

不同海拔夏闲期压青茬口对麦田水分及水分利用效率的影响

马爱平¹, 崔欢虎¹, 亢秀丽¹, 靖华¹, 王裕智¹, 黄学芳²

(1.山西农业大学小麦研究所,山西 临汾 041000;2.山西农业大学山西有机旱作农业研究院,太原 030006)

摘要:在不同海拔高度利用大田对比方法,开展了小麦生育期严重干旱年型夏闲期不同轮作压青茬口对麦田土壤水分及水分利用效率的研究。结果表明:不同轮作压青茬口的小麦播种期和成熟期不同土层贮水量海拔点 998 m 均高于海拔点 459 m,且 0—100,100—200,200—300 cm 土层贮水量均存在极显著差异,2 个海拔点各轮作压青茬口的播种期 0—100,100—200 cm 土层贮水量均基本呈现同一茬口随压青时间推迟其贮水量降低;不同轮作压青茬口播种期与成熟期间 0—100,100—200,200—300 cm 土层的贮水量差异分别表现为极显著、显著和不显著,贮水量成熟期占播种期的比例海拔点 998 m 在 0—100,100—200,200—300 cm 土层随土层深度的增加而增加,而海拔点 459 m 则表现为 100—200 cm 土层大于 200—300 cm 土层;不同轮作压青茬口的小麦全生育期各土层土壤耗水量、总耗水量海拔点 998 m 均高于海拔点 459 m,不同海拔间不同轮作压青茬口小麦全生育期土壤耗水量 100—200,0—200 cm 土层存在极显著差异,0—100,0—300 cm 土层存在显著差异,200—300 cm 土层差异不显著;2 个海拔点不同轮作压青茬口不同土层土壤耗水量与小麦播种期贮水量呈现正相关;不同海拔间不同轮作压青茬口的小麦产量和水分利用效率均表现为海拔点 998 m 高于海拔点 459 m,产量存在极显著差异而水分利用效率不存在差异,其中海拔点 998,459 m 水分利用效率表现较高的分别为玉米早压青茬口和休闲期深翻茬口。该项研究为实施绿肥压青提升耕地质量选择适宜区域及轮作压青茬口的相关土壤水分承载力提供了理论依据和技术支撑。

关键词:绿肥压青;土壤水分;水分利用效率;小麦;海拔

中图分类号:S152.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-2242(2020)04-0249-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2020.04.037

Effects of Green Manuring Rotations in Summer Fallow Period on Soil Water and Water Use Efficiency in Wheat Field in Different Altitude-regions

MA Aiping¹, CUI Huanhu¹, KANG Xiuli¹, JING Hua¹, WANG Yuzhi¹, HUANG Xuefang²

(1.Wheat Research Institute of Shanxi Agricultural University, Linfen, Shanxi 041000;

2.Organic Dry Farming Research Intitute, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030006)

Abstract: The effects of green manuring rotations in summer fallow period on soil water and water use efficiency (WUE) in winter wheat were studied in extremely dry year during wheat growth period in different altitude-regions by large-scale field comparing method. The results showed that the soil water storage was higher at sowing date and mature date of wheat under different green manuring rotations at altitude of 998 m than that at 495 m, and the soil water storage difference in 0—100, 100—200, and 200—300 cm was extremely significant between two altitudes, respectively. The soil water storage was decreased with green manuring date delay on same rotation in 0—100 cm and 100—200 cm at sowing date at all altitudes. The soil water storage difference in 0—100, 100—200, and 200—300 cm was extremely significant, significant, and not significant between sowing date and mature date, respectively. The soil water storage proportion of mature date to sowing date was increased with soil layer increasing in 0—100, 100—200, and 200—300 cm at altitude of 998 m, while the proportion was higher in 100—200 cm than that in 200—300 cm at altitude of 459 m. During wheat whole growth period in same green manuring stubble between high altitude and low altitude, soil water consumption showed extremely significant difference in 100—200 and 0—200 cm, significant

收稿日期:2019-11-27

资助项目:山西省科技厅重点研究计划项目(201703D211002-4-4);山西省农业科学院农业科技创新项目(YCX2018411)

第一作者:马爱平(1966—),女,学士,研究员,主要从事旱作节水农业研究。E-mail:mapinglflf@163.com

通信作者:亢秀丽(1971—),女,硕士,副研究员,主要从事旱作节水农业研究。E-mail:kxiuli03@163.com

黄学芳(1971—),男,学士,研究员,主要从事旱作节水农业研究。E-mail:13653667079@163.com

difference 0—100 cm and 0—300, and no difference in 200—300 cm. The soil water consumption of different layer was correlative with the soil water storage in wheat sowing stage of same green manuring stubble at two altitudes. The wheat yield and water use efficiency at 998 m altitude were higher than those at 495 m in same green manuring stubble. The yield difference was extremely significant, while the water use efficiency showed no difference. The early corn green manuring stubble and deep tillage stubble had higher water use efficiency at 998 m and 495 m. The study provided theoretical foundation and technical support for improving farmland quality and soil water bearing capacity by green manuring in different regions.

