分布范围为 329.77~828.05 mm(平均值为 378.69 mm);444 组 N-P-K 投入总量分布范围为 0~1 665.0 kg/hm²(平均值为 543.99 kg/hm²)。

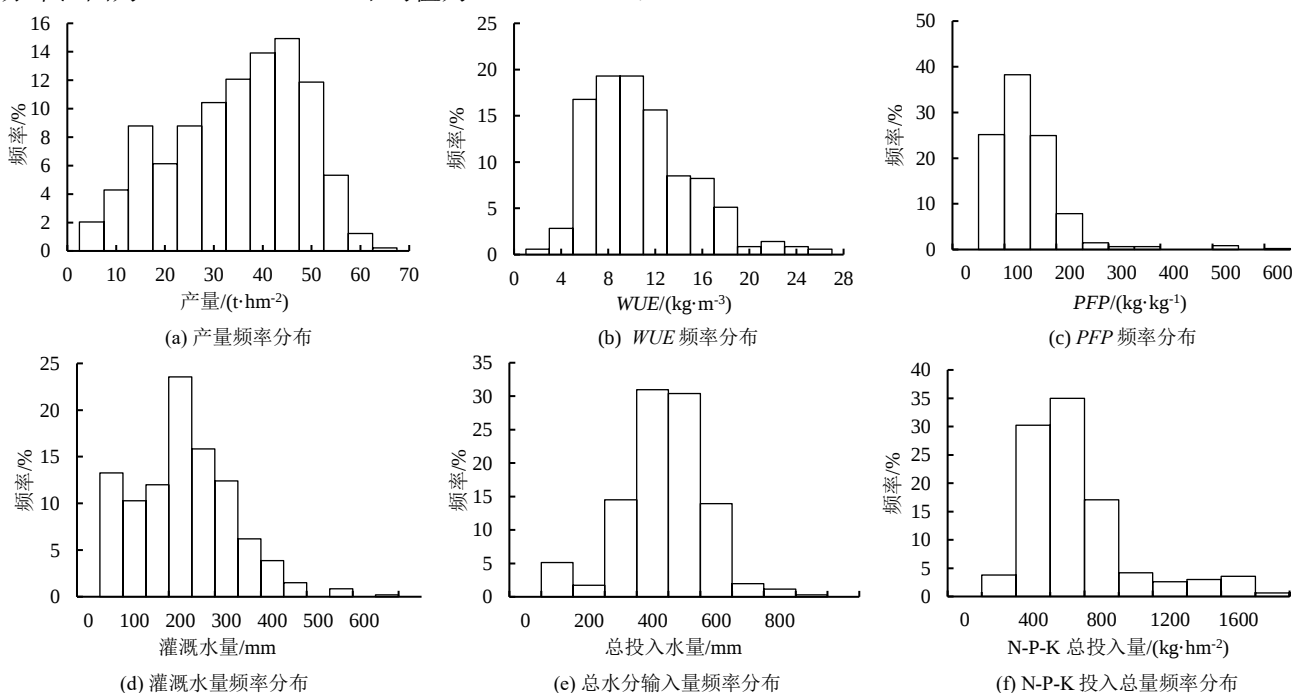


图 1 马铃薯产量、水肥利用效率和水肥投入量的频率分布

Fig.1 Frequency distributions of potato yield, water and fertilizer use efficiency, and water and fertilizer input

由图 2 可知,马铃薯产量在西北四省(自治区)的中位数区间分别为:宁夏 16.79~47.95 t/hm²(中位数 30.21 t/hm²),甘肃 32.82~50.52 t/hm²(中位数 44.33 t/hm²),陕西 34.65~48.90 t/hm²(中位数 42.34 t/hm²),内蒙古 19.40~35.32 t/hm²(中位数 26.41 t/hm²)。 *WUE* 中位数区间分别为:宁夏 5.29~11.06 kg/m³(中位数 7.69 kg/m³),甘肃 9.37~12.09 kg/m³(中位数 10.65 kg/m³),陕西 7.65~11.07 kg/m³(中位数 9.35 kg/m³),内蒙古 5.56~14.21 kg/m³(中位数 7.29 kg/m³); *PFP* 中位数区间分别为:宁夏 32.04~115.96 kg/kg(中位数 66.01 kg/kg),甘肃 28.78~96.63 kg/kg(中位数 71.26 kg/kg),陕西 74.84~133.68 kg/kg(中位数 98.84 kg/kg),内蒙古 46.23~93.74 kg/kg(中位数 67.93 kg/kg)。

