

新疆滴灌用水灌溉制度研究应用

王忠¹, 马铁成¹, 周和平^{2*}, 时志宇¹, 雪克来提·巴斯托夫¹, 林志强¹, 阿塔吾拉·斯拉吉丁¹

¹新疆维吾尔自治区灌溉排水发展中心, 新疆 乌鲁木齐

²新疆维吾尔自治区水利管理总站, 新疆 乌鲁木齐

Email: *xjslzhp@126.com

收稿日期: 2021年1月8日; 录用日期: 2021年2月1日; 发布日期: 2021年2月8日

摘要

新疆地处我国西部内陆腹地, 气候干旱降水稀少蒸发强烈生态脆弱, 形成了我国典型的“荒漠绿洲灌溉农业”格局, 目前新疆大面积推广应用滴灌高效节水技术, 研究分析滴灌用水灌溉制度, 为农业水资源高效利用管理提供技术支撑尤显迫切。本文以农业灌溉分区为基本单元, 综合考虑不同地理区位、气候土壤、有效降水对滴灌用水响应, 采用彭曼作物系数及滴灌试验综合研究分析滴灌用水灌溉制度。结果显示: 1) 划分了5个一级40个二级灌溉分区构建了9种粮食、12种经作、1种苜蓿牧草、7种果类、1种林地共30种作物滴灌用水灌溉制度。2) 研究取得灌溉分区1623个滴灌用水定额, 全疆田间滴灌用水定额372 mm, 其中北疆灌区365 mm, 东疆灌区429 mm, 南疆灌区378 mm, 呈现东疆 > 南疆 > 北疆与灌区地理环境气象水文、植物水分蒸散需水变化特征一致。3) 研究取得灌溉分区30种滴灌作物2345个滴灌用水灌溉制度, 如北疆塔城灌区滴灌综合作物灌水次数及灌溉定额为8.2~9.5次和325~400 mm; 东疆吐鲁番灌区滴灌综合灌水次数及灌溉定额10.0~11.7次和464~547 mm; 南疆巴州灌区滴灌综合灌水次数及灌溉定额为8.9~9.6次和397~427 mm。研究成果为干旱区新疆滴灌高効用水管理应用提供了依据。

关键词

新疆, 干旱灌区, 滴灌用水灌溉制度, 研究应用

Research and Application of Drip Irrigation System in Xinjiang

Zhong Wang¹, Tiejcheng Ma¹, Heping Zhou^{2*}, Zhiyu Shi¹, Xuekeleti Bastov¹, Zhiqiang Lin¹, Atawola Srajjidin¹

¹Xinjiang Uygur Autonomous Region Irrigation and Drainage Development Center, Urumqi Xinjiang

²Xinjiang Uygur Autonomous Region Water Conservancy Management Station, Urumqi Xinjiang

Email: *xjslzhp@126.com

*通讯作者。

文章引用: 王忠, 马铁成, 周和平, 时志宇, 雪克来提·巴斯托夫, 林志强, 阿塔吾拉·斯拉吉丁. 新疆滴灌用水灌溉制度研究应用[J]. 农业科学, 2021, 11(2): 87-103. DOI: 10.12677/hjas.2021.112014

Abstract

Xinjiang is located in the hinterland of Western China, the climate is arid, the precipitation is scarce, the evaporation is strong, and the ecology is fragile, forming a typical pattern of “desert oasis irrigation agriculture” in China. At present, it is particularly urgent for Xinjiang to popularize and apply drip irrigation high-efficiency water-saving technology in a large area, study and analyze drip irrigation water irrigation system, and provide technical support for the efficient utilization and management of agricultural water resources. In this paper, taking the agricultural irrigation division as the basic unit, considering the response of different geographical location, climate, soil and effective precipitation to drip irrigation water, the penman crop coefficient and drip irrigation experiment were used to comprehensively study and analyze the drip irrigation system. The results showed that: 1) Five primary and 40 secondary irrigation zones were divided, and a total of 30 crop drip irrigation systems including 9 kinds of grain, 12 kinds of economic crops, 1 kind of alfalfa forage, 7 kinds of fruits and 1 kind of woodland were constructed. 2) The results showed that there were 1623 drip irrigation water quota in irrigation area, and the field drip irrigation water quota in Xinjiang was 372 mm, including 365mm in North Xinjiang irrigation area, 429 mm in East Xinjiang irrigation area and 378 mm in South Xinjiang irrigation area. The results showed that East Xinjiang > South Xinjiang > North Xinjiang had the same change characteristics with geographical environment, meteorology, hydrology and plant evapotranspiration. 3) The results show that there are 2345 drip irrigation systems for 30 kinds of drip irrigation crops in different irrigation zones, such as 8.2~9.5 times and 325~400 mm for drip irrigation in Tacheng Irrigation District of Northern Xinjiang, 10.0~11.7 times and 464~547 mm for drip irrigation in Turpan Irrigation District of eastern Xinjiang, 8.9~9.6 times and 397~427 mm for drip irrigation in Bazhou Irrigation District of Southern Xinjiang. The research results provide a basis for the application of efficient water use management of drip irrigation in Xinjiang.

Keywords

Xinjiang, Arid Irrigation Area, Drip Irrigation System, Research and Application

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新疆位于我国西部[1] 73°40′~96°23′E, 34°25′~49°10′N, 远离海洋深居内陆腹地, 具有洪冲积平原、山间盆地谷地、荒漠戈壁广泛多样性地理环境特征[2]。多年平均气温 10.4℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 平均积温 3335.4℃, 多年平均降水量 154.1 mm 仅为全国年均水平的 23%, 多年平均蒸发量 2125.4 mm 为降水量 10 倍以上, 干旱指数高达 10~15。降水稀蒸发强气候干生态脆弱, 形成了我国典型的“沙漠绿洲纯灌农业”格局[3]。干旱新疆水资源总量多年平均 832 亿 m^3 , 土地面积平均水资源量 2.23 m^3/hm^2 , 仅为全国平均水平的 17%。据 2018 年水利统计资料显示[4], 新疆地方系统农业用水量 386.19 亿 m^3 , 占当年引用水总量的 91.7%, 滴灌等高效节水灌溉面积 245.97 万 hm^2 , 占总灌溉面积 501.72 万 hm^2 的 49%, 农业用水占比大用水量高。本文基于干旱区新疆规模化发展以滴灌为主要模式节水灌溉技术, 研究应用滴灌用水灌溉制度, 为落实最严格的农业水资源总量控制及定额管理提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

新疆山脉与洪积冲积、山前平原、山间盆地相间，以中部天山形成南疆、东疆和北疆格局，水资源水生环境、自然地貌水文土壤、农业气象等差异较大。灌溉分区以 86 个县(市)级为覆盖全疆灌区范围，综合新疆灌区地理位置、海拔高程、作物生长、年积温和无霜期、降水蒸发、土壤类型及质地因素，新疆滴灌农业灌区具有降水少蒸发量大，海拔气温、积温无霜期变化较大特点，新疆土壤类型分布有 36 种 [5] 之多，灌区多以棕钙土、淡棕钙土、草甸土、棕漠土、绿洲灰棕漠土、盐土、沙土分布，土壤质地多以粉沙、沙壤、中轻壤质，以及戈壁砾质土分布，灌区尚未见自然和灌溉形成团粒状结构良好的土质，因此，干旱新疆农业生产节水灌溉用水管理显得突出重要。