Keywords: green manuring; soil water; water use efficiency; wheat; altitude

晋南旱垣、丘陵麦区是山西旱作小麦的主产区，常年种植小麦约 30 万 hm²。该区小麦产量的丰歉直接影响着全省小麦总产及粮食总产^[1]。进入本世纪以来，随着降水减少^[2]、气温升高^[3]等相关不利气象因子的影响，该区小麦产量年际间的波动状况没有彻底改变，究其原因主要是降水减少与气温升高耦合形成的暖干旱影响所致。较多研究^[4-7]表明，提高土壤有机质有利于增强或缓冲干旱逆境对小麦生产系统的不利影响。因此，进入本世纪以来，较多科技工作者在提高土壤有机质含量开展不同途径研究，其中途径之一是实施绿肥压青，在该领域相继开展了不同层面的较多研究，其中制度层面提出了恢复和发展绿肥生产的建议^[8]，在技术领域层面开展了豆科绿肥养分积累规律^[9]研究，绿肥对土壤微生物^[10-12]、有机质含量^[13]、土壤质量^[14]、土壤性状^[15]及土壤改良^[16]等相关研究，与此同时开展了绿肥的腐解和养分释放特征的研究^[17]，这些研究成果对区域提高有机质含量提供了良好的技术支撑。但以往这些研究较多在同一试验点(区域)关注了实施绿肥压青对土壤养分等相关性状的影响研究，而有关在不同海拔区域不同作物绿肥压青茬口及同一作物绿肥压青不同时间茬口对下茬作物土壤水分的影响研究则较少。本研究采用建立不同海拔高度的不同作物绿肥压青茬口及同一作物不同时间绿肥压青茬口，解析不同海拔的不同作物绿肥压青茬口及同一作物不同时间绿肥压青茬口对下茬小麦的土壤水分变化及其承载力，以期绿肥压青选择适宜区域及其茬口提供理论与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018—2019 年分别在海拔 459 m(山西省农业科学院小麦研究所试验基地)和海拔 998 m(山西省乡宁县双鹤乡红凹)试验点进行。其中海拔 459 m 试验点,1981—2010 年平均降水量 455.10 mm,年平均气温 13.08 ℃。试验年度休闲期降水量 333.20 mm,较 1981—2010 年平均(313.30 mm)多 19.90 mm,小麦生育期间降水 95.20 mm,较 1981—2010 年平均(141.80 mm)减少 46.60 mm。海拔 998 m 试验点,1981—2010 年

平均降水量 515 mm,年平均气温 10.48 ℃。试验年度休闲期降水量 305.40 mm,较 1981—2010 年平均(359.20 mm)减少 53.80 mm,小麦生育期间降水量 101.00 mm,较 1981—2010 年平均(155.80 mm)减少 54.80 mm。2 个试验点小麦生长季降水属偏少型,土壤质地均为轻黏土质。

1.2 试验材料

海拔 459,998 m 试验点分别选用小麦品种为“晋麦 92 号”和“临丰 3 号”;海拔 459 m 试验点播种前底施尿素和过磷酸钙,分别由山西焦化集团有限公司和陕西省双菱化工集团有限责任公司生产,海拔 998 m 试验点播种前底施当地农户提供的羊粪。

1.3 试验方法

2018 年麦田夏闲期,在海拔 459 m 试验点(简称低海拔点)和海拔 998 m 试验点(简称高海拔点)均设休闲 4 个茬口,压青 6 个茬口,共 10 个处理(表 1)。休闲、压青分别设置 4,6 个茬口是为了分别探明不同时间小麦秸秆粉和杂草粉碎、不同作物及同一作物秸秆粉碎对土壤水分及下茬小麦产量的影响;其中 6 个压青作物种植时间低海拔点和高海拔点均分别为 6 月 9 日和 6 月 20 日,种植方式均为人工铁茬直播;低海拔点的休闲期早灭茬处理在 8 月 5 日增加了 1 次杂草粉碎。

表 1 试验设计

茬口	压青时间(月-日)	
	低海拔	高海拔
休闲早灭茬	07-14,08-05	08-03
休闲中灭茬	08-05	08-14
休闲晚灭茬	08-15	08-31
休闲期深翻	07-18	07-25
玉米早压青	07-24	08-03
玉米中压青	08-05	08-14
玉米晚压青	08-31	08-31
油葵晚压青	08-31	08-31
大豆中压青	08-05	08-14
大豆晚压青	08-31	08-31

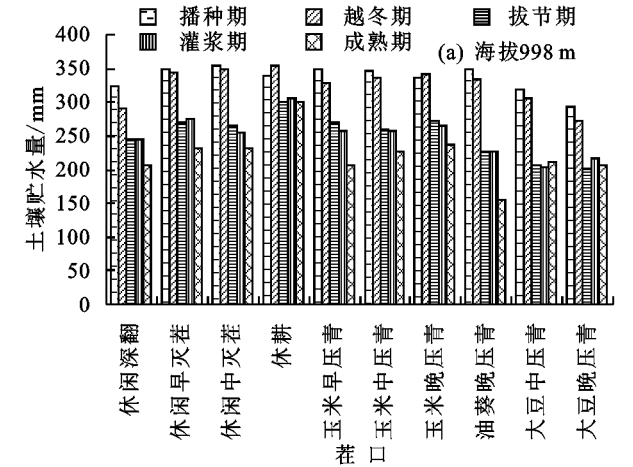
小麦生长季 2 个试验点均将夏闲期的休闲晚灭茬处理设置为休耕(不种小麦),夏闲期的其他处理作为小麦生长季对应的各个处理茬口。2 个试验点麦

