

西藏高寒牧区灌溉人工草地节水高产综合技术研究

汤鹏程^{1,3}, 徐冰¹, 郭克贞¹, 赵世昌²

(1. 水利部 牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020; 2. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 3. 中国水利水电科学研究院 研究生部, 北京 100038)

摘要: 针对西藏牧区海拔高、日温差大、太阳辐射强、空气干湿变化大的特点, 在田间试验基础上, 分析了燕麦叶水势(Ψ_L)的日变化规律及其与西藏典型气象因子——大气温度(T)、太阳辐射(R_s)、空气相对湿度(RH)的关系, 并建立了回归模型。结果表明, 燕麦不同生育期 Ψ_L 的日变化差异显著, 其中幼苗期和抽穗期呈“V型”变化趋势, 分蘖期和拔节期呈“W型”变化趋势, 最高日变幅可达6 MPa。经回归分析判定气象因子对燕麦各生理指标影响显著性的先后关系为 $\Psi_L: T > RH > R_s$ 。研究结果对探求灌溉草地水文循环规律, 制定科学灌溉制度, 提高高寒牧区人工草地的水分利用效率具有重要意义。

关键词: 西藏; 高寒牧区; 燕麦; 生理指标; 气象因子

中图分类号: S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0128-04

Relationship Between Leaf Water Potential of Oat and Meteorological Factor in Alpine Pastoral Areas of Tibet

TANG Peng cheng^{1,3}, XU Bing¹, GUO Ke zhen¹, ZHAO Shi chang²

(1. Institute of Water Resources Research for Pasturing Area, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, China;
2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;
3. Graduate School, Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The alpine pastoral area of Tibet has high elevation, large daily temperature range, strong solar radiation, and high variation of air humidity. In this study, the field experiment was conducted to analyze the diurnal variation of leaf water potential of oat (Ψ_L) and its relationship with the typical meteorological factors such as atmospheric temperature (T), solar radiation (R_s), and relative air humidity (RH) to establish the corresponding regression models. The experiment results showed that the daily variation of oat's Ψ_L is significantly different during different growth stages. The oat's Ψ_L showed 'V-type' during the seeding stage and heading stage; while it showed 'W-type' during the jointing stage and tillering stage, and the maximum variation range of Ψ_L can reach 6 MPa in a day. Based on the regression analysis, the order of significant effects of meteorological factors on oat's Ψ_L was $T > RH > R_s$. These results are of vital significance for seeking the hydrologic cycle rules of the irrigated grass, formulating the scientific irrigation schedule, and increasing the water use efficiency of grass growing in the alpine area.

Key words: Tibet; alpine pastoral area; oat; physiological index; meteorological factor

西藏是我国五大牧区之一, 天然草原 8 200 万 hm^2 , 牧区地处高原, 日温差大、太阳辐射强、空气干湿变化大。尤其在藏北高原地区, 寒旱并存, 水、热资源时空分配不均, 土壤贫瘠。受特殊的自然地理因素与生产习俗影响, 草地灌溉技术落后^[1-3]。近年来, 随着牧区水利的发展, 人工牧草需水量与灌溉制度研究受到关注, 但是, 作为反映作物水分胁迫状况、

水分循环过程重要参数的叶水势的研究鲜有报道。本文针对这一薄弱环节, 以燕麦为研究对象, 对叶水势(Ψ_L)的日变化规律, 以及与高原地区典型气象因子——大气温度(T)、太阳辐射(R_s)、空气相对湿度(RH)之间的关系进行研究, 对于探求灌溉草地水文循环规律, 制定科学的灌溉制度, 提高高寒牧区人工草地的水分利用效率具有重要意义。

收稿日期: 2013-04-18 修回日期: 2013-08-06 网络出版时间: 2013-08-23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130823.1502.013.html>

基金项目: 中国水科院科研专项基金项目“西藏高寒牧区灌溉人工草地节水高产综合技术研究”(MK2012J05)