2.2. 研究内容方法

本研究分析在 2014 年新疆 18 种作物灌溉用水定额应用基础上，结合滴灌推广应用作物种类，近年扩充至灌区 30 种作物滴灌用水灌溉制度：9 种粮作(冬麦、春麦、春玉米、夏玉米、水稻、谷子、土豆、大豆、薯类)；12 种经作(棉花、油菜、葵花、甜菜、蕃茄、葡萄、打瓜、西瓜、甜瓜、辣椒、胡萝卜、其它蔬菜)；1 种苜蓿；7 种果树(苹果、红枣、核桃、梨树、无花果、枸杞、其它果树)；1 种林地(防护林、生态林和苗圃)，涵盖了灌区大田作物种类。滴灌用水制度研究包括滴灌用水定额及作物生长期用水分配灌溉制度。滴灌用水定额及灌溉制度相关研究数据，源于各县 1950~2018 年气象站点农业气象资料、新疆统计年鉴 2018、新疆农业用水定额技术研究应用 [6]、新疆 2013~2018 滴灌作物需水量与灌溉制度试验研究成果汇编 [7]，以及中国科学院资源环境科学数据中心关于新疆地理和土壤质地分布信息。

基于灌区水土要素合理配置水资源节约利用目标，以行政辖属结合灌溉分区为基本单元，综合考虑灌区用水地理区位(前山、平原、盆地)、气候土壤(粘壤土、壤土质、沙土质)分布、作物需水及有效降水响应，构建灌区 30 种滴灌作物用水定额及灌溉用水制度。

1) 不同气候土壤及地理区位环境，对滴灌作物生长水分综合影响 Z_k 由下式构成：

$$Z_k = f(k_1, k_2, k_3, k_4, \dots, k_n) \quad (1)$$

式中， k_1 为滴灌作物生长需水灌溉用水时间，d； k_2 为滴灌作物生长区土壤类型及土壤质地； k_3 为滴灌作物生长所处不同地理区位(平原、山前、盆地)环境； k_4 为滴灌作物生长区气温、积温、日照、降水、蒸发等气象因素。

2) 作物需水及用水响应，采用彭曼-蒙特斯(P-M)分析 [8]：

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (2)$$

式中， ET_0 为参考作物蒸腾量，mm/d； Δ 为温度 - 饱和水汽压关系曲线在 T 处的切线斜率，kPa/°C； R_n 为净辐射，MJ/m²·d； G 为土壤热通量，MJ/m²·d； γ 为湿度表常数，kPa/°C； T 为平均气温，°C； u_2 为 2m 高水平处风速，m/s； e_a 为饱和水汽压，kPa； e_d 为实际水汽压，kPa。式(2)参数较多简化计算采用彭曼软件，利用当地平均气温 T 、水汽压 e_d 、2 米高风速 u_2 、日照时数 n 计算 ET_0 。

基于作物需水响应的滴灌作物用水量 ET 按下式分析：

$$ET = ET_0 \cdot K_C - P_0 \quad (3)$$

式中， ET 为滴灌作物用水量，mm； ET_0 为参考作物蒸腾量，mm； K_C 为作物系数； P_0 为有效降水量，mm。

式(3)中 K_C 为作物生长期需水量与参考作物蒸腾量比值, 由下式计算:

$$K_C = \sum_{i=1}^n ET_i / ET_{0i} \quad (4)$$

式中, i 为作物生长的第 i 阶段; n 为作物生长划分的阶段数目; ET_i 为作物生长的第 i 阶段需水量, mm; ET_{0i} 为作物生长的第 i 阶段参考蒸腾量, mm。

式(3)中 P_0 由下式分析:

$$P_0 = 10\gamma H (W_2 - W_1) + (ET_d - K_d)t \quad (5)$$

式中, P_0 为有效降雨量, mm; γ 为土壤干容重, g/cm^3 ; H 为根系吸水层深度, cm; t 为前后两次测定土壤含水率相隔时间, d; ET_d 为时段内日均蒸腾量, mm/d; K_d 为 t 时段内日均地下水有效补给量, mm/d; W_1 、 W_2 为降雨前、后测得土壤重量含水率, %。降水量 P 与有效降水量关系为 $P_0 = Pa$, 新疆南疆 $a = 0.35$; 北疆 $a = 0.52$; 全疆 $a = 0.41$ [6]。

3) 不同土壤质地地理区位, 滴灌用水定额有所差异, 考虑土壤质地地理区位对用水定额影响, 采用系数面积分布加权分析:

$$M_{\text{加权}} = M_0 K_{1i} K_{2j} \quad (6)$$

$$K_{1i} = \begin{cases} M_0 = 667\gamma_i H \beta \\ i = (1), (2), (3) \\ (1), (2), (3) = \text{粘壤土, 壤土质, 沙土质} \end{cases} \quad (7)$$

同时, 与(2)相比, 获得(1):(2):(3) 比例系数:

$$1:(1)/(2):(3)/(2) \quad (8)$$

于是, 不同土壤质地滴灌用水定额为:

$$M_{\text{综}i} = \sum_{i=1}^n M_0 A_i \quad (9)$$

$$K_{2j} = \begin{cases} D_i = f(ET_0) \\ i = (1), (2), (3) \\ (1), (2), (3) = \text{前山带, 平原带, 盆地区} \end{cases} \quad (10)$$

同时, 与(2)相比, 获得 (1):(2):(3) 比例系数:

$$1:(1)/(2):(3)/(2) \quad (11)$$

于是, 不同地理区位滴灌用水定额为:

$$M_{\text{综}j} = \sum_{i=1}^n M_0 A_j \quad (12)$$

所以, 灌区不同土壤质地及地理区位滴灌用水定额加权:

$$M_{\text{加权}} = (M_{\text{综}i} + M_{\text{综}j})/2 \quad (13)$$

式中, $M_{\text{加权}}$ 为灌区综合加权滴灌用水定额, mm; M_0 为基本滴灌定额, mm; K_{1i} 为不同土壤质地调节系数, 下标 i 为粘土质、粉砂土、沙土质; K_{2j} 为不同地理区位调节系数, 下标 j 为前山带、平原带、盆地区; γ 为土壤容重, t/m^3 ; H 为滴灌作物湿润层深度, m; β 为田间持水量(占干土重)%; D_i 为不同地理区位作物 3 月~9 月蒸腾量, mm。

4) 滴灌作物用水定额与灌区气象影响要素有关, 考虑气象因素拓展分析各灌区滴灌用水定额, 采用地统多元回归分析[9]:

$$M = \begin{cases} X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4}, \dots, X_{in} \\ k_0 + k_1x_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n \\ R \geq R_{(a,n)} \\ F \geq F_{(a,n)} \end{cases} \quad (14)$$

式中, M 为回归分析确定各灌区滴灌用水定额, mm; X_{in} 为影响因子(灌区高程、气温、降水、蒸发、蒸发蒸腾、日照、相对湿度、作物种类等); k_n 、 x_n 为回归方程检验系数和自变量因素; R 、 F 为检验相关系数和方差; $R_{(a,n)}$ 、 $F_{(a,n)}$ 为相关系数和方差临界值, 其中 a 、 n 分别为置信度和统计样本数。

5) 滴灌用水灌溉制度, 由滴灌用水定额、灌水定额、灌水次数及灌水时间组成, 基于式(14)滴灌作物全生长期灌水次数:

$$N = M/m \quad (15)$$

$$m = 10\gamma H(W_2 - W_1) \quad (16)$$

式中, N 为滴灌作物灌水次数; M 为滴灌用水定额, mm; m 为滴灌灌水定额, mm; γ 为土壤干容重, g/cm³; H 为根系吸水层深度, cm; W_1 、 W_2 为灌水前、后土壤重量含水率, %。