田夏闲期和小麦生长季各处理的小区面积均为 60 m²;低海拔点播前底施尿素、过磷酸钙 600,600 kg/hm²,高海拔点播前底施羊粪 30 m³/hm²。低海拔和高海拔点小麦播种期分别为 2018 年 10 月 6 日和 10 月 2 日,播种量均为 187.5 kg/hm²。

1.4 测定指标

1.4.1 不同生育期土壤水分测定 用烘干称重法测定土壤质量含水率 $W(\%)$, $W=((W_1-W_2)/(W_2-W_3))\times 100\%$ 。式中: W_1 为铝盒与湿土总质量(g); W_2 为铝盒与干土总质量(g); W_3 为铝盒质量(g)。土壤贮水量 $A(mm)$ 根据公式 $A=W\times\rho\times H$ 计算。式中: H 为土层厚度(mm); ρ 为土壤容重(g/cm³)。在小麦生长季的播种期、越冬期、拔节期、灌浆期和成熟期,对休闲深翻、休闲、玉米晚压青、油菜晚压青、大豆晚压青 5 个处理 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100,100—120,120—140,140—160,160—180,180—200,200—220,220—240,240—260,260—280,280—300 cm 土层水分测定,对其他 5 个处理 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100,100—120,120—140,140—160,160—180,180—200 cm 土层水分测定。

1.4.2 土壤耗水量计算 某生育阶段土壤耗水量(mm)=该生育阶段初始土壤贮水量(mm)−该生育阶段终止土壤贮水量(mm)



1.4.3 农艺性状测定 成熟期在每处理中随机选取样点 3 个,每个样点取样面积 5.00 m²,各样点均单收单打计产平均,换算为公顷产量。

1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 和 DPS 软件操作系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同海拔夏闲期不同轮作压青茬口小麦关键生育时期不同土层土壤贮水量

2.1.1 小麦关键生育时期 0—100,100—200 cm 土层土壤贮水量 从图 1 可以看出,不同生育时期各轮作压青茬口 0—100 cm 土层的贮水量高海拔点均高于低海拔点;2 个海拔点各轮作压青茬口的播种期贮水量基本呈现同一茬口随压青时间推迟其贮水量降低;0—100 cm 土层不同海拔不同生育期不同压青茬口贮水量除高海拔点休闲(休闲晚灭茬)茬口、低海拔点休闲深翻和休闲(休闲晚灭茬)茬口在播种期至越冬前贮水量略有增加外,2 个海拔点的其他轮作压青茬口均呈现随小麦生育期延后麦田贮水量降低,其中高海拔点和低海拔点各轮作压青茬口总体以越冬前至拔节期阶段水分贮量下降幅度最大。

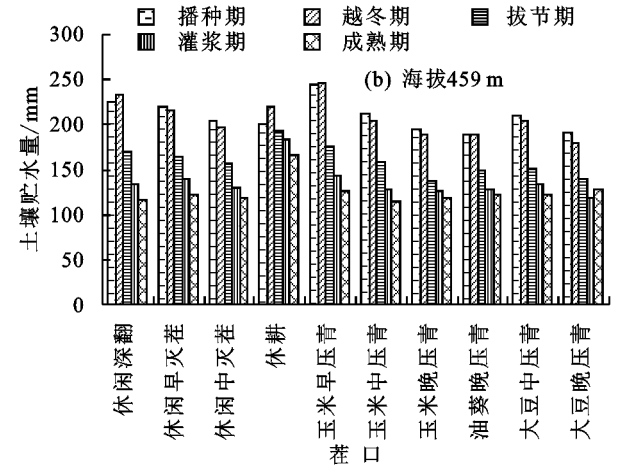


图 1 不同海拔夏闲期不同轮作压青茬口对小麦关键生育时期 0—100 cm 土层土壤贮水量的影响

从图 2 可以看出,不同生育时期各轮作压青茬口 100—200 cm 土层的贮水量高海拔点均高于低海拔点,其与 0—100 cm 土层的贮水量趋势相同。2 个海拔点各轮作压青茬口的播种期贮水量基本呈现同一茬口随压青时间推迟其贮水量降低,与 0—100 cm 土层的贮水量趋势相同;100—200 cm 土层不同海拔不同生育时期不同压青茬口贮水量除高海拔点休闲深翻茬口贮水量降低外,2 个海拔点的其他轮作压青茬口在播种期至越冬前贮水量均呈增加趋势,与 0—100 cm 土层的贮水量趋势相反;在越冬前至成熟期 2 个海拔点的不同轮作压青茬口的麦田贮水量总体随生育期