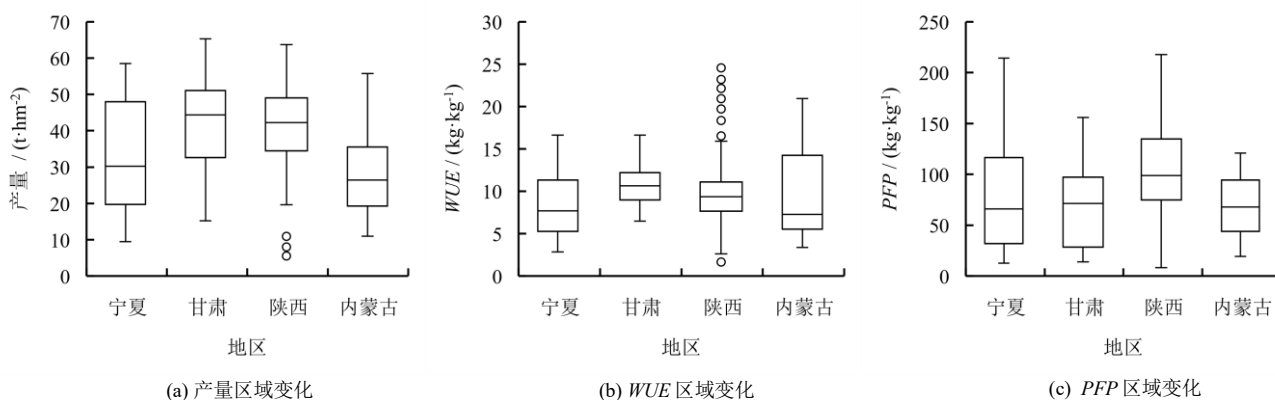


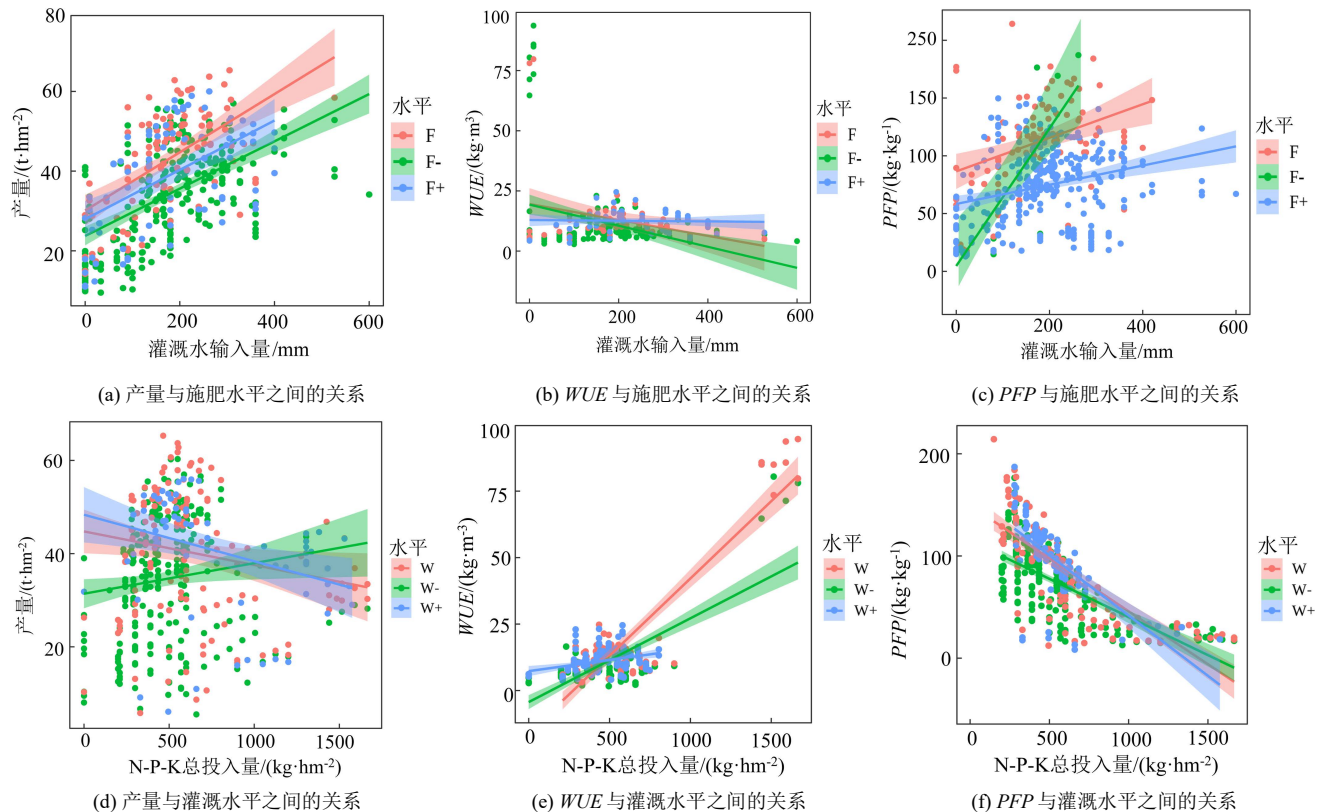
图 2 马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 区域变化箱形图