本研究数据处理分析采用 Excel 2003 系统。

3. 结果与分析

3.1. 滴灌作物用水定额

基于上述综合信息和研究方法, 采用式(1)~(14)综合考虑灌区土壤质地和地理区位作物用水影响系数及扣除灌区有效降水量, 获新疆 86 个县域 5 个一级 40 个二级灌溉分区 1623 个滴灌用水定额。限于篇幅本文给出 14 个地州 30 种作物滴灌田间灌溉定额, 见表 1 所示。由表 1 成果按灌溉分区进行滴灌作物种类生理需水分析结果见表 2, 可以看出灌区单子叶、双子叶、旱作水稻 3 类, 滴灌田间灌溉定额分别为 432 mm、465 mm、1217 mm。其中: 北疆灌区单子叶、双子叶、旱作水稻 3 类, 分别为 411 mm、438 mm、1199 mm; 东疆灌区分别为 474 mm、510 mm、1203 mm; 南疆灌区分别为 446 mm、479 mm、1238 mm, 分析表明, 双子叶作物田间用水定额大于单子叶作物, 与当地灌区作物水分生物学特征吻合。

Table 1. Field irrigation quota of drip irrigation crops (unit: mm)

表 1. 滴灌作物田间灌溉定额(单位: mm)

作物	和田	喀什	克州	阿克苏	巴州	吐鲁番	哈密	乌鲁木齐	昌吉	博州	克拉玛依	塔城	伊犁州	阿勒泰
冬小麦	403	401	383	412	405	—	370	428	388	370	390	373	377	369
春小麦	323	315	323	325	328	413	315	325	300	320	330	287	296	274
春玉米	407	405	390	405	412	520	380	440	395	380	390	373	390	369
夏玉米	343	340	398	385	387	470	—	—	—	—	—	380	—	—
水稻	1211	1211	1200	1203	1313	—	—	1215	1238	1200	—	1095	1170	—
谷子	373	364	349	361	358	453	340	380	347	345	360	329	330	326
土豆	354	346	360	350	387	470	370	435	375	370	383	363	369	356

Continued

大豆	343	339	338	340	345	460	355	425	345	360	375	354	338	341
薯类	354	346	360	350	355	470	370	435	375	370	383	363	369	356
油菜	343	336	353	337	343	450	318	358	345	315	345	313	327	321
葵花	388	385	364	383	370	460	355	400	362	350	368	345	369	347
棉花	414	415	435	412	414	540	385	150	396	398	420	402	426	0
甜菜	—	—	360	352	347	—	—	253	343	328	338	312	338	311
蕃茄	399	388	371	383	375	530	360	405	375	360	390	351	369	356
辣椒	373	364	375	367	362	490	335	405	345	340	360	326	345	326
胡萝卜	366	359	364	361	350	485	335	390	330	335	360	326	330	326
其它蔬菜	366	359	360	361	350	485	335	390	330	335	360	326	345	326
打瓜	373	370	360	368	353	485	335	390	345	338	368	319	332	326
西瓜	375	370	383	382	368	490	335	390	354	350	375	331	353	336
甜瓜	375	370	380	376	358	485	335	390	354	350	375	331	353	336
核桃、无花果、 苹果、梨树	476	472	455	465	459	575	410	470	423	450	465	392	460	420
红枣或枸杞	446	453	430	438	438	—	435	—	—	435	450	—	—	—
葡萄	448	451	425	438	427	610	450	415	400	428	435	398	418	405
其它果树	439	453	435	453	445	560	400	455	408	430	450	401	440	411
苜蓿	416	406	398	413	398	500	375	405	373	380	405	362	374	377
林地 (防护生态苗圃)	431	423	435	442	438	565	390	443	394	415	450	379	411	394

注：红枣种植主要为南疆四地，核桃主要为和田灌区，无花果主要为克州，梨树主要为巴州灌区，枸杞主要为博州及克拉玛依灌区，苹果以阿克苏及北疆灌区。

Table 2. Field irrigation quota of drip irrigation crop species in irrigation area (unit: mm)

表 2. 灌溉分区滴灌作物种类田间灌溉定额(单位: mm)

灌区	单子叶作物	双子叶作物	旱作水稻
北疆	411	438	1199
东疆	474	510	1203
南疆	446	479	1238
全疆	432	465	1217

由灌区综合作物滴灌田间灌溉定额见图 1，可以看出，和田、喀什、克州、阿克苏、巴州、吐鲁番、哈密、乌鲁木齐、昌吉州、博州、伊犁州、塔城、阿勒泰和克拉玛依 14 个地州灌区，滴灌田间灌溉定额分别为 380、375、372、381、380、498、359、405、354、360、351、345、348、389 mm；由灌溉分区分布情况看，北疆滴灌田间灌溉定额 365 mm，东疆 429 mm，南疆 378 mm，全疆 372 mm，滴灌田间灌溉定额呈现东疆 > 南疆 > 北疆，这与灌区地理生境区位、有效降水气象水文、植物水分蒸散及作物需水特征吻合，研究成果进一步验证完善了干旱区新疆滴灌用水定额技术指标[10]。

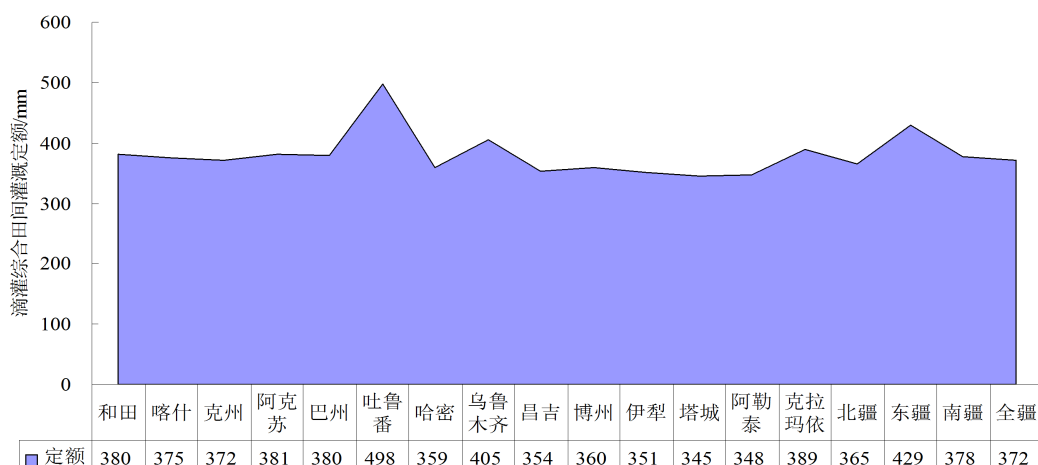


Figure 1. Field irrigation quota of comprehensive crop drip irrigation in each irrigation area
图 1. 各灌区综合作物滴灌田间灌溉定额

3.2. 滴灌作物用水灌溉制度

3.2.1. 滴灌用水灌溉定额

滴灌作物用水灌溉制度由灌水定额、灌溉定额、灌水次数和灌水时间构成，灌溉定额是滴灌作物全生长期单位面积的用水量，灌溉定额遵循滴灌用水定额技术指标，鉴于此，基于 5 个一级 40 个二级灌溉分区 1623 个滴灌用水定额，作为滴灌用水灌溉制度技术分析参数。

3.2.2. 滴灌作物灌水定额

灌水定额是滴灌作物生长过程中某次灌水单位面积灌水量，采用式(16)灌水定额计算与滴灌用水实际差别较大，基于 2013 至 2018 年新疆 5 个灌溉试验站，历时 6 年 14 种大田滴灌作物试验结果表明，滴灌灌水定额区间 38 mm~45 mm~50 mm，既可保持土壤水分贮存有效利用，符合滴灌局部湿润灌溉特征减少灌水频次，又可获得节水增产节能降耗效果[7]。同时，近 10 年国内科研院所新疆滴灌试验[11]-[102]结果见表 3 表明，滴灌大田作物灌水定额 35 mm~50 mm，旱作水稻 55 mm~75 mm，反映了新疆滴灌灌水定额实际可借鉴。

Table 3. Research results of drip irrigation experiment in Xinjiang in recent years