延后其贮水量降低,与 0—100 cm 土层的贮水量趋势相同;在拔节期至成熟期麦田贮水量高海拔点以油菜压青茬口和大豆压青茬口贮水量下降较大,低海拔点各压青茬口贮水量变化不大。

2.1.2 不同海拔不同轮作压青茬口对不同土层贮水量差异性的影响 不同轮作压青茬口对不同海拔间小麦播种期、成熟期不同土层贮水量的差异性影响不同。对高海拔点与低海拔点在播种期、成熟期不同茬口的 0—100,100—200,200—300,0—200,0—300 cm 土层的贮水量分别进行配对 T 值检验表明,在播种期高海拔点与低海拔点间的 0—100,100—200,

200—300,0—200,0—300 cm 土层贮水量均存在极显著差异($P<0.01$),在成熟期高海拔点与低海拔点

间的 0—100,100—200,200—300,0—200,0—300 cm 土层贮水量同样均存在极显著差异($P<0.01$)。

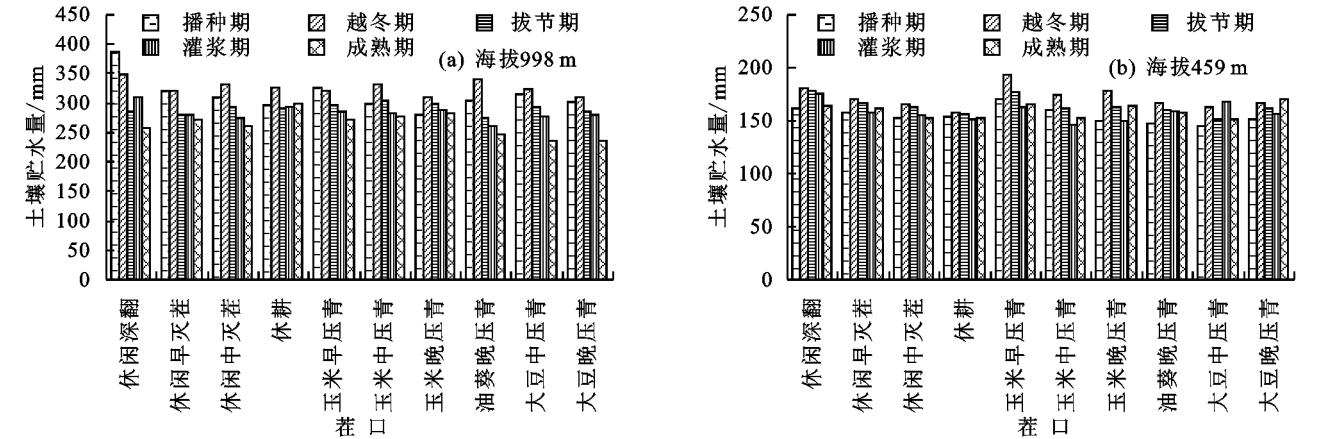


图 2 不同海拔夏闲期不同轮作压青茬口对小麦关键生育时期 100—200 cm 土层土壤贮水量的影响

不同轮作压青茬口对小麦播种期与成熟期间不同土层贮水量的影响不同。对 2 个海拔点的不同轮作压青茬口 0—100,100—200,200—300,0—200,0—300 cm 土层的播种期与成熟期贮水量进行配对 T 值检验表明,播种期与成熟期间不同茬口的贮水量差异表现为 0—100,0—200,0—300 cm 土层均存在极显著差异($P<0.01$),100—200 cm 土层存在显著差异($P<0.05$),200—300 cm 土层不存在差异。

2.1.3 不同海拔不同轮作压青茬口对不同土层麦田成熟期贮水量占播种期贮水量比例的影响 从图 3 可以看出,高海拔点成熟期贮水量占播种期贮水量的比例为 200—300 cm>100—200 cm>0—100 cm 土层,呈现随土层深度增加而增高的趋势,而低海拔点则表现为 100—200 cm>200—300 cm>0—100 cm; 2 个海拔点成熟期贮水量占播种期贮水量的比例为 0—300 cm>0—200 cm。