作者简介: 汤鹏程(1988), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉新技术研究。E-mail: tangpc1988@163.com

通讯作者: 郭克贞(1955), 男, 内蒙古呼和浩特人, 教授级高级工程师, 主要从事节水灌溉方面研究。E-mail: guok ezhen1955@163.com

1 研究区概况

研究区位于拉萨市当雄县。该区地处西藏中部,藏南与藏北交界地带,地理坐标东经 $90^{\circ}45' - 91^{\circ}31'$,北纬 $29^{\circ}31' - 31^{\circ}04'$ 。地貌类型为高原山地,平均海拔 $4\ 200\text{ m}$ 。属高原大陆性气候,雨季旱季分明,多年平均降水量 480 mm ,主要集中在 6 月-9 月份,多年平均蒸发量 $1\ 966\text{ mm}$,无霜期仅 60 多天,日照百分率在 60% 以上,光照资源充足,热量不足。

2 研究方法

2.1 试验设计

试验地位于距当雄县县城 4 km 的草原站抗灾基地内。

表 1 试验设计

Table 1 Experiment design

生育期	幼苗期		分蘖期	拔节期	抽穗期
	出苗前	出苗后			
充分灌溉各生育期水分条件 (%)	70	70	70	75	70
生育期起止时间	6月上旬-6月下旬	6月下旬-7月上旬	7月上旬-7月中旬	7月下旬-8月中旬	8月下旬-9月上旬

* 各阶段水分条件指占田间最大持水量%。

$$R_a = \frac{720G_{sc}d_r[(\omega_2 - \omega_1)\sin(\varphi)\sin(\delta) + (\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1))\cos(\varphi)\cos(\delta)]}{\pi} \quad (1)$$

$$R_s = (0.25 + 0.5 \times \frac{n}{N}) \times R_a \quad (2)$$

式中: R_a 为天顶辐射 ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{hour})$); R_s 为太阳辐射 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{hour}$); G_{sc} 为太阳常数,为 0.082 ; d_r 为相对日地距离的倒数; δ 为太阳磁偏角; φ 为地理纬度; ω_1 (ω_2) 为时段初(末)太阳时角; n/N 为相对日照时间。

2.3 作物生理指标的测定

在晴天、微风气象条件下,选取 3 株生长良好、颜色、大小正常的燕麦叶片(幼苗期选择第二片叶片;分蘖期、拔节期、抽穗期均选择第三片叶片),应用 PSYPRO 型露点水势仪测定叶水势 (Ψ_L),时间间隔为 1 h 。燕麦幼苗期、分蘖期、抽穗期 Ψ_L 各测定一次,测定日期分别为 6 月 30 日、7 月 16 日、8 月 26 日。由于燕麦拔节期对水分敏感度最大^[4],所以对其 Ψ_L 进行长时段观测,测定时段为 8 月 7 日-8 月 12 日。

2.4 数据分析

为确定气象因子变化与 Ψ_L 的定量关系,采用 SPSS 19.0 软件对燕麦 Ψ_L 变量、单个气象因子、综合气象因子进行了回归分析,建立了回归模型。

3 结果与分析

3.1 不同生育期燕麦 Ψ_L 日变化规律

在灌水充分、日照充足、温度适宜的情况下,选取燕麦不同生育期全天 Ψ_L 变化情况进行对比。根据测定,在西藏高海拔、强辐射、日温差达 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的特殊环境下,各生育期的 Ψ_L 日变幅较大,最高可达 6 MPa 。而同属禾本科的冬小麦叶水势变化只有 3 MPa ^[5],同样生长在高寒地区的小灌木蒙古莢叶水势日变幅仅有 1.24 MPa ^[6]。燕麦不同生育期 Ψ_L 变化规律细述如下。