表 3. 近年新疆滴灌试验灌水定额研究成果

作物	代表区域	试验年份	灌溉定额/mm	灌水定额/mm	作物	代表区域	试验年份	灌溉定额/mm	灌水定额/mm
1 冬小麦	石河子	2015~2018	525~600	45~53	7 土豆	裕民	2012	225~300	45
	昌吉	2017~2018	420~450	45	8 大豆	石河子	2010	300~375	45
	奇台	2014~2016	420~465	53		昌吉	2013~2015	450	45
	乌鲁木齐	2013	405~473	45~53		伊宁县	2017~2018	300~420	45
	乌苏	2014	458~570	53~60		布尔津	2011	270~330	45
	博乐	2013	450~570	45~53	石河子	2013~2018	450~480	45	
	裕民县	2016	300~375	45~53	昌吉	2017	450~525	45~53	
	阿克苏	2017	495~540	45	9 棉花	玛纳斯	2015	450~525	53
	莎车	2017	450	45	博乐	2014	450~570	53	
	和静	2017	390~450	45	库尔勒	2015~2016	555	45~53	

Continued

	石河子	2012~2014	375~450	45	10 油菜	昌吉	2013~2015	533	45
	乌鲁木齐	2017	375~450	45		石河子	2009	225~300	45
	昌吉	2013~2015	398	45	11 复播葵 花	昌吉	2013	225~300	45
	阿勒泰	2016	405	45		昌吉(正播)	2013~2015	450	45
	福海	2015	405~450	45		玛纳斯	2012	225~300	45
2 春小 麦	木垒	2014	225~315	45		昌吉	2013~2015	495	45
	额敏	2014	315~420	45~53	12 甜菜	玛纳斯	2018	473~540	45~53
	托里	2013	368~420	53		塔城	2006	300~390	38~45
	阿克苏	2018	375~450	45~53	13 蕃茄	昌吉	2013~2015	525	45
	拜城县	2015	420	45~53		吐鲁番	2014~2017	795~900	45~53
	焉耆	2012	420~473	53	14 葡萄	哈密	2013~2017	720~750	45~53
	石河子	2016	525~600	45~53		阜康	2011~2013	525~600	53
	沙湾	2016	510~540	45~53		伊宁	2014	465~525	53
3 春玉 米	昌吉	2013~2015	495~600	45~53		于田	2012	750~795	45
	奇台	2015~2017	540~600	45~53		塔城	2007	225~300	38
	伊宁县	2016	510~540	45~53	15 打瓜	额敏	2005	270~315	45
4 复播 玉米	阿克苏	2013	450~465	45~53		福海	2005	270~315	45
	库尔勒	2011	420	53		阜康	2008	375~450	38~45
	石河子	2017	1028	53~75		昌吉	2013~2015	465	45
5 水稻	阜康市	2012	1335	53~75	16 西瓜	阜康	2015	375~450	38~45
	昌吉	2009	1125~1200	53~60	17 甜瓜	哈密	2015	315~420	35
	昌吉	2013~2015	525	45		昌吉	2012	405~525	45~53
6 谷子	博乐	2016	375~450	45~53	18 辣椒	昌吉	2015	450~563	38
	石河子	2015	375~450	45~53		昌吉	2013~2015	420~480	45
7 土豆	昌吉	2013~2015	510	45	19 胡萝卜	裕民	2008	300~338	38
	巴里坤	2012	300~450	30~45		巴里坤	2010	360~450	45

3.2.3. 滴灌作物灌水次数及灌水时间

滴灌作物灌水时间,因作物种类、品种、产量水平、阶段生长及农业措施不同有所区别,同时,滴灌作物灌水时间有明显地域性,与当地作物不同生长阶段,灌水习惯、灌水经验、气象及灌溉工程供水能力等有关。因此,滴灌以适时适量满足作物需水灌溉为基本前提,具体灌水时间以当地作物不同生长时段对水分需要节点制定。表4为新疆30种不同滴灌作物生长期灌水时段,基于不同作物生长期灌水节点为起始时间,滴灌作物实施灌水周期,大田常规作物滴灌周期5 d~15 d;滴灌旱作水稻灌水周期5 d~10d;果树园艺类滴灌作物7 d~15 d。滴灌作物灌水周期调整的基本遵循:作物生长前期灌水周期略长,作物需水峰期灌水周期缩短,作物生长后期灌水周期适当拉长。对于大田粮食、经济蔬菜等当年生作物,滴灌可采用“干播湿出”灌水方法,对于盐碱化农田,应以冬春灌水盐压盐适墒播种。

由以上滴灌灌溉定额和灌水定额参数分析,采用式(15)计算,形成全疆5个一级40个二级灌溉分区30种作物2345个滴灌制度成果。限于篇幅,仅列出北疆、东疆、南疆部分滴灌作物制度见表5~9所示。

由分析结果看出, 北疆塔城灌区滴灌作物随塔城盆地不同地理区位生境, 综合灌水次数及灌溉定额分别为 8.2 次和 325 mm、8.6 次和 346 mm、9.5 次和 400 mm 和 9.5 次和 387 mm; 北疆昌吉灌区滴灌作物随准噶尔盆地南原、南缘中区和东丘陵生境, 综合灌水次数及灌溉定额分别为 9.4 次和 406 mm、10.1 次和 435 mm、8.3 次和 325 mm; 东疆吐鲁番滴灌作物随吐鲁番盆地不同区位生境, 综合灌水次数及灌溉定额分别为 10.6 次和 493 mm、10.0 次和 464 mm、11.7 次和 547 mm; 南疆和田滴灌作物随塔里木盆地及昆仑山不同区位生境, 综合灌水次数及灌溉定额分别为 9.0 次和 428 mm、8.7 次和 413 mm、9.2 次和 438 mm, 南疆巴州滴灌作 9.6 次和 427 mm、9.8 次和 413 mm、8.9 次和 397 mm。综合 5 个灌区明显看出, 滴灌用水灌溉制度变化与作物生长地理区位土壤气象水文环境相关, 滴灌制度用水尺度, 反映了地理海拔区位高、气温偏低有效降水增多土壤质地及农田水利较好状态下减少的基本特征。