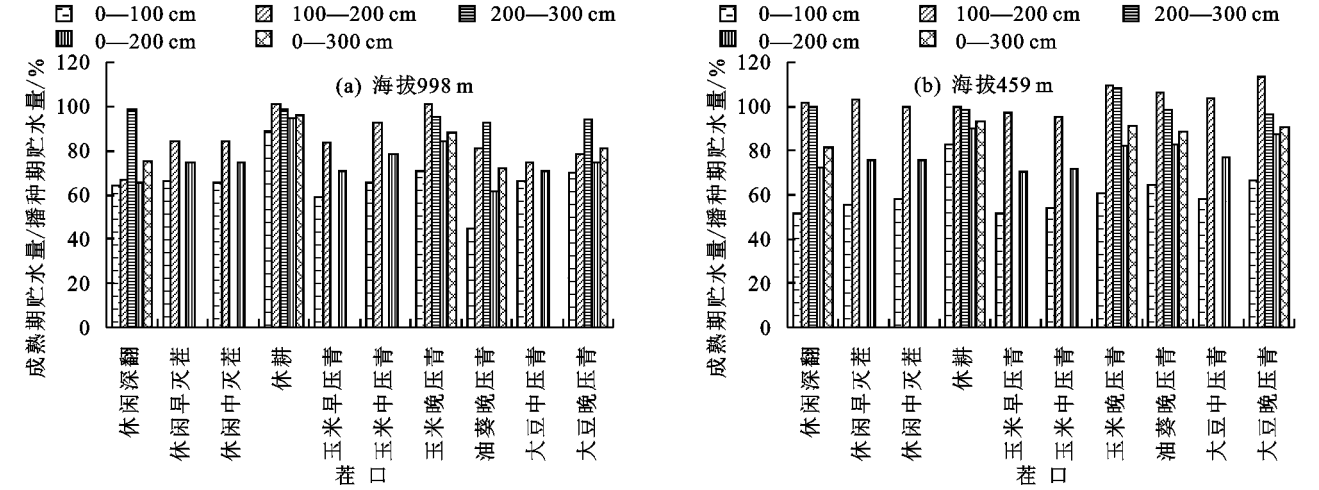


图 3 不同海拔不同轮作压青茬口对不同土层麦田成熟期贮水量占播种期贮水量比例影响

2.2 不同海拔夏闲期不同轮作压青茬口小麦播种期至成熟期不同土层土壤耗水量

2.2.1 不同海拔夏闲期不同轮作压青茬口对小麦播种期至成熟期不同土层土壤耗水量的影响 从图 4 可以看出,除高海拔点休闲深翻茬口外,不同海拔、同一海拔的各个茬口均呈现 0—100 cm 土层的土壤耗水量>100—200 cm 土层的土壤耗水量,不同海拔的同一茬口 0—100 cm 土层土壤耗水量均随压青时间的推迟耗水量降低,不同海拔的同一茬口 100—200 cm 土层的土壤耗水量除低海拔的玉米压青和休闲茬口外,其他均随压青时间的推迟耗水量降低;高海拔

点 200—300 cm 土层的土壤水分各茬口均有消耗,而低海拔点各茬口则表现不一。

2.2.2 不同海拔间不同轮作压青茬口对小麦播种期至成熟期不同土层土壤耗水量差异的影响 对 2 个海拔点间的不同轮作压青茬口 0—100,100—200,200—300,0—200,0—300 cm 土层的播种期至成熟期耗水量进行配对 T 值检验表明,除 200—300 cm 土层不同轮作压青茬口的土壤耗水量在高海拔和低海拔间不存在差异外($P>0.05$),其他土层的不同轮作压青茬口土壤耗水量在不同海拔间均存在不同程度的差异,其中 100—200,0—200 cm 土层存在极显