Fig.2 Box plots of regional variations in potato yield, *WUE* and *PFP*

2.2 不同水肥投入量对马铃薯产量、*WUE*、*PFP* 的影响

施肥量和灌溉水量对马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 有显著影响 (图 3)。施肥水平对产量影响的增长速率表现为: $F > F+ > F-$; *WUE* 随灌溉水量的增加而下降, 不同施肥水平间无显著差异; 施肥水平对 *PFP* 影响的增长速率表现为: $F- > F > F+$ 。灌溉水平

对马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 的影响整体表现为: 在 *W-*灌溉水平下, 产量随 *N-P-K* 总投入量的增加而增加, 而在 *W-*和 *W+*灌溉水平下由于拟合效果不佳, 出现产量随施肥量增加而降低的异常情况; *WUE* 的增长速率表现为: $W > W- > W+$; *PFP* 的降低速率表现为: $W+ > W > W-$ 。



注 使用普通最小二乘法确定回归线, 彩色区域代表 95%置信区间。*W* 为最优灌溉水输入量, 即马铃薯产量最高时的最小灌溉量, *W+* 和 *W-* 分别表示高于 (超优)、低于 (次优) 最优灌溉水输入量; *F* 为最优 *N-P-K* 总投入量, 即马铃薯产量最高时的最小 *N-P-K* 总投入量, *F+*、*F-* 分别表示高于 (超优)、低于 (次优) 最优 *N-P-K* 总输入量。

图 3 不同灌溉水输入量和 *N-P-K* 投入量条件下的灌溉水平和施肥水平与产量、*WUE* 和 *PFP* 之间的关系

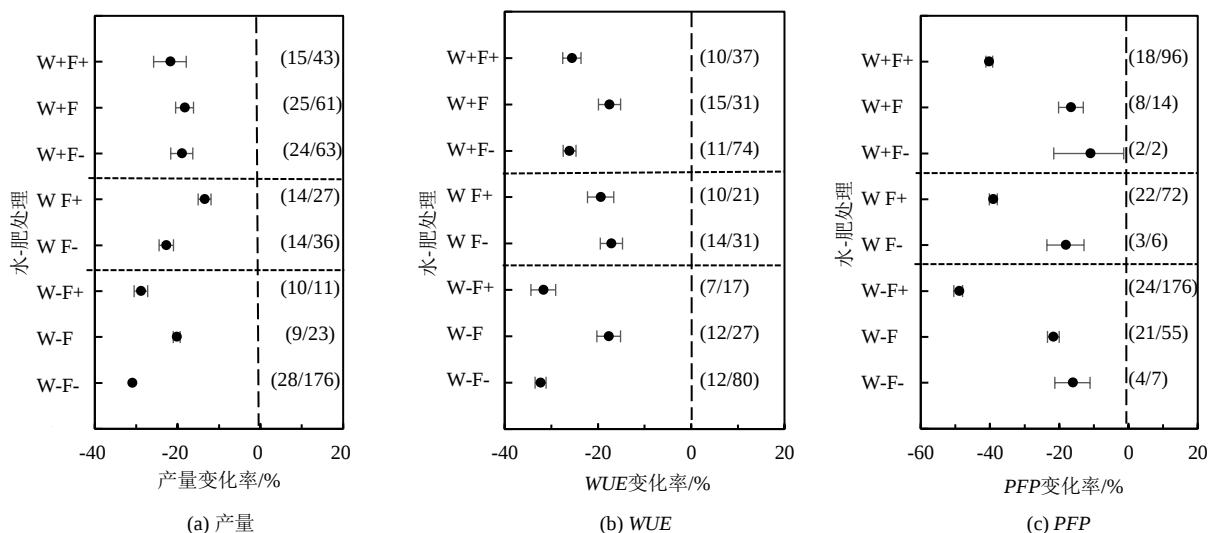
Fig.3 Relationships between irrigation water levels and *N-P-K* inputs levels and yield, *WUE* and *PFP* under different total *N-P-K* inputs and irrigation water inputs