Table 4. Irrigation periods of different crops in Xinjiang irrigation area

表 4. 新疆灌区不同作物生长期灌水时段

代码	作物	作物生长阶段灌水编号
01	冬小麦	① 播种出苗; ② 越冬(冬灌); ③ 返青水; ④ 拔节水; ⑤ 抽穗开花; ⑥ 灌浆水; ⑦ 乳熟水
02	春小麦	① 春灌播种; ② 出苗分蘖水; ③ 拔节水; ④ 抽穗开花; ⑤ 灌浆水; ⑥ 乳熟水
03	春玉米	① 春灌播种; ② 出苗分蘖水; ③ 拔节水; ④ 抽雄开花; ⑤ 灌浆水; ⑥ 乳熟水
04	夏玉米	① 播种出苗; ② 分蘖期水; ③ 拔节水; ④ 抽雄开花; ⑤ 灌浆水; ⑥ 乳熟水
05	水稻	① 播种出苗; ② 苗期水; ③ 分蘖水; ④ 拔节水; ⑤ 抽穗开花; ⑥ 灌浆水; ⑦ 乳熟水
06	谷子	① 春灌播种; ② 出苗分蘖水; ③ 拔节水; ④ 抽穗开花; ⑤ 灌浆水; ⑥ 乳熟水
07	土豆	① 播种出苗; ② 苗期开花水; ③ 块茎水; ④ 块根生长成熟期水
08	大豆	① 播种出苗; ② 苗期花芽水; ③ 开花结荚; ④ 结荚籽粒; ⑤ 籽粒成熟水
09	薯类	① 播种出苗; ② 苗期开花水; ③ 块茎水; ④ 块根生长成熟期水
10	油菜	① 播种出苗; ② 苗期抽苔水; ③ 抽苔开花; ④ 开花灌浆; ⑤ 灌浆成熟水
11	葵花	① 播种出苗; ② 苗期现蕾水; ③ 现蕾开花; ④ 开花灌浆; ⑤ 灌浆成熟水
12	棉花	① 播种出苗; ② 苗期现蕾水; ③ 现蕾开花; ④ 开花吐絮水
13	甜菜	① 播种出苗; ② 苗期繁茂水; ③ 繁茂块根; ④ 块根成熟水
14	蕃茄	① 播种发芽; ② 苗期生长水; ③ 开花座果; ④ 座果结果水
15	辣椒	① 播种出苗; ② 出苗营养水; ③ 花芽分化; ④ 营养开花水; ⑤ 开花结果水
16	胡萝卜	① 播种发芽; ② 发芽幼苗水; ③ 幼苗生长; ④ 叶生肉质根生长水
17	其它蔬菜	① 播种发芽; ② 发芽幼苗水; ③ 幼苗生长; ④ 叶生长水
18	打瓜	① 播种出苗; ② 出苗伸蔓水; ③ 伸蔓开花; ④ 开花结果水; ⑤ 结果成熟水
19	西瓜	① 播种出苗; ② 出苗伸蔓水; ③ 伸蔓开花; ④ 开花结果水; ⑤ 结果成熟水
20	甜瓜	① 播种出苗; ② 出苗伸蔓水; ③ 伸蔓开花; ④ 开花结果水; ⑤ 结果成熟水
21	苹果; 红枣; 核桃; 梨树; 无花果; 枸杞; 其它果树	① 萌芽期水; ② 营养开花水; ③ 果实生长灌水; ④ 结果成熟期水; ⑤ 休眠期冬灌
22	葡萄	① 萌芽期水; ② 新梢生长期; ③ 营养开花; ④ 果实生长水; ⑤ 结果成熟期水; ⑥ 冬灌
23	苜蓿	① 播种返青; ② 苗期生长水; ③ 营养开花; ④ 开花成熟水
24	林地(防护生态苗圃)	① 萌芽期水; ② 新梢生长期; ③ 营养生长期水; ④ 过冬水

Table 5. Drip irrigation system in Tacheng Irrigation District of Northern Xinjiang (unit: mm)
表 5. 北疆塔城灌区滴灌制度(单位: mm)

作物	塔城额敏盆地 (塔城、额敏、裕民县)			塔城中低山区 (托里县及庙尔沟)			塔城南准噶尔盆地区 域(乌苏、沙湾县)			塔城南准噶尔盆地区 域(和布克赛尔县)		
	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额
冬小麦	45	7.7	345	45	8.3	375	45	8.7	390	45	9.3	420
春小麦	38	7.2	270	38	7.6	285	38	8.0	300	38	8.4	315
春玉米	45	7.7	345	45	8.3	375	45	8.7	390	45	9.3	420
夏玉米	—	—	—	—	—	—	45	8.3	375	45	8.7	390
水稻	—	—	—	—	—	—	60	18.3	1095	—	—	—
谷子	38	8.0	300	38	8.8	330	38	9.2	345	38	10.2	383
土豆、薯类	45	7.7	345	45	8.2	368	45	8.3	375	45	8.7	390
大豆	38	8.8	330	38	9.6	360	38	10.0	375	38	10.0	375
油菜	38	8.0	300	38	8.4	315	38	8.6	323	38	8.8	330
葵花	38	8.4	315	38	9.4	353	38	9.8	368	38	10.2	383
棉花	—	—	—	—	—	—	45	8.8	398	45	9.2	413
甜菜	38	7.6	285	38	8.6	323	38	8.8	330	38	9.2	345
蕃茄	38	8.8	330	38	9.2	345	38	9.8	368	38	10.4	390
辣椒	38	8.0	300	38	8.8	330	38	9.2	345	38	9.6	360
胡萝卜等蔬菜	38	8.0	300	38	8.8	330	38	9.2	345	38	9.6	360
打瓜	38	7.6	285	38	8.8	330	38	9.2	345	38	9.6	360
西、甜瓜	38	8.0	300	38	9.0	338	38	9.4	353	38	10.0	375
苹果	38	10.0	375	—	—	—	45	8.7	390	45	9.5	428
葡萄	38	10.0	375	—	—	—	38	10.8	405	38	11.4	428
其它果树	45	8.3	375	45	8.7	390	45	9.3	420	45	10.0	450
苜蓿	45	7.7	345	45	8.0	360	45	8.3	375	45	8.7	390
林地(防护生态苗圃)	45	8.0	360	45	8.3	375	45	8.7	390	45	9.3	420
综合平均	40	8.2	325	40	8.6	346	42	9.5	400	41	9.5	387

Table 6. Drip irrigation system in Changji Irrigation District of Northern Xinjiang (unit: mm)
表 6. 北疆昌吉灌区滴灌制度(单位: mm)

作物	准噶尔盆地南平原区 (昌吉、阜康、玛纳斯、奇台、吉木萨尔)			准噶尔盆地南缘中区 (呼图壁县)			准噶尔盆地东丘陵区 (木垒县)		
	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额
冬小麦	45	8.7	390	45	9.3	420	45	7.7	345
春小麦	45	6.7	300	45	7.3	330	45	6.0	270
春玉米	45	8.7	390	45	9.3	420	—	—	—
夏玉米	—	—	—	—	—	—	—	—	—
水稻	68	17.8	1200	68	18.9	1275	—	—	—
谷子	38	9.2	345	38	10.4	390	38	8.4	315

Continued

土豆、薯类	45	8.3	375	45	9.0	405	45	7.7	345
大豆	38	9.2	345	38	10.4	390	38	8.0	300
油菜	38	9.2	345	38	9.6	360	38	8.8	330
葵花	38	9.6	360	38	10.4	390	38	9.2	345
棉花	45	8.7	390	45	9.3	420	—	—	—
甜菜	38	9.2	345	38	9.6	360	38	8.4	315
蕃茄	38	10.0	375	38	10.8	405	38	9.2	345
辣椒	38	9.2	345	38	10.0	375	38	8.4	315
胡萝卜等蔬菜	38	8.8	330	38	9.6	360	38	8.0	300
打瓜	38	9.2	345	38	10.0	375	38	8.4	315
西、甜瓜	38	9.4	353	38	10.4	390	38	8.6	323
苹果	45	9.3	420	45	9.7	435	—	—	—
葡萄	45	8.7	390	45	9.0	405	—	—	—
其它果树	45	9.0	405	45	9.3	420	—	—	—
苜蓿	38	10.0	375	38	10.4	390	38	9.2	345
林地(防护生态苗圃)	45	8.8	398	45	9.2	413	45	8.0	360
综合平均	42	9.4	406	42	10.1	435	40	8.3	325

Table 7. Drip irrigation system in Turpan irrigation area of eastern Xinjiang (unit: mm)

表 7. 东疆吐鲁番灌区滴灌制度(单位: mm)

作物	吐哈盆地高温吐鲁番区 (高昌区)			吐哈盆地高温平原区域 (鄯善县)			吐哈盆地高温多风盆地地区 (托克逊县)		
	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额
冬小麦	—	—	—	—	—	—	—	—	—
春小麦	45	9.0	405	45	8.5	383	45	10.0	450
春玉米	45	11.7	525	45	11.0	495	45	12.0	540
夏玉米	45	10.3	465	45	10.0	450	45	11.0	495
水稻	—	—	—	—	—	—	—	—	—
谷子	45	10.0	450	45	9.5	428	45	10.7	480
土豆、薯类	45	10.3	465	45	10.0	450	45	11.0	495
大豆	45	10.0	450	45	9.3	420	45	11.3	510
油菜	45	10.0	450	45	9.0	405	45	11.0	495
葵花	45	10.3	465	45	9.3	420	45	11.0	495
棉花	45	12.0	540	45	11.3	510	45	12.7	570
甜菜	—	—	—	—	—	—	—	—	—
蕃茄	45	11.3	510	45	10.7	480	45	13.3	600
辣椒	45	10.7	480	45	10.0	450	45	12.0	540
胡萝卜等蔬菜	45	10.3	465	45	10.0	450	45	12.0	540
打瓜、甜瓜	45	10.3	465	45	10.0	450	45	12.0	540
西瓜	45	10.7	480	45	10.0	450	45	12.0	540