著性差异($P<0.01$),0—100,0—300 cm 土层存在显著性差异($P<0.05$)。

2.2.3 不同海拔不同轮作压青茬口小麦全生育期不同土层土壤耗水量与小麦播种期贮水量的线性关系

从表 2 可以看出,不同海拔不同轮作压青茬口小麦

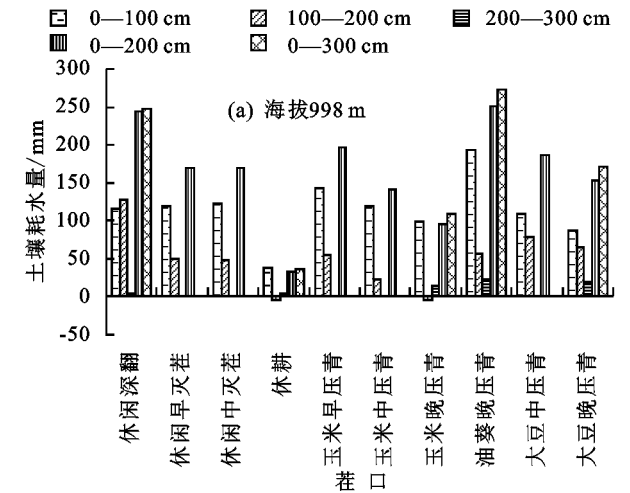


图 4 夏闲期不同海拔不同轮作压青茬口对小麦播种期至成熟期不同土层土壤耗水量的影响

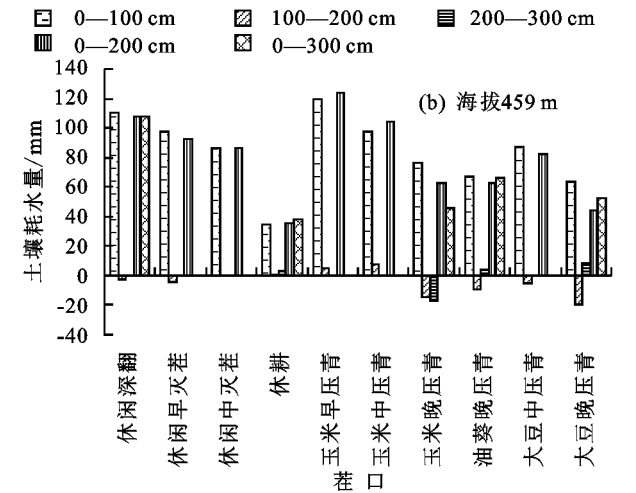
表 2 不同海拔不同轮作压青茬口小麦全生育期不同土层土壤耗水量与小麦播种期贮水量的线性关系					
海拔高度/m	土层深度/cm	回归方程	<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>P</i>
998	0—100	$y=-163.6632+0.8278x$	0.3954	0.1563	0.2581
	100—200	$y=-319.2473+1.1758x$	0.8592	0.7382	0.0014
	200—300	$y=-0.1686+0.0432x$	0.7842	0.6150	0.0072
	0—200	$y=-581.0251+1.1469x$	0.5695	0.3243	0.0857
	0—300	$y=-0.8577+0.0674x$	0.8981	0.8066	0.0004
459	0—100	$y=-158.9852+1.1586x$	0.8094	0.6552	0.0046
	100—200	$y=-111.4921+0.6912x$	0.6119	0.3745	0.0601
	200—300	$y=-0.3608+0.0018x$	0.0314	0.0010	0.9315
	0—200	$y=-290.2377+1.0155x$	0.8467	0.7169	0.0020
	0—300	$y=0.2776+0.5415x$	0.9980	0.9961	0

注: *y* 为土壤耗水量(mm); *x* 为贮水量(mm)。

2.3 不同海拔不同轮作压青茬口对小麦产量、总耗水量及水分利用效率的影响

从表 3 可以看出,产量、总耗水量高海拔点均高于低海拔点且存在显著性差异(产量配对 *T* 检验 $t=4.049\ 6$, $P=0.003\ 7$,总耗水量配对 *T* 检验 $t=6.506\ 0$, $P=0.000\ 2$);不同海拔间不同轮作压青茬口的水分利用效率不存在差异(配对 *T* 检验 $t=0.900\ 5$, $P=0.394\ 2$);同一海拔点不同轮作压青茬口的产量与耗水量均呈正相关,相关系数低海拔点($r=0.874\ 2$, $P=0.002\ 1$)大于高海拔点($r=0.541\ 4$, $P=0.132\ 2$);2 个海拔点的产量与水分利用效率均呈正相关,其中低海拔点的线性关系存在显著性差异($r=0.983\ 9$, $P=0$),而高海拔点的线性关系不存在显著性差异($r=0.590\ 5$, $P=0.094\ 1$)。

全生育期不同土层土壤耗水量与小麦播种期贮水量的线性关系均呈现正相关;除高海拔点 0—100 cm、低海拔点 200—300 cm 土层的线性关系不存在差异外,2 个海拔其他土层均存在显著性差异,总体呈现播种期贮水量高小麦全生育期耗水量高的特征。



3 讨论

3.1 关于不同轮作压青茬口的麦田贮水量

麦田播种期贮水量即麦田底墒的高低直接影响小麦生长季的土壤水分状况,而夏闲期降雨不同,种植或压青作物不同对小麦播种期贮水量的影响则不同。关于夏闲期降雨量与播种期贮水量,低海拔点、高海拔点降雨量分别为 333.2,305.4 mm,而不同压青茬口的播种期贮水量高海拔点却高于低海拔点,这主要是与不同海拔高度气温差异^[18]、气温与蒸发量呈正相关^[19-20]有关,同时也与不同压青作物的生物产量低海拔点高于高海拔点有关。关于夏闲期种植或压青作物与播种期贮水量,崔欢虎等^[21]开展了夏闲期休闲茬口、大豆茬口、绿豆茬口对小麦播种期贮水量的影响研究表明,小麦播种期贮水量以休闲茬口>大豆茬口>绿豆茬口;姚致远等^[22]开展了夏休闲—冬小麦(对照)、豆类绿肥—冬小麦和豆类绿肥—春玉米—冬小麦 3 种轮作模式的研究认为,豆类绿肥—冬小麦轮作模式绿肥消耗了更多小麦播种期土壤贮水;马爱平等^[23]开展了夏闲期种植制度及土壤耕作方式对麦田周年土壤水分动态研究表明,在小麦播种期 0—200 cm 土层贮水量为夏闲期休闲茬口>麦茬复播谷子茬口。本研究结果表明,2 个海拔点的 4 个休闲茬口的 0—100,100—200 cm 土层播种期平均贮水量均高于其他 6 个压青茬口,综合以上研究及本研究结果,夏闲期实施绿肥压青或复播作物均会影响小麦播种期土壤贮水。2 个海拔点在小麦生长季的降雨量相差较小,因此,降雨因素对 2 个海拔点在小麦生长