(1) 燕麦幼苗期 Ψ_L 的变化多在晚上发生(见图 1),变化趋势呈单波谷“V 型”,且 Ψ_L 最低点多出现在凌晨,最低值

项目于 2012 年 5 月至 2012 年 9 月开展田间灌溉试验,试验区的净面积为 $4\text{ m} \times 14\text{ m} = 56\text{ m}^2$,燕麦品种为丹麦 444,灌溉方式为畦灌。试验过程中进行土壤水分控制,土壤含水量 7 d 测定一次,当水分不能满足要求时进行灌溉。各试验小区周边用高 30 cm 的田埂分割,隔离区宽为 1 m 。试验设计见表 1。

2.2 气象因子的选取

考虑到西藏高寒牧区日温差大、太阳辐射强、空气干湿变化大的气候特点,本文选取大气温度 (T)、太阳辐射 (R_s) 和空气相对湿度 (RH) 作为典型气象因子进行研究。其中 RH 与 T 均由当雄县气象局提供, R_s 由公式 (1)^[3]、公式 (2)^[3] 计算得到。

为 -4.67 MPa 。 Ψ_L 的低谷共持续约 5 h ,此时 T 较低, R_s 较小, RH 较大。 Ψ_L 于 $9\text{ :}00$ (文章时间统一采用北京时间,当地地方时间与北京时间时差为 2 h) 达到较高值 -0.3 MPa ,之后 Ψ_L 波动不大,并缓慢持续走高,这是因为白天 T 较高、 R_s 较大, Ψ_L 值偏高可使幼苗叶片避免日间所受辐射过多以致细胞受损,或避免蒸腾能力过盛致使作物受到水分胁迫影响。 Ψ_L 夜间变化多于白天,在一定程度上反映出燕麦幼苗期晚上与外界水分交换频繁,生命活动较白天旺盛。由此推知幼苗期燕麦可适应夜间的低温环境,高温与强光照反而会抑制燕麦幼苗的生长发育,这与幼苗期根系尚不发达、气孔细胞开闭机制尚不成熟有关。

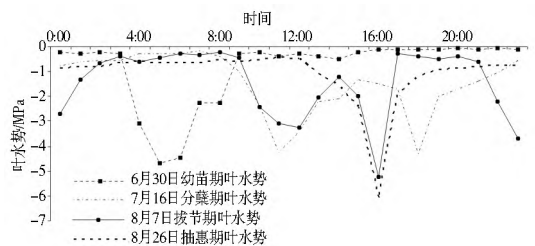


图 1 叶水势在不同生育期的日变化趋势

Fig. 1 Daily variations of leaf water potential during different growing periods

(2) 燕麦分蘖期营养生长旺盛,与外界水分交换频繁, Ψ_L 日间有明显波动趋势(见图 1)。 Ψ_L 值在晚上较高,而白天有两个明显的波谷呈“W 型”,分别出现在上午 $10\text{ :}00$ 至 $11\text{ :}00$,最低值为 -4.27 MPa ;下午 $18\text{ :}00$ 左右,最低值为 -4.28 MPa ;上午日出后 Ψ_L 开始逐渐降低。这可能是由于光照充足 R_s 持续增强,温度逐渐上升,燕麦会降低自身组织水势以吸收更多的水分参与生命活动。中午温度达到一天的最高值,此时燕麦通过调节气孔开闭,提升自身水势,以降低蒸腾作用导致的水分缺失。其后随着日落, T 回落, Ψ_L 再

次降低以吸收更多水分,直至 21:00 左右 Ψ_L 回复到较高值 1.7 MPa。该变化趋势与郭克贞对毛乌素沙地人工牧草的 Ψ_L 日变化趋势研究结论类似^[7]。燕麦在分蘖期对气象因子的变化已有一定适应性,分蘖期作物白天生命活动开始强于夜间。