2.3 不同水肥组合对马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 的影响

在不同水肥组合对马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 影响的整体表现中 (图 4), 相比于 *WF* 处理, *W+F+*、*W+F* 处理和 *W+F-* 处理分别降低了 21.76%、18.29% 和 18.96% 的马铃薯产量, 25.57%、17.49% 和 26.08% 的 *WUE*, 以及 40.20%、16.55% 和 10.91% 的 *PFP*; *WF+* 处理和 *WF-* 处理则降低了 13.46% 和 22.71% 的产量, 19.38% 和 17.08% 的 *WUE*, 以及 39.03% 和 18.03% 的 *PFP*; 而 *W-F+*、*W-F* 处理和 *W-F-* 处理则分别降低了 28.85%、20.21% 和 30.93% 的产量, 31.67%、17.66% 和 32.29% 的 *WUE*, 以及 48.83%、21.68% 和 16.03% 的 *PFP*。

2.4 最佳水肥调控区间的优选

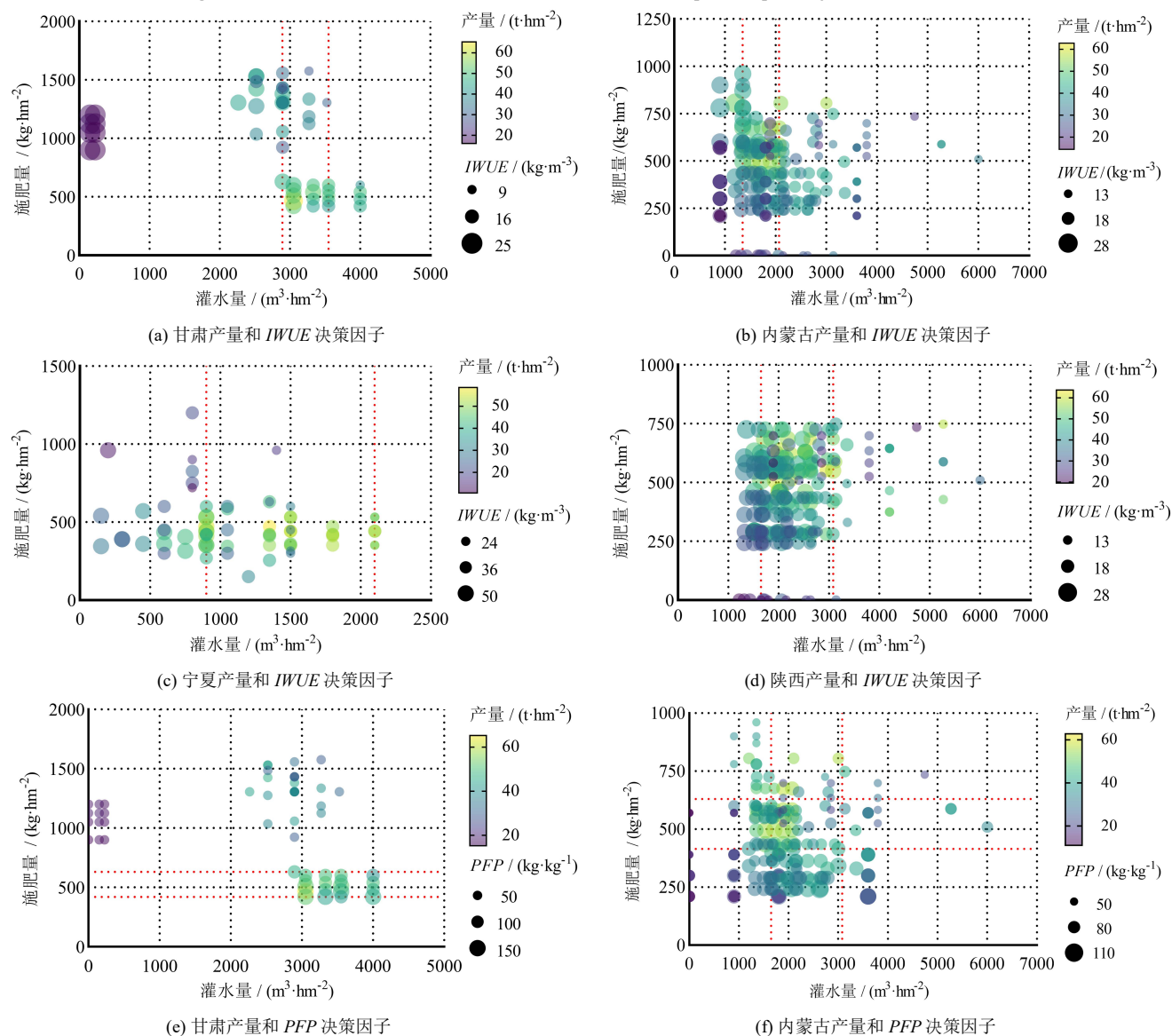
由图 5 可知, 西北四省 (自治区) 最佳水肥调控区间差异较大。以马铃薯产量和水肥利用效率为决策因子, 得出西北四省 (自治区) 最佳灌溉水输入区间分别为: 甘肃 2 895~3 550 m^3/hm^2 (平均值为 3 222.5 m^3/hm^2), 内蒙古 1 350~2 070 m^3/hm^2 (平均值为 1 710 m^3/hm^2), 宁夏 900~2 100 m^3/hm^2 (平均值为 1 500 m^3/hm^2), 陕西 1 650~3 081 m^3/hm^2 (平均值为 2 295 m^3/hm^2); 最佳肥料投入区间分别为: 甘肃 420~630 kg/hm^2 (平均值为 525 kg/hm^2), 内蒙古 435~675 kg/hm^2 (平均值为 555 kg/hm^2), 宁夏 345~531.6 kg/hm^2 (平均值为 438.3 kg/hm^2), 陕西 415~675 kg/hm^2 (平均值为 545 kg/hm^2)。