的水分影响较小。在小麦生长季的 4 个休闲茬口中量在拔节期至成熟期高于其他 3 个休闲茬口,这与李宝富等^[24]研究结果相近。

表 3 不同海拔不同轮作压青茬口对小麦产量、总耗水量及水分利用效率的影响

海拔 高度/m	处理	产量/ (kg·hm ⁻²)	土壤贮水量/mm		生育期 降水量/mm	总耗水量/ mm	水分利用效率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
			播种期	成熟期			
998	玉米早压青	3117.90	674.55	477.47	101.00	298.08	10.46
	休闲深翻	3051.15	708.70	465.17	101.00	344.53	8.86
	大豆中压青	2904.60	634.05	446.63	101.00	288.42	10.07
	休闲中灭茬	2767.20	662.64	492.79	101.00	270.85	10.22
	大豆晚压青	2578.05	594.64	442.57	101.00	253.07	10.19
	油葵晚压青	2302.05	652.99	402.44	101.00	351.55	6.55
	休闲早灭茬	2006.70	670.86	501.20	101.00	270.66	7.41
	玉米晚压青	2003.40	616.18	521.54	101.00	195.64	10.24
	玉米中压青	1727.55	646.87	505.93	101.00	241.94	7.14
	休闲深翻	2464.50	388.23	280.35	95.20	203.08	12.14
	玉米早压青	2365.50	415.87	291.62	95.20	219.45	10.78
	休闲早灭茬	2200.50	377.47	284.66	95.20	188.01	11.70
459	休闲中灭茬	2043.00	357.71	271.01	95.20	181.90	11.23
	玉米中压青	1416.00	372.37	268.02	95.20	199.55	7.10
	大豆中压青	1234.50	355.96	273.68	95.20	177.48	6.96
	玉米晚压青	813.00	346.32	283.75	95.20	157.77	5.15
	油葵晚压青	649.50	337.76	280.41	95.20	152.55	4.26
	大豆晚压青	588.00	342.53	298.57	95.20	139.16	4.23

3.2 关于不同海拔麦田不同土层的贮水量与耗水量关系

麦田播种期不同土层贮水量的高低直接影响麦田全生育期不同土层的耗水量。靖华等^[20]在降雨偏多年型条件下,开展了不同海拔夏闲期休闲茬口麦田不同土层深度土壤耗水量与初始贮水量的线性关系研究表明,459,610,810 m 海拔麦田各土层及 1 008 m 海拔麦田 0—100,100—200 cm 土层土壤耗水量与初始贮水量均呈正相关,全生育期麦田的耗水量随海拔高度的上升而降低。本研究结果表明,不同海拔不同轮作压青茬口小麦全生育期不同土层土壤耗水量与小麦播种期贮水量的线性关系呈现正相关,但高海拔点的耗水量却高于低海拔点,这主要是低海拔点麦田播种期贮水量不足,加之生育期降水量稀少,即使温度较高,因无水可供形成了耗水量较小的状况,因此,在这种小麦生长季极端干旱年型条件下,小麦全生育期耗水量的大小播种期贮水量因素大于温度。关于小麦生长季麦田不同土层的耗水量即不同土层的供水量,崔欢虎等^[25]开展了黄土高原旱地小麦最佳土壤库容深度模拟研究认为,黄土高原旱地麦田土壤供水范围深度主要在 1.5~2.0 m;本研究结果表明,200—300 cm 土层不同海拔的各茬口土壤耗水量不存在差异,表明不同海拔的各茬口的土壤耗水量与 200—300 cm 土层耗水量相关性较低。

3.3 关于不同海拔的小麦产量与水分利用效率

有关在不同海拔高度或梯度开展了土壤微生物^[26]、土壤溶解性有机碳氮^[27]、土壤化学性质特征^[28]及植物生理生态特性^[29]等研究结果较好地揭示了不同海拔对土壤及植物生理生态特性的影响。王庆伟等^[30]开展了海拔梯度对长白山北坡岳桦水分利用效率的影响认为,随海拔升高,岳桦 LMA 逐渐增大,并与其 WUE 呈显著正相关;有关不同海拔高度对农作物产量、土壤水分变化特征及水分利用效率的研究较少,靖华等^[20]开展了不同海拔麦田土壤水分变化特征及其对水分利用效率的影响研究认为,产量和水分利用效率基本呈现随海拔高度的升高而提高;本研究结果表明,夏闲期不同轮作压青茬口的小麦产量和水分利用效率均表现为高海拔点高于低海拔点。

4 结论

(1)在小麦生长季严重干旱年型条件下,小麦播种期和成熟期的贮水量,不同海拔夏闲期的不同轮作压青茬口在不同土层间表现不同,总体呈现高海拔点均高于低海拔点,2 个海拔点各轮作压青茬口的播种期在 0—100,100—200 cm 土层贮水量均基本呈现同一茬口随压青时间推迟其贮水量降低;不同海拔点夏闲期不同轮作压青茬口的小麦全生育期各土层土壤耗水量、总耗水量不同,总体呈现高海拔点高于低海拔点;不同海拔点夏闲期不同轮作压青茬口不同土层土

壤耗水量与小麦播种期贮水量呈现正相关;不同海拔夏闲期不同轮作压青茬口的小麦产量和水分利用效率均表现为高海拔点高于低海拔点。

(2)在小麦生长季严重干旱年型条件下实施休闲期绿肥压青,土壤水分承载力高海拔区域优于低海拔区域,在高海拔区域休闲期宜选用玉米早期压青模式,而低海拔区域夏闲期则不宜绿肥压青而应选用土壤深翻耕作模式。

(3)不同海拔区域夏闲期实施绿肥压青,不同压青作物及同一压青作物的不同压青时间对土壤有机质含量及土壤相关性状的影响,有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 崔欢虎,张鸿杰,马爱平,等.山西旱地小麦栽培技术体系的形成及其发展战略[J].农业现代化研究,2001,22(3):154-158.