(3) 拔节期是营养器官制造和积累有机物的关键时期, Ψ_L 日变化趋于稳定(见图 1)。同分蘖期 Ψ_L “W 型”波动趋势类似,有两个波谷出现,第一个波谷出现时间与分蘖期一致,最低值 -3.23 MPa;第二个波谷较分蘖期提前约 2 h,最低值为 -5.22 MPa,可能和当天的气象状况有关。 Ψ_L 变化总趋势为早晨和晚上较高,白天生命活动旺盛, Ψ_L 值显著降低,且出现较大波动。14:00 左右 Ψ_L 处于较高值 -1.24 MPa,此时燕麦为应对光照过强、空气干燥, R_s 迅速降低,保卫细胞失水收缩,部分气孔关闭。即通过短暂“午睡”适应气象因子变化,达到调控作物体内水分平衡之目的^[8,9]。

(4) 燕麦抽穗期生殖生长逐渐代替营养生长, Ψ_L 总体较高。一天中 Ψ_L 只出现一个低谷,变化趋势呈“V 型”,下午 16:00 左右 Ψ_L 出现低谷,最小值为 -6.1 MPa(见图 1)。 Ψ_L 出现低谷的时间同燕麦分蘖期、拔节期 Ψ_L 第二个波谷出现的时间基本一致。由此证明充分灌溉条件下,每天下午 16:00 至 18:00 水流驱动力最大,促使水分不断从土壤进入根部。一定程度上表明,这一时期生命活动旺盛,是燕麦转化能量为有机物的关键时期,此时发生水分胁迫,会影响人工草地产量。但是还不能确定,燕麦抽穗期 Ψ_L 仅出现一个波谷的现象主要是当地气象因素影响的结果,还是该生育阶段的特殊生理现象。

3.2 燕麦 Ψ_L 与气象因子日变化关系及回归分析

3.2.1 燕麦 Ψ_L 与气象因子日变化关系

在充分灌水条件下,燕麦 Ψ_L 的日变化趋势不仅受其本身所处不同生育期影响,而且与气象因素紧密相关^[10-11]。 Ψ_L 越小,负压越大,细胞的吸水能力就越强^[12-13],因此 Ψ_L 的变化可以反映作物适应环境的能力。由于燕麦拔节期对水分敏感度最大^[4],因此本文对拔节期 8 月 7 日至 8 月 12 日 Ψ_L 的平均值与各气象因子的平均值进行分析。

(1) Ψ_L 与 R_s 日变化关系。从图 2 中 R_s 和 Ψ_L 的变化曲线得知,两者呈负相关(决定系数 $R^2 = 0.353$)。 R_s 在凌晨 5:00 左右由负数变为正数,之后 2 h 左右 Ψ_L 开始由 -0.32 MPa 迅速降低;12:00 太阳辐射最强达到 3.45 MJ/(m²·hour), Ψ_L 于 13:00 降至第一个低谷值 -5 MPa,此后可能由于温度持续上涨,水流驱动力增大, Ψ_L 略有升高,至 -3.2 MPa 后又迅速降低。在 R_s 明显呈单峰变化的情况下, Ψ_L 的这种波动可能是受到了其他气象因子的影响^[14]。太阳辐射在 19:00 左右由正数变负数,之后 1 h 左右 Ψ_L 开始由最低值 -5.6 MPa 迅速升高。由上述分析可知 Ψ_L 的变化滞后于太阳辐射的变化。

(2) Ψ_L 与 RH 日变化关系。从图 2 中 RH 和 Ψ_L 的变化曲线知,两者的变化呈显著正相关(决定系数 $R^2 = 0.676$)。日出后 8:00 左右, RH 开始由最高值 87% 逐渐下降,下午 18:00 点当 RH 达到一天最低点 42.67% 时, Ψ_L 为 -4.5 MPa,此时 Ψ_L 在降低的大趋势下处于一个回升的小