Continued

苹果	53	10.9	570	53	10.0	525	53	12.0	630
葡萄	53	11.4	600	53	10.6	555	53	12.9	675
其它果树	53	10.6	555	53	9.7	510	53	11.7	615
苜蓿	45	10.0	450	45	10.7	480	45	12.7	570
林地(防护生态苗圃)	53	10.9	570	53	9.7	510	53	11.7	615
综合平均	47	10.6	493	47	10.0	464	47	11.7	547

Table 8. Drip irrigation system in Hetian Irrigation District, southern Xinjiang (unit: mm)

表 8. 新疆和田灌区滴灌制度(单位: mm)

作物	塔里木盆地南昆仑山北缘区 (和田市、和田县)			塔里木盆地南昆仑山北原带 (墨玉、皮山、洛浦、策勒县)			塔里木盆地南缘沙漠区 (于田、民丰县)		
	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额
冬小麦	45	9.2	413	45	8.7	390	45	9.3	420
春小麦	45	7.3	330	45	7.0	315	45	7.3	330
春玉米	45	9.2	413	45	8.8	398	45	9.3	420
夏玉米	45	7.7	345	45	7.5	338	45	7.8	353
水稻	68	18.2	1230	68	17.3	1170	68	18.6	1253
谷子	45	8.3	375	45	8.2	368	45	8.5	383
土豆	45	8.0	360	45	7.7	345	45	8.2	368
大豆	38	9.2	345	38	9.0	338	38	9.4	353
薯类	45	8.0	360	45	7.7	345	45	8.2	368
油菜	45	7.7	345	45	7.5	338	45	7.8	353
葵花	45	8.7	390	45	8.5	383	45	8.8	398
棉花	45	9.3	420	45	9.0	405	45	9.5	428
甜菜	—	—	—	—	—	—	—	—	—
蕃茄	45	9.0	405	45	8.7	390	45	9.2	413
辣椒	45	8.3	375	45	8.2	368	45	8.5	383
胡萝卜	45	8.2	368	45	8.0	360	45	8.3	375
其它蔬菜	45	8.2	368	45	8.0	360	45	8.3	375
打瓜	45	8.3	375	45	8.2	368	45	8.5	383
西瓜、甜瓜	45	8.3	375	45	8.2	368	45	8.7	390
核桃	53	9.1	480	53	8.9	465	53	9.4	495
红枣	53	8.6	450	53	8.3	435	53	8.9	465
葡萄	45	10.0	450	45	9.7	435	45	10.5	473
其它果树	53	8.6	450	53	8.0	420	53	8.9	465
苜蓿	45	9.3	420	45	9.0	405	45	9.7	435
林地(防护生态苗圃)	53	8.3	435	53	8.0	420	53	8.6	450
综合平均	47	9.0	428	47	8.7	413	47	9.2	438

Table 9. Drip irrigation system in Bazhou Irrigation District of Southern Xinjiang (unit: mm)
表 9. 新疆巴州灌区滴灌制度(单位: mm)

作物	塔里木盆地北缘平原带 (库尔勒、轮台县、尉犁县、博湖县)			塔里木盆地南缘平原区 (若羌县、且末县)			塔里木盆地天山前山带 (焉耆县、和静县、和硕县)		
	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额	灌水 定额	灌水 次数	灌溉 定额
冬小麦	45	9.0	405	45	10.0	450	45	8.3	375
春小麦	45	7.3	330	45	7.7	345	45	7.0	315
春玉米	45	9.3	420	45	10.0	450	45	8.3	375
夏玉米	45	8.7	390	45	9.3	420	45	8.0	360
水稻	68	20.0	1350	—	—	—	68	18.9	1275
谷子	38	9.6	360	38	10.0	375	38	9.2	345
土豆	45	8.5	383	45	9.7	435	45	8.0	360
大豆	38	9.2	345	38	10.4	390	38	8.4	315
薯类	45	7.8	353	45	8.3	375	45	7.7	345
油菜	38	9.2	345	38	9.6	360	38	8.8	330
葵花	38	10.0	375	38	10.6	398	38	9.2	345
棉花	45	9.3	420	45	10.0	450	45	8.5	383
甜菜	38	9.2	345	38	10.0	375	38	8.8	330
蕃茄	38	10.0	375	38	10.6	398	38	9.6	360
辣椒	38	9.6	360	38	10.4	390	38	9.2	345
胡萝卜及其它蔬菜	38	9.4	353	38	10.0	375	38	8.8	330
打瓜	38	9.6	360	38	10.0	375	38	8.8	330
西瓜	38	10.0	375	38	10.4	390	38	9.2	345
甜瓜	38	9.8	368	38	10.2	383	38	8.8	330
梨树	53	8.9	465	53	9.4	495	53	8.1	428
红枣	45	10.0	450	45	10.3	465	45	9.0	405
葡萄	45	9.7	435	45	10.3	465	45	8.7	390
其它果树	53	8.6	450	53	9.0	473	53	8.0	420
苜蓿	45	9.0	405	45	9.3	420	45	8.3	375
林地(防护生态苗圃)	53	8.6	450	53	8.9	465	53	7.7	405
综合平均	44	9.6	427	43	9.8	413	44	8.9	397

4. 讨论

滴灌灌溉定额和灌水定额是滴灌用水灌溉制度两个重要基础参数,按现有计算模型和水量平衡可以较为方便获得。然而,鉴于滴灌用水灌溉制度技术应用性指标要求,不仅需要理论计算分析,更需结合实际应用具有很强的实践应用性。因此,需要考虑多影响因素进行综合研析取舍,否则,滴灌灌溉定额和灌水定额定量是否合适,会对滴灌作物全生长期用水量需求和某生长阶段出现“饥饿不均”现象,从而影响灌区滴灌节水和水资源利用效率问题。由此,对于滴灌用水灌溉制度研究分析,在综合考虑新疆地区不同地理区位、气候土壤、有效降水对滴灌用水响应,采用彭曼作物系数理论分析的同时,注重理论与灌区实际应用相结合,着力对近年国内有关科研院所新疆开展滴灌试验成果,以及新疆 2014 年发布

的农业灌溉用水定额地方标准结合应用实践,进行了广泛深入综合研究分析和汲取,研究结果对干旱区新疆滴灌用水技术管理具有实用价值。

5. 结论

本文以新疆 5 个一级 40 个二级灌溉分区为基本单元,分析获得灌溉分区 1623 个滴灌用水定额值,在此基础上综合研究分析构建了灌区 30 种作物 2345 个滴灌用水灌溉制度成果。滴灌用水灌溉制度在用水尺度方面,与灌区地理海拔区位高度、气温下降、有效降水增多、土壤质地及农田水利较好等状态呈现相应减少的基本特征。