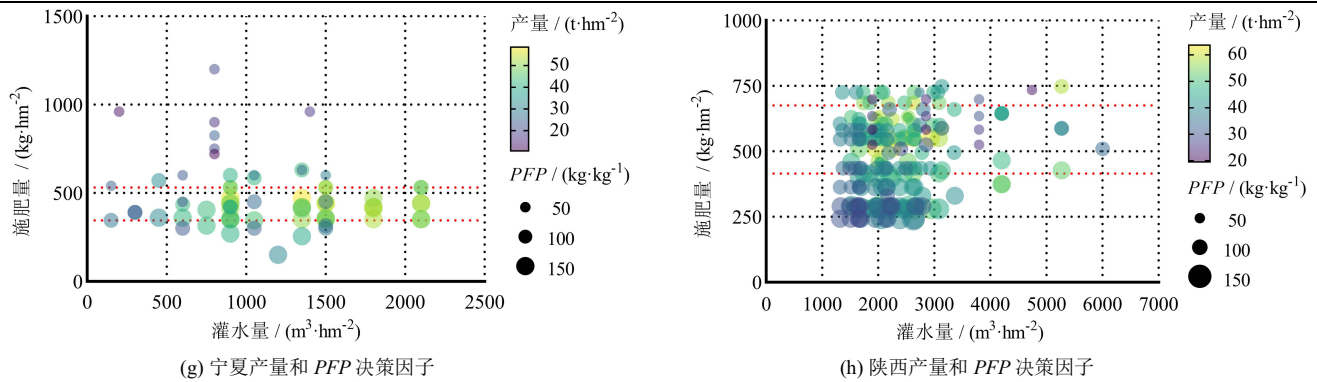


注 图 4 (a) 基于 29 项研究的 440 项观测值, 垂直虚线代表马铃薯产量的最优水肥投入 (产生最高产量时的最小水肥投入); 图 4 (b) 基于 19 项研究的 318 项观测值, 垂直虚线代表 WUE 的最优水肥投入 (产生最大 WUE 时的最小水肥投入); 图 4 (c) 基于 29 项研究的 428 项观测值, 垂直虚线代表马铃薯 PFP 的最优水肥投入 (产生最高 PFP 时的最小水肥投入); 图中显示了平均值和 95% 置信区间。

图 4 不同水肥组合输入对马铃薯产量、WUE 和 PFP 的影响

Fig.4 Effect of different water and fertilizer combination inputs on potato yield, WUE and PFP



图 5 西北四省不同水肥输入条件下, 以产量、*WUE* 和 *PFP* 为决策因子的马铃薯水肥调控气泡图Fig.5 Bubble map of potato water and fertilizer regulation with yield, *WUE*, and *PFP* as decision factors under different water and fertilizer input in four provinces of Northwest China