峰值,这可能与 RH 持续减小至最低点,叶片调节气孔开闭以避免燕麦失水过多有关;之后随着 RH 的回升, Ψ_L 变化趋势为先达到最低值 -5.4 MPa,于日落后迅速上升至 -1.8 MPa。

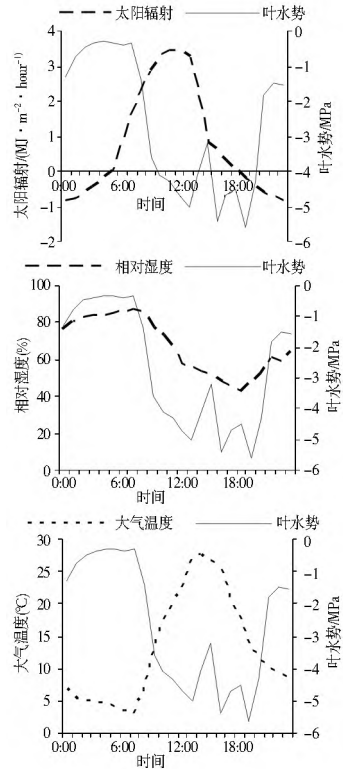


图 2 叶水势与气象因子日变化关系

Fig. 2 Relationship between daily variation of leaf water potential and meteorological factors

(3) Ψ_L 与 T 日变化关系。从图 2 中 Ψ_L 和 T 的变化曲线得知,两者的变化呈显著负相关(决定系数 $R^2 = 0.728$)。在黎明时分(7:00 左右) T 为一天最低,为 3.15 °C,此时 Ψ_L 处于较高的 -0.32 MPa;日出后随着 T 的持续升高, Ψ_L 下降趋势明显,在 10:00, T 达到 16.97 °C 时, Ψ_L 下降趋势减缓但仍在降低。14:00~15:00 点 T 达到一天内最高值 27.5 °C,根系吸水难以满足作物蒸腾需要,为减小蒸腾失水,气孔保卫细胞发生闭合,出现短时间的“午睡”现象^[5];随后 T 逐渐降低,到 13.6 °C 时 Ψ_L 降至一天最低值 -5.6 MPa。可见,持续高温,会导致 Ψ_L 回升,作物出现“午睡”现象。

3.2.2 燕麦 Ψ_L 与气象因子日变化回归分析

(1) 单个气象因子与 Ψ_L 日变化回归分析。由上文分析可知,针对西藏日温差大、太阳辐射强、空气干湿变化大的特殊气象条件所选取的典型气象因子 T 、 R_s 、 RH 与 Ψ_L 均有显著的相关关系。表 2 对单一气象因子与 Ψ_L 的日变化进行了分析,并经过回归分析确立了回归模型,通过典型气象因子可简单预测 Ψ_L 的变化趋势。通过对回归模型中决定系数及 F 检验值的分析得知, Ψ_L 对气象因子变化的敏感度排序为: $T > RH > R_s$ 。

(2) 综合气象因子与 Ψ_L 日变化回归分析。综合气象因子即多种气象因子的综合作用,数理统计上的作用优于单一气象因子。阴天及空气湿度和风速较大时, Ψ_L 的日变幅较

表 2 单个气象因子与叶水势日变化的回归模型

Table 2 The regression model of single meteorological factor and daily variation of leaf water potential

气象因素	回归模型	决定系数 R^2	F 检验值	sig.
$T(^{\circ}C)$	$\Psi_L = -0.101 - 0.196T$	0.728 ^{***}	58.578	1.22×10^{-7}
$Rs/(MJ \cdot m^{-2} \cdot hour^{-1})$	$\Psi_L = -2.066 - 0.647Rs - 0.077R_s^2$	0.353 [*]	4.523	0.023
$RH(\%)$	$\Psi_L = -30.46 + 6.65 \ln(RH)$	0.676 ^{**}	45.413	8.99×10^{-7}