参考文献

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局编. 新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017: 35-37.
- [2] 周和平, 王忠. 新疆地区作物耗水时空多样性特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(6): 15-19.
- [3] 周和平, 姚新华, 陈跃滨, 等. 干旱区新疆农业节水技术理论研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014(5): 1-10.
- [4] 新疆维吾尔自治区水利厅. 新疆水利统计资料汇编[R]. 2019.
- [5] 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所, 编著. 新疆土壤与改良利用[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1977: 32-55.
- [6] 周和平, 王忠, 张江辉. 新疆农业用水定额技术研究应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
- [7] 新疆水利管理总站. 新疆滴灌作物需水量与灌溉制度试验研究成果汇编(2013~2018) [R]. 2019.
- [8] 段爱旺, 孙景生, 刘钰, 等. 北方地区主要农作物灌溉用水定额[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004: 30-36.
- [9] 赵颖, 主编. 应用数理统计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008: 151-179.
- [10] DB 65/3611-2014, 新疆维吾尔自治区农业灌溉用水定额地方标准[S]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区质量技术监督局发布, 2014.
- [11] 周和平, 翟超, 肖重华, 等. 干旱区滴灌多作物需水量及灌溉制度试验[J]. 农业科学, 2018, 8(10): 1119-1131.
- [12] 李国治, 李伊, 满本菊, 等. 滴灌冬小麦抽穗期旗叶对水分的生理响应[J]. 节水灌溉, 2019(7): 6-12.
- [13] 林霞, 洪雪梅. 冬小麦新冬 48 号高产滴灌栽培技术[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(7): 100-101.
- [14] 李杰, 陈锐, 吴杨焕, 等. 北疆地区滴灌冬小麦农田蒸散特征[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1): 31-37.
- [15] 薛丽华, 赵连佳, 孙诗仁. 水氮耦合对滴灌冬小麦光合特性、产量及水氮利用效率的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(30): 12-19.
- [16] 赛力汗·赛, 张永强, 薛丽华, 等. 新疆滴灌冬小麦灌溉量对产量形成与水分利用的影响[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(8): 30-40.
- [17] 崔月, 张宏芝, 赵奇, 等. 水肥运筹对滴灌冬小麦干物质积累和产量调控效应研究[J]. 新疆农业科学, 2017, 55(4): 618-626.
- [18] 雷钧杰, 张永强, 张宏芝, 等. 不同滴灌量对冬小麦干物质积累、转运及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(4): 596-603.
- [19] 张燕, 加孜拉. 新疆奇台县滴灌冬小麦节水增产关键技术[J]. 安徽农业科学, 2014(25): 8530-8531.
- [20] 薛丽华, 谢小清, 段丽娜, 等. 滴灌次数对冬小麦根系生长及时空分布的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014(6): 1-9.
- [21] 田玉琴. 乌苏市冬小麦滴灌高产栽培技术[J]. 农村科技, 2015(6): 9-10.
- [22] 李少强, 丁海峰. 博乐垦区滴灌冬小麦高产栽培技术[J]. 新疆农垦科技, 2013(3): 6-7.
- [23] 吴高明. 裕民县河灌区冬小麦滴灌高产栽培技术示范小结[J]. 新疆农业科技, 2017(4): 23-24.
- [24] 张迪, 孙婷, 王冀川, 等. 不同水氮组合对滴灌冬小麦叶片保护性酶活性及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(10): 1775-1785.

- [25] 如先古力·阿吾提, 马英杰, 周会军, 等. 不同灌水量对叶尔羌河灌区滴灌冬小麦产量及水分利用率的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2018, 41(4): 287-291.
- [26] 余顺和, 郑梅玲. 和静县冬小麦滴灌高产栽培技术[J]. 农村科技, 2017(7): 19-20.
- [27] 王国栋, 曾胜和, 周建伟, 等. 基于控墒补灌的春小麦滴灌制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2014(6): 19-25.
- [28] 牟洪臣, 王振华, 何新林, 等. 不同灌水处理对北疆滴灌春小麦生长及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2015(1): 27-32.
- [29] 宋常吉, 王振华, 郑旭荣, 等. 北疆滴灌春小麦耗水特征及作物系数的确定[J]. 西北农业学报, 2013, 22(3): 58-63.
- [30] 徐万疆, 徐红军, 崔凤娟, 等. 红山农场滴灌春小麦超高产栽培技术[J]. 新疆农垦科技, 2018, 41(9): 3-5.
- [31] 陈凯丽, 赵经华, 马英杰, 等. 不同水氮处理对阿勒泰地区滴灌春小麦生长、产量及水氮利用的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2017, 40(2): 85-91.
- [32] 李红梅. 福海县滴灌春小麦高产栽培技术[J]. 农村科技, 2016(3): 6-7.
- [33] 潘进武. 木垒县西吉尔镇滴灌区春小麦高产栽培技术[J]. 农家顾问, 2015(6): 61.
- [34] 赵东宾, 杨哲, 徐向阳. 春小麦滴灌节水高产高效栽培技术[J]. 新疆农垦科技, 2015, 38(9): 7-8.
- [35] 余红梅, 乔旭. 托里县春小麦滴灌高产栽培技术[J]. 农村科技, 2014(5): 10-11.
- [36] 邹升, 王冀川, 陈慧, 等. 滴灌水氮运筹对春小麦根冠生长及产量的影响[J]. 江苏农业科技, 2019, 47(12): 129-133.
- [37] 魏彦宏, 张彦红, 周勃. 拜城县滴灌春小麦最佳灌水量研究[J]. 河南农业, 2016(20): 27-28.
- [38] 刘宏亮. 二十一团春小麦滴灌栽培技术[J]. 新疆农垦科技, 2013(11): 11-12.
- [39] 王克全, 王国栋, 梁飞, 等. 灌溉定额对膜下滴灌春玉米土壤水热空间分布及产量的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(11): 25-29.
- [40] 郭斌, 赵新俊, 王璞, 等. 新疆膜下滴灌高产春玉米水肥优化研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(20): 88-93.
- [41] 周和平, 赵经华, 张娜, 等. 渗墒灌溉节水降耗应用试验[J]. 中国科学. 技术科学, 2019, 49(1): 76-86.
- [42] 翟超, 周和平, 赵健. 北疆膜下滴灌玉米年际需水量及耗水规律[J]. 中国农业科学, 2017, 50(14): 2769-2780.
- [43] 万晓菊, 张国强, 王克如, 等. 北疆春玉米覆膜、滴灌技术效应研究[J]. 作物杂志, 2019(4): 107-112.
- [44] 沈东萍, 张国强, 王克如, 等. 滴灌量对高产春玉米冠层结构特征及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2018, 27(8): 1137-1145.
- [45] 吴新明, 丁变红, 张小伟, 等. 春玉米滴灌密植高产配套栽培技术[J]. 新疆农垦科技, 2016, 39(11): 9-10.
- [46] 程晓媛, 李俊玲, 盛建东. 高密度滴灌覆膜条件下不同灌水量对春玉米产量的影响[J]. 农村科技, 2017(10): 10-12.
- [47] 唐亚莉, 董文明, 蒲胜海, 等. 伊犁新垦区玉米滴灌技术研究[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(10): 1832-1838.
- [48] 王冀川, 徐雅丽, 阿皮旦木·达吾提, 等. 南疆滴灌条件下复播玉米冠层内温光特征分析[J]. 玉米科学, 2014(3): 109-114.
- [49] 李瑛. 南疆滴灌春小麦复播玉米效益分析[J]. 新疆农垦科技, 2012(12): 5-6.
- [50] 候建伟, 张君, 孟超然, 等. 新疆北疆膜下滴灌水稻耗水规律研究[J]. 新疆农业科学, 2018(2): 219-229.
- [51] 杨国安, 余伟, 范丽娟. 水稻旱作地膜覆盖直播加压滴灌节水栽培技术[J]. 农村科技, 2013(2): 7-8.
- [52] 秦君兰. 膜下滴灌旱作水稻机械化直播技术[J]. 新疆农业科技, 2010(4): 7.
- [53] 丛虎滋, 戴爱梅, 张洪浩. 新疆博州滴灌谷子优质高效栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2017(3): 212-213.
- [54] 吴燕, 冯怀章, 罗正乾, 等. 滴灌马铃薯高产高效栽培技术[J]. 农村科技, 2017(6): 3-4.
- [55] 陈春梅. 滴灌马铃薯栽培技术[J]. 新疆农业科技, 2013(2): 42-43.
- [56] 加娜提·卡德尔别克. 马铃薯膜下加压滴灌栽培技术[J]. 农村科技, 2012(7): 18.
- [57] 葛宇, 何新林, 王振华, 等. 不同灌水量对滴灌复播大豆生长及产量的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2011, 29(3): 357-360.
- [58] 朱拥军, 黄劲松, 徐海峰, 等. 新疆地区滴灌小麦复播大豆施肥技术研究[J]. 天津农业科学, 2011, 17(5): 77-80.
- [59] 杜孝敬, 符小文, 安崇霄, 等. 夏大豆干物质积累参数及产量对膜下滴灌量的响应[J]. 生态学杂志, 2019, 38(6): 1751-1759.