[2] 张卉,程永明,江渊.山西省近 49 年降水量变化特征及趋势分析[J].中国农学通报,2014,30(8):197-204.

[3] 亢秀丽,靖华,马爱平,等.区域(临汾)水分相关气象因子变化及其对小麦产量的影响[J].农学学报,2019,9(7):62-67.

[4] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.

[5] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.

[6] 张国荣,李菊梅,徐明岗,等.长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2009,42(2):543-551.

[7] 段英华,徐明岗,王伯仁,等.红壤长期不同施肥对玉米氮肥回收率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1108-1113.

[8] 曹卫东,黄鸿翔.关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J].中国土壤与肥料,2009(4):1-3.

[9] 姚鹏伟,张达斌,王峥,等.豆科绿肥养分累积规律及其对后茬小麦生长和产量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(3):111-117.

[10] 高嵩涓,曹卫东,白金顺,等.长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性[J].土壤学报,2015,52(4):902-910.

[11] 韩梅.青海高原复种绿肥毛叶苕子对土壤微生物生物量碳、氮的影响[J].微生物学杂志,2019,39(4):34-39.

[12] 刘国顺,罗贞宝,王岩,等.绿肥翻压对烟田土壤理化性状及土壤微生物量的影响[J].水土保持学报,2006,20(1):95-98.

[13] 高菊生,徐明岗,董春华,等.长期稻—稻—绿肥轮作对水稻产量及土壤肥力的影响[J].作物学报,2013,39(2):343-349.

[14] 杨曾平,徐明岗,聂军,等.长期冬种绿肥对双季稻种植下红壤性水稻土质量的影响及其评价[J].水土保持学报,2011,25(3):92-97,102.

[15] 刘沛松,贾志宽,李军,等.宁南旱区不同草粮轮作方式中前茬对春小麦产量和土壤性状的影响[J].水土保持学报,2008,22(5):146-152.

[16] 李玉辉,李源环,邓小华,等.石灰和绿肥对不同种植制度植烟酸性土壤改良效果[J].水土保持学报,2018,32(6):365-370.

[17] 朱小梅,王建红,赵宝泉,等.不同盐分土壤环境下绿肥腐解及养分释放动态研究[J].水土保持学报,2018,32(6):309-314.

[18] 冯学民,蔡德利.土壤温度与气温及纬度和海拔关系的研究[J].土壤学报,2004,41(3):489-491.

[19] 周林,王汉杰,朱红伟.气候变暖对黄淮海平原冬小麦生长及产量影响的数值模拟[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2003,4(2):76-82.

[20] 靖华,亢秀丽,马爱平,等.不同海拔麦田土壤水分变化特征及其对水分利用效率的影响[J].干旱气象,2019,37(4):656-662.

[21] 崔欢虎,王娟玲,马步州,等.晋南旱垣土壤质地和茬口对小麦产量及水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2007,21(6):155-158.

[22] 姚致远,王峥,李婧,等.轮作及绿肥不同利用方式对作物产量和土壤肥力的影响[J].应用生态学报,2015,26(8):2329-2336.

[23] 马爱平,靖华,亢秀丽,等.晋南旱垣种植制度及土壤耕作方式对麦田周年土壤水分动态和水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2017,31(1):160-165.

[24] 李宝富,熊黑钢,张建兵,等.两种植被覆盖度下土壤水分和盐分的空间变异性研究[J].新疆农业科学,2010,47(1):168-173.

[25] 崔欢虎,张松令,闫翠萍,等.黄土高原旱地小麦最佳土壤库容深度模拟研究[J].水土保持学报,2003,17(4):110-112.

[26] 李洪杰,刘军伟,杨林,等.海拔梯度模拟气候变暖对高山森林土壤微生物生物量碳氮磷的影响[J].应用与环境生物学报,2016,22(4):599-605.

[27] 常晨晖,苟小林,吴福忠,等.利用海拔差异模拟增温对高山森林土壤溶解性有机碳和有机氮含量的影响[J].应用生态学报,2016,27(3):663-671.

[28] 张黎明,邓万刚,魏志远,等.五指山不同海拔高度的土壤化学性质特征[J].生态环境,2006,15(6):1313-1318.

[29] 潘红丽,李迈和,蔡小虎,等.海拔梯度上的植物生长与生理生态特性[J].生态环境学报,2009,18(2):722-730.

[30] 王庆伟,齐麟,田杰,等.海拔梯度对长白山北坡岳桦水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2011,22(9):2227-2232.