** 表示在 0.01 水平上差异显著; * 表示在 0.05 水平上差异显著; n= 24

小; 在晴天、风速较小、空气湿度适中时 Ψ_L 变幅较大^[8]。根据燕麦拔节期 Ψ_L 受气象因子的影响, 综合气象因子对 Ψ_L 的影响要远高于单因子对 Ψ_L 的影响^[15]。

在西藏高温差、强辐射、空气干湿变化大的特殊气象条件下, 为了更好估测燕麦 Ψ_L 的预期值及变化趋势, 经多元回归分析得到 Ψ_L 与综合气象因子的回归模型:

$$\Psi_L = -11.271 - 0.882R_s + 0.076T + 0.123RH \quad (3)$$

(相关系数 $R = 0.862$, $F_{0.01} = 40.952$, 达极显著水平)

4 结论与讨论

(1) 在充分灌溉条件下, 高寒牧区典型气象因子对燕麦生理指标影响显著性的先后关系: $\Psi_L > T > RH > R_s$ 。综合气象因子对 Ψ_L 的影响要远高于单一气象因子对 Ψ_L 的影响。通过燕麦生理指标与气象因子间的回归模型, 可预测在充分供水条件下高寒牧区作物燕麦 Ψ_L 的预期值及变化趋势。

(2) 在西藏特殊气象环境下, 燕麦 Ψ_L 日变幅高达 6 MPa, 燕麦幼苗期 Ψ_L 日变化情况明显区别于分蘖期、拔节期与抽穗期。幼苗期 Ψ_L 的起伏波动多发生于夜间, 且呈现“V 字型”变化, 最低值 -4.67 MPa 出现在 5:00, 说明该生育期即使在夜间也保持有较强的生命活动。这一规律可以用于灌溉指导, 即幼苗期在日落前灌溉燕麦, 有益于作物生长, 提高水资源利用效率。分蘖期、拔节期与抽穗期叶水势变化主要发生在白天, 在这些生长期内进行作物灌溉时, 最好选择在 11:00 与 16:00 以后, 有利于水分的吸收利用。至于分蘖期与拔节期叶水势变化趋势呈“W”型而抽穗期 Ψ_L 日变化趋势呈“V 字型”这一现象, 可能与测定当天的云层厚度、相对湿度等特定的气象因子有关, 需进一步确定。

本文对于 Ψ_L 日变化规律及其 Ψ_L 与气象因子的相关关系研究分析均是在灌水充分的情况下进行的, 为更好指导灌溉, 水分胁迫对 Ψ_L 的影响将是下一步的研究重点。

参考文献(References):

[1] 杨永红, 武利江, 王政章, 等. 西藏节水灌溉发展现状与规划展望[J]. 节水灌溉, 2007, (4): 56-58. (YANG Yong hong, WU Li-jiang, WANG Zheng zhang, et al. The Development and Outlook of Water-saving Irrigation in Tibet[J]. Water Saving Irrigation, 2007, (4): 56-58. (in Chinese))

[2] 徐冰, 郭佳宾, 郭克贞, 等. 西藏牧区生态水利研究进展[J]. 水资源与水工程学报, 2012, (3): 84-86. (XU Bing, WU Jia bin, GUO Ke zhen, et al. A Review of Ecology and Water Conservancy in Pasturing Area in Tibet[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2012, (3): 84-86. (in Chinese))

[3] Allen Richard G. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO irrigation and drainage paper[M]. University of Michigan: FAO and Agriculture Or-

ganization of the United Nations, 1998: 47-50.