- [60] 张永强, 徐文修, 李亚杰, 等. 新疆麦后复播大豆适宜滴灌量研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4): 1133-1140.
- [61] 巴格迪努尔·曲汗. 布尔津县春大豆覆膜滴灌栽培模式[J]. 新疆农垦科技, 2012(5): 5-6.
- [62] 李万云, 王鹏. 滴灌小麦复播向日葵栽植技术[J]. 新疆农垦科技, 2010, 33(3): 11-12.
- [63] 段维, 杨涛. 食用向日葵膜下滴灌高产栽培技术[J]. 中国农业信息, 2014(5): 67.
- [64] 吕晓庆, 柳延涛, 陈寅初, 等. 滴灌小麦麦后免耕复播向日葵栽培技术[J]. 新疆农垦科技, 2013(9): 7-8.
- [65] 王秀媛, 马卉, 高宏云, 等. 新疆北部棉花冠层结构特征对滴灌定额的响应[J]. 应用生态学报, 2019, 30(12): 416-424.
- [66] 王肖娟, 危常州, 陈林. 不同灌溉频率对滴灌棉花生长及产量的影响研究[J]. 新疆农垦科技, 2014(7): 55-58.
- [67] 喜献珍, 龚立佳, 王雪莹, 等. 新疆棉花膜下滴灌高产栽培技术分析[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2018, 30(4): 29-30.
- [68] 翟超, 周和平, 谢富明, 等. 膜下滴灌条件下棉花年际需水量变化试验分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(6): 32-38.
- [69] 王谊, 杨丽红, 石莲花, 等. 不同灌水模式对北疆膜下滴灌棉花干物质积累和产量的影响[J]. 中国棉花, 2016, 43(12): 21-23.
- [70] 冯振秀, 李安, 夏红斌. 博州垦区棉花膜下滴灌不同用水量对植株性状和产量的影响[J]. 现代农业科技, 2015(18): 26+31.
- [71] 魏光辉. 干旱区不同地下水位对棉花膜下滴灌灌溉制度的响应研究[J]. 水资源开发与管理, 2017(1): 64-69.
- [72] 汪昌树, 杨鹏年, 姬亚琴, 等. 不同灌水下限对膜下滴灌棉花土壤水盐运移和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(2): 232-238.
- [73] 王振华, 杨彬林, 谢香文, 等. 灌溉制度对膜下滴灌甜菜产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8): 158-166.
- [74] 董心久, 杨洪泽, 高卫时, 等. 天山北坡甜菜平作膜下滴灌栽培技术[J]. 中国糖料, 2016, 38(4): 53-55.
- [75] 朱海安, 郭陈会, 袁裕淮, 等. 塔额盆地甜菜膜下滴灌高产栽培技术[J]. 中国糖料, 2007(2): 47-48.
- [76] 张江辉, 刘洪波, 白云岗, 等. 极端干旱区滴灌葡萄水肥耦合效应研究[J]. 土壤学报, 2018, 55(4): 804-814.
- [77] 韦东, 卢震林. 吐鲁番地区成龄葡萄滴灌水分利用效率研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(21): 41-43.
- [78] 赵建国, 马英杰. 吐鲁番地区不同灌水量和毛管间距对葡萄生长和产量的影响[J]. 节水灌溉, 2014(5): 25-28.
- [79] 侯裕生, 王振华, 李文昊, 等. 水肥耦合对极端干旱区滴灌葡萄耗水规律及作物系数影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 279-286.
- [80] 何建斌, 王振华, 何新林, 等. 极端干旱区不同灌水量对滴灌葡萄生长及产量的影响[J]. 农学学报, 2013, 3(2): 65-69.
- [81] 巩振兴. 葡萄地下滴灌包气带水分特征分析[J]. 地下水, 2014(4): 38-39.
- [82] 杨宝玉, 沈春元, 刘新全, 等. 新疆滴灌葡萄水肥耦合模型及特征分析[J]. 新疆农垦科技, 2012(12): 28-29.
- [83] 郭绍杰, 王文革, 董平, 等. 滴灌水量对葡萄生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(11): 2666-2668.
- [84] 苗壮. 极端干旱区滴灌葡萄耗水规律与产量变化研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2013(19): 32-34.
- [85] 雷海, 杨万森. 塔额盆地打瓜膜下滴灌丰产栽培技术[J]. 新疆农业科技, 2008(3): 51.
- [86] 和瑞, 曹松. 农九师打瓜滴灌工程技术经济效益浅析[J]. 新疆农机化, 2006(2): 34-35.
- [87] 王新中. 一八三团打瓜加压滴灌技术的应用[J]. 新疆农垦科技, 2006(6): 45-46.
- [88] 张忠福, 李艳娥, 李新梅, 等. 无公害打瓜膜下滴灌高产栽培技术[J]. 农村科技, 2009(7): 68-69.
- [89] 余卫疆. 新疆地区制种西瓜膜下滴灌栽培技术措施[J]. 中国种业, 2016(5): 66-67.
- [90] 再吐娜·买买提. 干旱地区膜下滴灌技术甜瓜种植模式探索[J]. 农业与技术, 2016, 36(24): 109.
- [91] 秦文玲. 一〇三团西甜瓜滴灌生产技术规程[J]. 农民致富之友, 2013(2): 96-97.
- [92] 杨光彬. 浅谈制干辣椒膜下滴灌高产栽培技术[J]. 新疆农业科技, 2016(2): 24-26.
- [93] 唐学文. 色素用紫胡萝卜滴灌高产栽培技术[J]. 农村科技, 2014(6): 62-63.
- [94] 朱晓玲, 张志新. 胡萝卜滴灌高产栽培技术[J]. 农村科技, 2011(9): 35.

-
- [95] 任灵通, 赵俊威, 吴新春, 等. 灌溉定额分配及水磷耦合对滴灌苜蓿生长规律的影响[J]. 新疆农业科学, 2018(1): 164-174.
- [96] 洪明, 马英杰, 赵经华. 新疆阿勒泰地区浅埋式滴灌苜蓿灌溉制度试验[J]. 草地学报, 2017, 25(4): 871-874.
- [97] 胡安焱, 董新光, 魏光辉, 等. 滴灌条件下水肥耦合对干旱区红枣产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6): 60-63.
- [98] 王成, 孙凯, 王龙, 等. 南疆绿洲区滴灌红枣不同生育期水肥利用研究[J]. 节水灌溉, 2014(5): 18-21.
- [99] 李丹, 赵经华, 付秋萍, 等. 滴灌核桃不同灌水定额下综合效益优选[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(1): 91-94.
- [100] 胡琼娟, 陈杰, 马英杰, 等. 滴灌条件下核桃灌溉制度研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(5): 244-247.
- [101] 唐忠建, 戴志新, 赵宝龙. 温宿县不同滴灌量与核桃果实生长量的关系[J]. 北方果树, 2011(3): 7-9.
- [102] 白元, 徐海量, 刘新华, 等. 绿洲防护林不同滴灌水量下土壤水盐运移初探[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 153-159.