3 讨论

在干旱和半干旱地区, 水肥调控已被证实对马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 存在广泛影响^[18]。传统观念认为高水高肥是确保马铃薯增产、稳产的“保险做法”。然而, 马铃薯是浅根作物, 过量的水肥投入易使养分和水分从根区流失, 进而造成土壤污染、降低水肥利用效率^[19,20]; 此外, 过量的水肥投入易造成马铃薯地上部分徒长, 贪青晚熟, 结薯延迟, 薯块膨胀缓慢^[21-23]。本研究所选用的观测值中, 近 1/3 的供水量大于优水处理, 降低了 18.29%~21.76% 的产量, 减小了 17.49%~26.08% 的 *WUE*; 超优肥的肥料供应降低了 13.46%~28.85% 的产量, 减小了 39.03%~48.83% 的 *PFP*, 这与周小杰等^[24]和张富仓等^[25]研究结果一致。此外, 不同施肥水平下, 产量和 *PFP* 随灌水量增加的增长速率分别表现为: 优肥>超优肥>次优肥; 不同灌溉水平下, *WUE* 随施肥量增加的增长速率表现为: 优水>次优水>超优水。可见, 水肥对马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 具有显著的交互作用, 忽略水肥协同效应很难实现马铃薯高产与节水节肥的统一^[26,27]。

受气候条件、土壤养分、种植品种和管理措施等因素的影响^[28], 西北地区不同省(自治区)的马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 差异较大。宁夏马铃薯产量、*WUE* 和 *PFP* 与其他省份相比均较低, 最佳水肥调控区间最低, 分别为 900~2 100 m³/hm² 和 345~532 kg/hm², 表明宁夏需适量增加灌水量和施肥量至最佳水肥调控区间, 以提高该省马铃薯产量和水肥利用效率。甘肃马铃薯平均单产较陕西高 2.07 t/hm² (4.90%), *WUE* 仅略高于陕西 1.30 kg/m³ (13.9%), 但 *PFP* 却低于陕西 27.58 kg/kg (38.70%), 表明甘肃施肥量可能超过 420~630 kg/hm² 的最佳施肥调控区间, 需降低施肥量至最佳施肥调控区间, 以提高该省 *PFP*。陕西省水肥调控

较为适宜。内蒙古平均单产、*WUE* 在西北四省中最低, 最佳灌溉水区间较低, 而最佳施肥区间在四个省份中最高, 内蒙古需降低灌水量且适量增加施肥量至最佳水肥调控区间, 以提高该省马铃薯产量和 *WUE*。现阶段西北地区马铃薯水肥不合理施用现象较为普遍, 各省份最佳水肥调控区间存在巨大差异, 体现了为确保农业的可持续发展, 各省份实施特定水肥管理的必要性。

4 结论

西北四省(自治区)马铃薯最优水肥调控区间分别为: 宁夏(灌水量 900~2 100 m³/hm², 施肥量 345~531.6 kg/hm²)、甘肃(灌水量 2 895~3 550 m³/hm², 施肥量 420~630 kg/hm²)、陕西(灌水量 1 650~2 940 m³/hm², 施肥量 415~630 kg/hm²)、内蒙古(灌水量 1 350~2 070 m³/hm², 施肥量 435~675 kg/hm²)。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] DEVAUX A, KROMANN P, ORTIZ O. Potatoes for sustainable global food security[J]. Potato Research, 2014, 57(3): 185-199.
- [2] 王虎存, 赵武云, 孙伟, 等. 马铃薯机械化收获技术与装备研究进展[J]. 农业工程学报, 2023, 39(14): 1-22.
WANG Hucun, ZHAO Wuyun, SUN Wei, et al. Research progress on the technology and equipment for potato mechanized harvesting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(14): 1-22.
- [3] 钟鑫, 蒋和平, 张忠明. 我国马铃薯主产区比较优势及发展趋势研究[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(2): 1-8.
ZHONG Xin, JIANG Heping, ZHANG Zhongming. Studies on comparative advantage and developing tendency of major potato producing areas in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2016, 18(2): 1-8.
- [4] 李强. 西北地区马铃薯产量—气候变化关系分析及高产高效栽培技术研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.
LI Qiang. Potato Yield-climate change relationship in Northwest China and research on high yield and high efficiency cultivation[D]. Beijing:

- University of Chinese Academy of Sciences, 2018.
- [5] WANG N, REIDSMA P, WANG Z Q, et al. Enhancing sustainable potato production: A case study in Northern China[J]. *Agronomy*, 2021, 11(7): 1 322.
 - [6] 王玉宝, 刘显, 史利洁, 等. 西北地区水资源与食品安全可持续发展研究[J]. *中国工程科学*, 2019, 21(5): 38-44.
WANG Yubao, LIU Xian, SHI Lijie, et al. Sustainable development of water resources and food security in Northwest China[J]. *Strategic Study of CAE*, 2019, 21(5): 38-44.
 - [7] AFZAAL H, FAROOQUE A A, ABBAS F, et al. Precision irrigation strategies for sustainable water budgeting of potato crop in prince Edward Island[J]. *Sustainability*, 2020, 12(6): 2 419.
 - [8] 郭振宇, 杨丹妮, 杨晓琳, 等. 不同灌溉方式对大豆耗水和水分利用效率的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2023, 42(3): 14-25.
GUO Zhenyu, YANG Danni, YANG Xiaolin, et al. Water consumption and water use efficiency of soybean are impacted by irrigation method[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2023, 42(3): 14-25.
 - [9] LIU Kunyu, MENG Meilian, ZHANG Tingting, et al. Quantitative analysis of source-sink relationships in two potato varieties under different nitrogen application rates[J]. *Agronomy*, 2023, 13(4): 1 083.
 - [10] XU X P, HE P, QIU S J, et al. Nutrient management increases potato productivity and reduces environmental risk: Evidence from China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 369: 133 357.
 - [11] 尹志荣, 柯英, 蔡进军. 水肥耦合对设施番茄土壤水分、养分运移及产量和水分利用效率影响[J]. *灌溉排水学报*, 2023, 42(6): 33-44.
YIN Zhirong, KE Ying, CAI Jinjun. The combined effect of irrigation and fertilization on soil water, nutrient transport, yield and water use efficiency of greenhouse tomato[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2023, 42(6): 33-44.
 - [12] 王友富, 铁万祝, 郑崇兰, 等. 四川攀西地区不同水肥梯度膜下滴灌冬作青薯9号试验研究[J]. *农业研究与应用*, 2020, 33(1): 9-15.
WANG Youfu, TIE Wanzhu, ZHENG Chonglan, et al. Study on drip irrigation of mulched winter potato Qingshu 9 under different gradient water and fertilizer in Panxi region, Sichuan Province[J]. *Agricultural Research and Application*, 2020, 33(1): 9-15.
 - [13] 刘坤雨, 蒙美莲, 陈有君, 等. 水肥一体化模式对马铃薯干物质积累及水分利用效率的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(S1): 6-12.
LIU Kunyu, MENG Meilian, CHEN Youjun, et al. Effect of different fertigation patterns on dry matter accumulation and water use efficiency of potato[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2019, 38(S1): 6-12.
 - [14] YANG Y P, YIN J, MA Z H, et al. Water and nitrogen regulation effects and system optimization for potato (*Solanum tuberosum* L.) under film drip irrigation in the dry zone of Ningxia China[J]. *Agronomy*, 2023, 13(2): 308.
 - [15] 杜常亮, 王秀康, 王宁, 等. 水肥互作效应对陕北温室马铃薯生长及品质的影响[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(5): 1 702-1 709.
DU Changliang, WANG Xiukang, WANG Ning, et al. Effects of irrigation levels and fertilization amounts on potato growth and quality in greenhouse in Northern Shaanxi[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, 18(5): 1 702-1 709.
 - [16] XING Y Y, ZHANG T, JIANG W T, et al. Effects of irrigation and fertilization on different potato varieties growth, yield and resources use efficiency in the Northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2022, 261: 107 351.
 - [17] DU Y D, NIU W Q, GU X B, et al. Water- and nitrogen-saving potentials in tomato production: A meta-analysis[J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 210: 296-303.
 - [18] CROSBY T W, WANG Y. Effects of different irrigation management practices on potato (*Solanum tuberosum* L.)[J]. *Sustainability*, 2021, 13(18): 10 187.
 - [19] VOS J. Nitrogen responses and nitrogen management in potato[J]. *Potato Research*, 2009, 52(4): 305-317.
 - [20] 陈海情, 黄超, 刘翔辰, 等. 灌水方式和施肥组合对冬小麦生长及肥料利用影响[J]. *灌溉排水学报*, 2023, 42(1): 31-38.
CHEN Haiqing, HUANG Chao, LIU Xuchen, et al. Combined effects of irrigation and fertilization on growth and fertilizer utilization of winter wheat[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2023, 42(1): 31-38.
 - [21] 崔亮, LAANEMETS K, 刘冠求, 等. 施氮量对马铃薯干物质积累特性和产量的影响[J]. *河南农业科学*, 2020, 49(2): 44-51.
CUI Liang, LAANEMETS K, LIU Guanqiu, et al. Effects of different nitrogen application rate on dry matter accumulation characteristic and yield of potato[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2020, 49(2): 44-51.
 - [22] 孙建波. 施氮量对宁夏中部干旱带马铃薯淀粉积累及产量的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2018.
SUN Jianbo. Effect of nitrogen application on the potato starch accumulation and yield in the arid zone of central Ningxia[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2018.
 - [23] 何万春. 不同氮水平对覆膜马铃薯干物质积累和氮素吸收的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
HE Wanchun. Effects of different nitrogen rates on dry matter accumulation and N uptake of potato plants under film mulching culture conditions[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2015.
 - [24] 周小杰, 吕廷波, 邢猛, 等. 水肥耦合对南疆滴灌骏枣生长生理及产量的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2023, 42(5): 195-205.
ZHOU Xiaojie, LYU Tingbo, XING Meng, et al. Effects of water and fertilizer coupling on growth physiology and yield of Jun jujube under drip irrigation in Southern Xinjiang[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2023, 42(5): 195-205.
 - [25] 张富仓, 高月, 焦婉如, 等. 水肥供应对榆林沙土马铃薯生长和水肥利用效率的影响[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(3): 270-278.
ZHANG Fucang, GAO Yue, JIAO Wanru, et al. Effects of water and fertilizer supply on growth, water and nutrient use efficiencies of potato in sandy soil of Yulin area[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(3): 270-278.
 - [26] 王海东. 滴灌施肥条件下马铃薯水肥高效利用机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
WANG Haidong. Mechanism of high-efficient utilization of water and fertilizers by potato under drip fertigation[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020.
 - [27] 思旺阳. 半干旱区水肥协同管理对马铃薯生长的影响及推广应用策略[D]. 银川: 宁夏大学, 2021.
SI Wangyang. Effect of water fertilizer synergetic management on potato growth in semi-arid area and its application strategy[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021.
 - [28] ADAVI Z, MORADI R, SAEIDNEJAD A H, et al. Assessment of potato response to climate change and adaptation strategies[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 228: 91-102.