[4] 田德龙, 徐冰, 郭克贞, 等. 西藏高寒牧区(燕麦、青稞)作物水模型确定[J]. 中国农村水利水电, 2012, (7): 9-12. (TIAN De long, XU Bing, GUO Ke zhen, et al. Tibet Alpine Pastoral Area(Oats and Barley) Crop Water Model Sure[J]. China Rural Water and Hydropower, 2012, (7): 9-12. (in Chinese))

[5] 康绍忠, 刘晓明, 王振镓. 冬小麦叶片水势、气孔阻力、蒸腾速率与环境因素的关系[J]. 灌溉排水, 1991, (3): 1-6. (KANG Shao zhong, LIU Xiao ming, WANG Zheng yi. Relations Between Leaf Water Potential, Stomatal Resistance and Transpiration Rate of Winter Wheat, and Environmental Factors[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1991, (3): 1-6. (in Chinese))

[6] 韩磊, 贺康宁, 芦新建. 青海高寒半干旱区蒙古菥叶水势变化及其与环境因素的关系[J]. 水土保持通报, 2008, (6): 1-5. (HAN lei, HE Kang ning, LU Xin jian. Changes and Environmental Effects of Leaf Water Potential of Caryopteris Mongolica in Qinghai Alpine Semiarid Area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, (6): 1-5. (in Chinese))

[7] 郭克贞, 佟长福, 郝和平, 等. 毛乌素沙地紫花苜蓿人工草地的水分运移与消耗研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, (6): 44-48. (GUO Ke zhen, TONG Chang fu, HAO He ping, et al. Research on Water Consuming Process in Alfalfa in Maowusu Desert[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, (6): 44-48. (in Chinese))

[8] 康绍忠, 刘晓明, 熊运章, 等. SPAC 水分传输理论及其应用[M]. 北京: 水利水电出版社, 1994: 56-82. (KANG Shao zhong, LIU Xiao ming, XIONG Yun zhang, et al. Theory of Water Transport in Soil-Plant-Atmosphere Continuum and Its Application[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1994: 56-82. (in Chinese))

[9] 郭克贞, 赵淑银, 苏佩凤, 等. 草地 SPAC 水分运移消耗与高效利用技术[M]. 北京: 中国水利水电, 2008: 70-74. (GUO Ke zhen, ZHAO Shu yin, SU Pei feng, et al. Theory of Water Transport in Soil-Plant-Atmosphere Continuum and Its Application on Grassland[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2008: 70-74. (in Chinese))

[10] 佟长福, 郭克贞, 史海滨, 等. 环境因素对紫花苜蓿叶水势与蒸腾速率影响的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, (12): 152-155. (TONG Chang fu, GUO Ke zhen, SHI Hai bin, et al. Preliminary Study on the Effect of Environmental Factor on Leaf Potential and Transpiration Rate of Alfalfa[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, (12): 152-155. (in Chinese))

[11] 杨培林, 彭俊, 钟新才. 不同水分处理下防护林树种叶水势茎水势及土水势的研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(2): 273-278. (YANG Pei lin, PENG Jun, ZHONG Xin cai. Study on the Leaf, Stalk and Soil Water Potential of the Tree Species of Protection Forest under Different Water Treatments[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(2): 273-278. (in Chinese))

(下转第 171 页)

路的各项功能还应当考虑时间的延续性。随着经济的飞速增长,城市的快速建设和外扩,土地资源越来越稀缺。堤路结合的形式不仅能够大量节约修路所占的土地,还能够有效地加固加高江河堤防,对于河流两岸的经济发展起到了不可估量的拉动作用。

5 结语和展望

堤防道路是由水利部门实施的道路工程,在新时期兼具了多项功能,许多滨河(江)路建成后除了作为防汛的道路,还发挥着更多的作用,但是对于堤防道路功能的扩展和分类目前还未有系统的研究。本文根据堤防道路的特点,分析了堤防道路可能具备的各项功能,这有助于明确堤防道路的建设标准,确保堤防道路能够适应社会经济发展的需求。在本文的基础上,还应当继续关注和研究堤防道路的分类方法、功能的定位以及建立分类分级体系,以便为堤防道路建设者提供更全面和详细的依据。

参考文献(References):

- [1] 卢臻杰. 城市防洪堤与城市道路结合工程的设计探讨[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(4): 59-61. (LU Zhenjie. Design of Urban Levee and Urban Road Combined Project[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(4): 59-61. (in Chinese))
- [2] 汪小茂, 高红艳, 李亮. 城市堤路结合建设工程关键技术问题研究[J]. 人民长江, 2011, 42(20): 4-6. (WANG Xiaomao, GAO Hongyan, LI Liang. Study of Key Issues of Construction of Levee Road by River Side: The Case of Wuhan Riverfront Road[J]. Yangtze River, 2011, 42(20): 4-6. (in Chinese))
- [3] JTG D30-2004, 公路路基设计规范[S]. (JTG D30-2004, Specifications for Design of Highway Subgrades[S]. (in Chinese))
- [4] GB 50286-98, 堤防工程设计规范[S]. (JT G GB 50220-95, Code for Design of Levee Project[S]. (in Chinese))
- [5] 杨莉, 王长梅, 李国力, 等. 黄河下游堤防道路硬化工程设计方案的研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2000, 21(4): 17-19. (YANG Li, WANG Changmei, LI Guoli, et al. Research on the Designing Plan of the Yellow River's Lower Reaches Embankments' Road Hardening Project[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2000, 21(4): 17-19. (in Chinese))
- [6] 杨少伟. 道路勘测设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009: 2. (YANG Shaowei. Road Survey and Design[M]. Beijing: China Communication Press, 2009: 2. (in Chinese))
- [7] JTG B01-2003, 公路工程技术标准[S]. (JTG B01-2003, Technical Standard of Highway Engineering[S]. (in Chinese))
- [8] GB 50220-95, 城市道路交通规划设计规范[S]. (JT G GB 50220-95, Code for Transport Planning on Urban Road[S]. (in Chinese))
- [9] CJJ 37-2012, 城市道路工程设计规范[S]. (CJJ 37-2012, Code for Design of Urban Road Engineering[S]. (in Chinese))
- [10] SL 171-96, 堤防工程管理设计规范[S]. (SL 171-96, Design Specification for Levee Project Management[S]. (in Chinese))
- [11] 傅联森, 侯云青, 张晓文, 等. 胥溪乾潭镇段堤防生态建设方案研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(6): 139-140. (FU Liansen, HOU Yunqing, ZHANG Xiaowen, et al. Research on Scheme of Embankment Ecological Construction of Xuxi River in Qiantan Town[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(6): 139-140. (in Chinese))
- [12] 荆家海, 王玉国, 孙群, 等. 三种测定植物叶水势方法的比较[J]. 西北农业大学学报, 1989, 17(9): 85-89. (JING Jiahai, WANG Yuguo, SUN Qun, et al. Comparisons of Three Methods For Determining Water Potential in Plant Leaves[J]. Acta Univ. Septentrionali Occident. Agric. 1989, 17(9): 85-89. (in Chinese))
- [13] 杨朝选, 焦国利, 郑先波. 重水分胁迫下苹果树茎、叶水势的变化[J]. 果树学报, 1989, 17(9): 85-89. (YANG Chaixuan, JIAO Guoli, ZHENG Xianbo. Variations of Leaf and Stem Water Potentials in Field Grown Apple Trees Under Severe Water Stress[J]. Journal of Fruit Science, 1989, 17(9): 85-89. (in Chinese))
- [14] Philip J R. Plant Water Relations: Some Physical Aspects[J]. Ann. Rev. of Plant Physiol, 1966(17): 245-268.
- [15] 张鸣, 张仁陟, 蔡立群. 不同耕作措施下春小麦和豌豆叶水势变化及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1467-1474. (ZHANG Ming, ZHANG Renshe, CAI Liqun. Leaf Water Potential of Spring Wheat and Field Pea under Different Tillage Patterns and Its Relationships with Environmental Factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1467-1474. (in Chinese))

(上接第 131 页)