Effect of irrigation and fertilization on yield and water and fertilizer use efficiency of potato in the northwestern China: A Meta-analysis

SU Dandan^{1,2}, ZHANG Hengjia^{1,2*}, DENG Haoliang³, ZHOU Chenli^{1,2}, CHEN Xietian^{1,2}

(1. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Liaocheng University,

Liaocheng 252059, China; 3. Hexi University, Zhangye 734000, China)

Abstract: 【Background and Objective】 Northwestern China is the national hub of potato production, with irrigation and fertilization being the key factors affecting the yield, water and fertilizer use efficiency of the potato. The objective of the paper is to systematically assess the effect of different irrigations and fertilizations on yield, water use efficiency (*WUE*) and fertilizer partial factor productivity (*FPF*) of the potato in this region. The yield and water and fertilizer use efficiencies of the potato were treated as the decision factors for deriving the optimal irrigation and fertilization. 【Method】 The study was based on meta-analysis and extensive literature review using the data obtained from 29 sources. A dataset was established, which comprised 440 observations for water-fertilizer-yield relationship, 318 for water-fertilizer-*WUE*, and 428 for water-fertilizer-*FPF*. The analysis focused on the impact of water-fertilizer management on yield and efficiency metrics of the potato for Ningxia, Gansu, Shaanxi and Inner Mongolia in the northwestern China. 【Result】 In Ningxia, moderately increasing the irrigation amount and fertilization to optimal water-fertilizer levels can increase the maximum potato yield to 14.12 t/hm², the *WUE* to 2.96 kg/m³ and the *FPF* to 32.83 kg/kg. In Gansu, reducing fertilization to the optimal level can increase the maximum *FPF* to 27.58 kg/kg. In Inner Mongolia, reducing irrigation and increasing fertilization to optimal levels can increase the maximum potato yield to 17.92 t/hm², the *WUE* to 3.33 kg/m³ and the *FPF* to 30.91 kg/kg. 【Conclusion】 The optimal irrigation and fertilization for potato production in the four provinces in the northwestern China are: 900-2 100 m³/hm² of irrigation and 345-532 kg/hm² of fertilization for Ningxia, 2 895-3 550 m³/hm² of irrigation and 420-630 kg/hm² of fertilization for Gansu; 1 650-2 940 m³/hm² of irrigation and 415-630 kg/hm² of fertilization for Shaanxi; 1 350-2 070 m³/hm² of irrigation and 435-675 kg/hm² of fertilization for Inner Mongolia. These can be used as guidelines for potato production in these regions.

Key words: potato; water and fertilizer regulation; yield; water use efficiency; fertilizer partial factor productivity; Meta-analysis

责任编辑: 韩 洋